

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Н. В. БЕЛЯКОВ, В. А. ГОРОХОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области автоматизации технологических процессов, производств и управления в качестве учебного пособия для магистрантов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств»

Витебск
2021

УДК 621.81(075.8)

ББК 34.44

Б 43

Рецензенты:

академик НАН Беларуси, д.т.н., проф. Клубович В.В.;

профессор кафедры технологии машиностроения
Белорусского национального технического университета,
д.т.н., проф. Каштальян И.А.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 2 от 30.10.2020.

Беляков, Н. В.

Б 43 Современные тенденции развития оборудования и инструмента
для изготовления деталей машин : учебное пособие / Н. В. Беляков,
В. А. Горохов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 639 с.
ISBN 978-985-481-662-3

Описана общая характеристика развития станкостроительной отрасли. Приводятся перспективные технические решения при конструировании станочного оборудования для оптимизации скоростей резания, подачи и перемещений; сокращения вспомогательного времени и времени на переналадку оборудования; многоинструментной обработки; упрощения обслуживания станков и охраны труда; унификации конструкций деталей, узлов и агрегатов; развития систем ЧПУ; совершенствования эргономики и дизайна. Изложены перспективные направления развития производственных систем. Описаны современные тенденции развития конструкций инструментов для изготовления деталей, современные инструментальные материалы, а также материалы и технологии для нанесения покрытий на инструмент. Представлены перспективы электрофизико-химической, лучевой, плазменной и комбинированной обработки. Приводятся тенденции развития обработки зубчатых венцов и резьб. Представлен обзор и краткая характеристика современных отечественных и мировых лидеров в области производства станочного оборудования, лезвийного и абразивного инструмента, а также современных регулярных выставок по металлообработке.

Издание предназначено для студентов второй ступени высшего образования в области машиностроения и может быть полезным инженерно-техническим и научным работникам предприятий. Может использоваться также в системе повышения квалификации и переподготовки кадров машиностроительного профиля.

УДК 621.81(075.8)

ББК 34.44

ISBN 978-985-481-662-3

© УО «ВГТУ», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Общая характеристика развития станкостроительной отрасли.....	9
1.1 Показатели мирового производства и потребления станков для изготовления деталей машин.....	9
1.2 Техничко-экономические показатели оценки качества станка.....	11
1.3 Приоритеты заказчиков станков.....	17
1.4 Общая характеристика тенденций развития оборудования для изготовления деталей машин.....	18
1.5 Вопросы для самоконтроля.....	25
2 Перспективные технические решения для оптимизации скоростей резания, подач и перемещений при конструировании станочного оборудования.....	26
2.1 Динамика скоростей резания и подач при обработке на современном оборудовании.....	26
2.2 Мощность приводов станков.....	31
2.3 Высокоскоростной шпиндель.....	33
2.4 Отвод стружки.....	42
2.5 Статическая и динамическая жесткость и виброустойчивость станков.....	44
2.6 Смазка и охлаждение в зоне резания.....	61
2.7 Системы бесступенчатого регулирования скоростей резания и подач.....	71
2.8 Линейные двигатели.....	73
2.9 Направляющие и опоры.....	80
2.10 Компенсация систематических погрешностей в современных системах ЧПУ.....	84
2.11 Датчики линейных и угловых перемещений.....	89
2.12 Системы управления станками.....	99
2.13 Вопросы для самоконтроля.....	104
3 Перспективные технические решения для многоинструментной обработки при конструировании станочного оборудования.....	106
3.1 Инструментальные магазины.....	106
3.2 Револьверные головки.....	111
3.3 Инструментальные головки.....	113
3.4 Многолезцовые и многшпиндельные станки.....	116
3.5 Вопросы для самоконтроля.....	118

4 Перспективные технические решения для сокращения вспомогательного времени и времени на переналадку оборудования при конструировании станочного оборудования.....	119
4.1 Автоматизация рабочего цикла станков.....	119
4.2 Устройства для быстрой смены режущего инструмента.....	119
4.3 Механизированные приспособления для быстрого изменения положения заготовки.....	131
4.4 Устройства для установки и снятия заготовки.....	135
4.5 Промышленные роботы и автооператоры.....	140
4.6 Контршпиндель.....	144
4.7 Устройства для автоматического активного контроля обрабатываемой детали.....	145
4.8 Измерения на станках с ЧПУ с помощью системы датчиков и щупов.....	148
4.9 Индуктивные и оптоэлектронные системы измерений.....	152
4.10 Цифровая индикация и программное управление.....	160
4.11 Вопросы для самоконтроля.....	164
5 Перспективные технические решения для упрощения обслуживания станков и охраны труда при конструировании станочного оборудования.....	165
5.1 Обслуживание и диагностика станков.....	165
5.2 Системы дистанционной диагностики.....	167
5.3 Безопасность работы на станках.....	170
5.4 Системы защиты от травмирования при работе на станках.....	175
5.4.1 Классификация средств защиты.....	175
5.4.2 Оградительные устройства.....	175
5.4.3 Предохранительные устройства.....	177
5.4.4 Тормозные устройства.....	182
5.4.5 Устройства автоматического контроля и сигнализации.....	184
5.5 Системы безопасности на базе контроллеров.....	185
5.6 Вопросы для самоконтроля.....	189
6 Перспективные технические решения для использования систем различной физической природы.....	191
6.1 Механические и электрические системы станков.....	191
6.2 Гидравлические и пневматические системы станков.....	192
6.3 Сочетание систем различной физической природы.....	202
6.4 Вопросы для самоконтроля.....	205
7 Унификация конструкций деталей, узлов и агрегатов при конструировании металлорежущих станков.....	206
7.1 Понятие стандартизации, нормализации и унификации в станкостроении.....	206
7.2 Конструктивно-унифицированные ряды металлорежущих станков.....	206

7.3 Узловая конструкция, агрегатирование и модульный принцип в станкостроении.....	209
7.4 Агрегатные станки.....	213
7.5 Вопросы для самоконтроля.....	224
8 Современные тенденции развития систем ЧПУ для станков	225
8.1 Отличительные возможности современных систем ЧПУ.....	225
8.2 Зарубежные разработки систем ЧПУ.....	229
8.3 Российские производители систем ЧПУ.....	237
8.4 Вопросы для самоконтроля.....	239
9 Тенденции в развитии эргономики и дизайна станков	240
9.1 Тектоника.....	240
9.2 Объемно-пространственные структуры.....	241
9.3 Целостность формы, соподчиненность элементов, композиционное равновесие.....	243
9.4 Симметрия и асимметрия.....	251
9.5 Динамичность и статичность.....	256
9.6 Пропорции, масштаб и масштабность.....	258
9.7 Контраст, нюанс и нюансировка.....	259
9.8 Метрический повтор и ритм.....	262
9.9 Тени и пластика.....	265
9.10 Цветовые решения в проектировании и производстве станочного оборудования.....	268
9.11 Организация рабочего места.....	272
9.12 Эргономика станков.....	275
9.13 Вопросы для самоконтроля.....	281
10 Перспективные направления развития производственных систем	282
10.1 Обработывающие центры.....	282
10.2 Станки-комплексы с лазерной и механической обработкой..	296
10.3 Гибкие производственные системы.....	299
10.3.1 Основные понятия.....	299
10.3.2 Оборудование ГПС.....	301
10.3.3 Особенности развития ГПС.....	306
10.4 Автоматические заводы.....	307
10.5 Реконфигурируемые производственные системы.....	308
10.6 Аддитивные технологии и производства.....	312
10.6.1 Общие понятия.....	312
10.6.2 Виды аддитивных технологий.....	313
10.6.3 Преимущества и недостатки аддитивных технологий.....	323
10.7 Вопросы для самоконтроля.....	325
11 Обзор и краткая характеристика продукции современных отечественных и мировых лидеров в области производства станочного оборудования	327

11.1 Отечественные лидеры в области производства станочного оборудования.....	327
11.2 Российские лидеры в области производства станочного оборудования.....	332
11.3 Лидеры дальнего зарубежья в области производства станочного оборудования.....	336
11.4 Вопросы для самоконтроля.....	358
12 Современные тенденции развития инструмента для изготовления деталей.....	359
12.1 Производительность обработки.....	359
12.2 Тенденции развития режущих инструментов.....	361
12.2.1 Инструментальные материалы.....	361
12.2.2 Модификация рабочих поверхностей инструментов.....	363
12.2.3 Разработка новых и совершенствование существующих конструкций инструмента и технологий его изготовления.....	364
12.3 Вопросы для самоконтроля.....	365
13 Современные инструментальные материалы.....	366
13.1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.....	366
13.2 Выбор инструментального материала.....	367
13.3 Инструментальные материалы.....	369
13.3.1 Инструментальные стали.....	369
13.3.2 Твёрдые сплавы.....	372
13.3.3 Сверхтвёрдые материалы.....	374
13.3.4 Минералокерамика.....	376
13.4 Абразивные материалы.....	378
13.4.1 Абразивные зерна и их свойства.....	378
13.4.2 Технологии производства абразивов.....	380
13.5 Нанотехнологии в производстве обрабатывающего инструмента.....	381
13.6 Режимы резания и основное время при обработке.....	382
13.7 Вопросы для самоконтроля.....	396
14 Перспективные технические решения в конструировании инструментов.....	398
14.1 Развитие конструкций режущих инструментов.....	398
14.2 Развитие абразивного инструмента.....	419
14.2.1 Характеристики шлифовальных кругов.....	419
14.2.2 Высокопористые, прерывистые и импрегированные шлифовальные круги.....	426
14.2.3 Глубинное и высокоскоростное шлифование.....	429
14.2.4 Правка шлифовальных кругов.....	433
14.3 Вопросы для самоконтроля.....	439

15 Материалы и технологии нанесения покрытий на инструмент.....	441
15.1 Покрытия режущих инструментов.....	441
15.2 Технологии нанесения покрытий на инструмент.....	443
15.3 Вопросы для самоконтроля.....	451
16 Обзор и краткая характеристика продукции современных отечественных и мировых лидеров в области производства лезвийного и абразивного инструмента.....	453
16.1 Обзор и краткая характеристика.....	453
16.2 Вопросы для самоконтроля.....	504
17 Тенденции развития обработки зубчатых венцов и резьб....	506
17.1 Тенденции развития обработки зубчатых венцов.....	506
17.1.1 Фирмы-производители и направления развития.....	506
17.1.2 Изготовление заготовок.....	506
17.1.3 Зубофрезерование.....	507
17.1.4 СОЖ при зубофрезеровании.....	510
17.1.5 Зубодолбление.....	512
17.1.6 Зуботочение.....	514
17.1.7 Зубошлифование.....	516
17.1.8 Абразивные червячные шлифовальные круги.....	519
17.1.9 Зубошевингование.....	523
17.1.10 Зубохонингование.....	524
17.1.11 Оценка точности колёс.....	526
17.2 Тенденции развития обработки резьб.....	527
17.3 Вопросы для самоконтроля.....	534
18 Тенденции развития электрофизико-химической, лучевой, плазменной и комбинированной обработки.....	536
18.1 Электрические методы обработки.....	536
18.1.1 Общие вопросы.....	536
18.1.2 Электроэрозионные методы обработки.....	537
18.1.3 Электрохимические методы обработки.....	549
18.2 Плазменная обработка.....	554
18.3 Лучевая обработка.....	558
18.4 Ультразвуковая обработка.....	563
18.5 Анодно-механическая обработка.....	567
18.6 Магнито-абразивная обработка.....	570
18.7 Плазменно-механическая обработка.....	574
18.8 Вопросы для самоконтроля.....	576
19 Информационные аспекты анализа современных тенденций развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин.....	578
19.1 Информационные аспекты.....	578
19.2 Вопросы для самоконтроля.....	600
Список использованных источников.....	601

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией развития современного станкостроения и производства инструментов является стремление к возможно более высокой производительности и надёжности при условии обеспечения необходимой и достаточной точности размеров, высокого качества обработанной поверхности, соблюдения норм безопасности труда, экологических, эргономических требований, а также требований к дизайну. Указанная тенденция реализуется путём использования различных технических решений для конструирования перспективного металлорежущего оборудования, а также инноваций в области инструментальных материалов, конструирования и производства инструмента [1–15].

Учебное пособие «Современные тенденции развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин» предназначено для подготовки студентов второй ступени высшего образования в области машиностроения и направлено на приобретение знаний о современных и перспективных конструкциях и технологиях машиностроения.

Цель пособия – формирование системы знаний о состоянии и перспективах развития в области конструирования прогрессивных станков и инструментов, необходимых для решения теоретических и практических задач повышения эффективности машиностроительного производства и качества продукции.

Основными задачами изучения пособия являются: овладение специальными знаниями о технических решениях в области конструирования перспективного оборудования для изготовления деталей машин; освоение знаний о научно-технических новшествах в области выбора материалов, конструирования и производства металлорежущего инструмента, а также назначения режимов резания.

В результате изучения пособия студент должен знать: общие тенденции развития современного станкостроения и производства металлорежущих инструментов; технические решения в области конструирования перспективного оборудования для изготовления деталей машин; новшества в области инструментальных материалов, конструирования и производство металлорежущего инструмента; современные отечественные и мировые лидеры в области производства металлорежущего оборудования и инструмента; организаторов, места проведения и особенности регулярных выставок в области металлообработки.

Кроме студентов второй ступени высшего образования издание может быть полезным инженерно-техническим и научным работникам предприятий, а также может использоваться в системе повышения квалификации и переподготовки кадров машиностроительного профиля.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

1.1 Показатели мирового производства и потребления станков для изготовления деталей машин

По данным ежегодных исследований мирового рынка металлообрабатывающего оборудования от *Gardner Research «The World Machine-Tool Output & Consumption Survey»* Китай сохраняет лидерство *потребления станочной продукции в мире* (рис. 1.1), значительно обгоняя ближайших конкурентов, несмотря на значительное сокращение потребления с 2012 года [16–17]. Следом с аналогичным падением в 2015 и восстановлением к 2018 идут США и Германия, показавшие в 2018 максимум потребления станков за исследуемый период. Япония продолжает наращивать потребление. Наибольшее же увеличение потребления (на четверть) наблюдается в Италии – до 2018 потребление станков в стране не превышало 5 млрд \$ в год. В целом пятёрка лидеров потребляет около 2/3 мировой продукции станкостроения. Индия по уровню потребления станков немного не дотягивает до 10 % китайского показателя в 2018, хотя в 2017 был достигнут уровень 7 % от Китая. Россия по данным *Gardner Research* сохраняет 10 место в мире с долей 2 %. Рост потребления оценивается в 2018 в 5,2 %. В 2018 ТОП-15 покинули Турция и Швейцария, их места заняли Бразилия и Вьетнам.

Потребление станочной продукции на душу населения в каком-то смысле показывает развитие машиностроения страны (как, например, ВВП на душу), невзирая на её фактические размеры (рис. 1.2). Разумно предположить, что сегодняшнее потребление станков определяет возможности производства завтрашнего дня. Так как, покупая определённое количество оборудования, производители обновляют текущие мощности и увеличивают возможности для наращивания производства в будущем. И если, к примеру, Китай в разы сейчас опережает ближайшего конкурента – США – по потреблению станков, то надо полагать, что в недалёком будущем он будет опережать США в промышленном производстве примерно в том размере, в каком он сейчас опережает американцев в обновлении и установке нового оборудования.

Примечателен значительный рост потребления станочной продукции в Италии, показывающей по данным ряда статей (11 показателей производства для 11 стран мира с 1950 года) упадок промышленного производства. В 2018 рост абсолютного и подушевого показателя потребления составил 26 %. Если тенденция роста сохранится, то Италия может обогнать Германию и занять 2 место среди ТОП-15 потребителей станков в мире по потреблению на душу населения.

Примечательно, что Китай на душу населения потребляет станочной продукции примерно столько же, сколько и Франция. И в 1,7 раза больше, чем Россия.

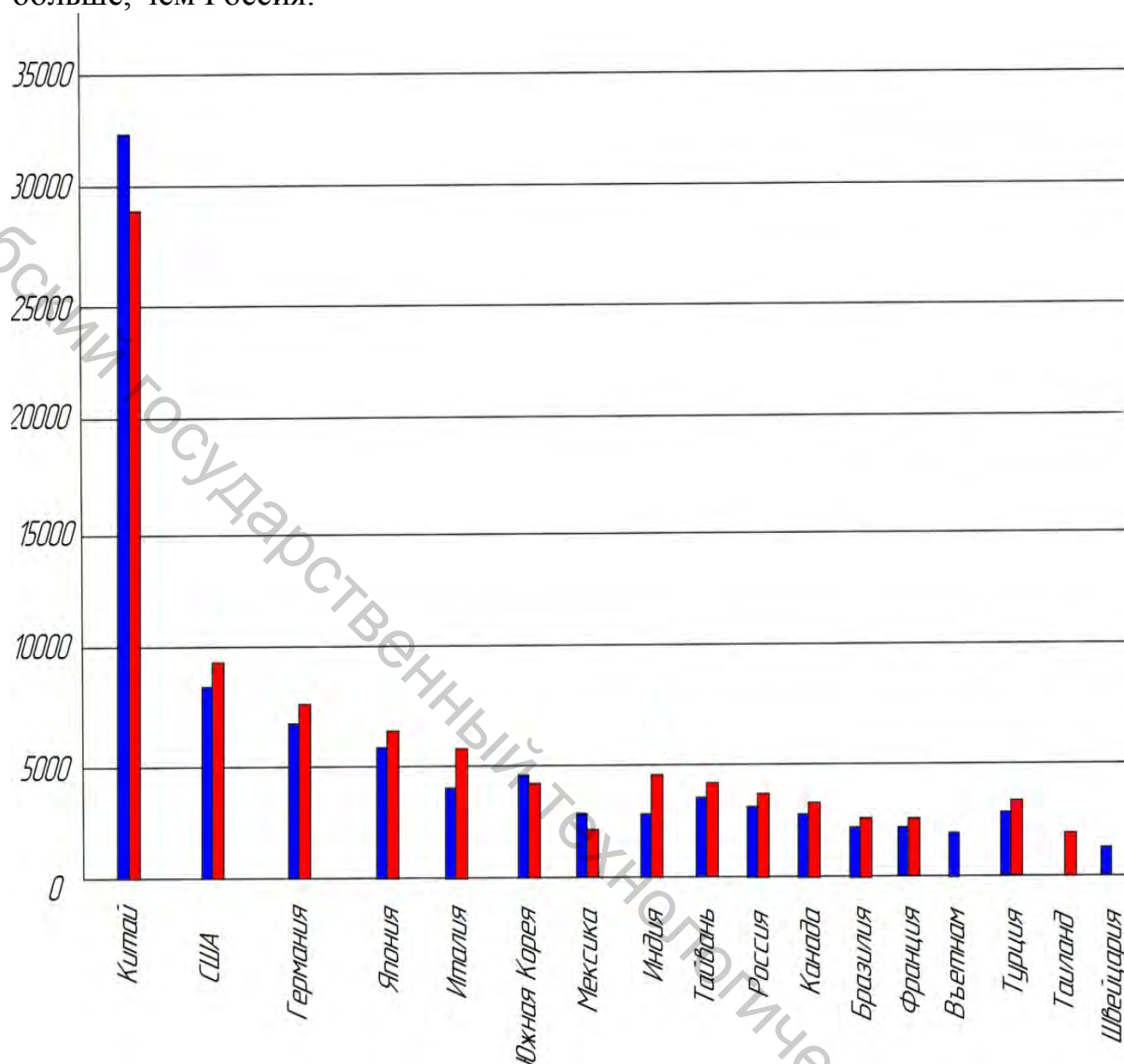


Рисунок 1.1 – Потребители металлообрабатывающих станков в мире в 2017–2018 гг., млн долл. ТОП-15 в 2018

Китай, несмотря на сокращение производства, **сохраняет лидерство в мировом станкостроении**, имея около четверти объёма выпуска отрасли. Следом идут Германия и Япония с долями 15,8 % и 15,6 %. Тройка лидеров выпускает свыше половины станков мира (рис. 1.3 и табл. 1.1).

Страны «второго эшелона станкостроения» (доли 4 %...8 %) – Италия, США, Корея, Тайвань и Швейцария – суммарно производят около 30 % мировых станков. На остальные страны приходится менее 7 % мирового производства.

Почти все страны ТОП-15, кроме Китая и Бразилии, демонстрируют увеличение объемов выпуска станков в 2018. Наибольший рост в Индии – 33,5 %.

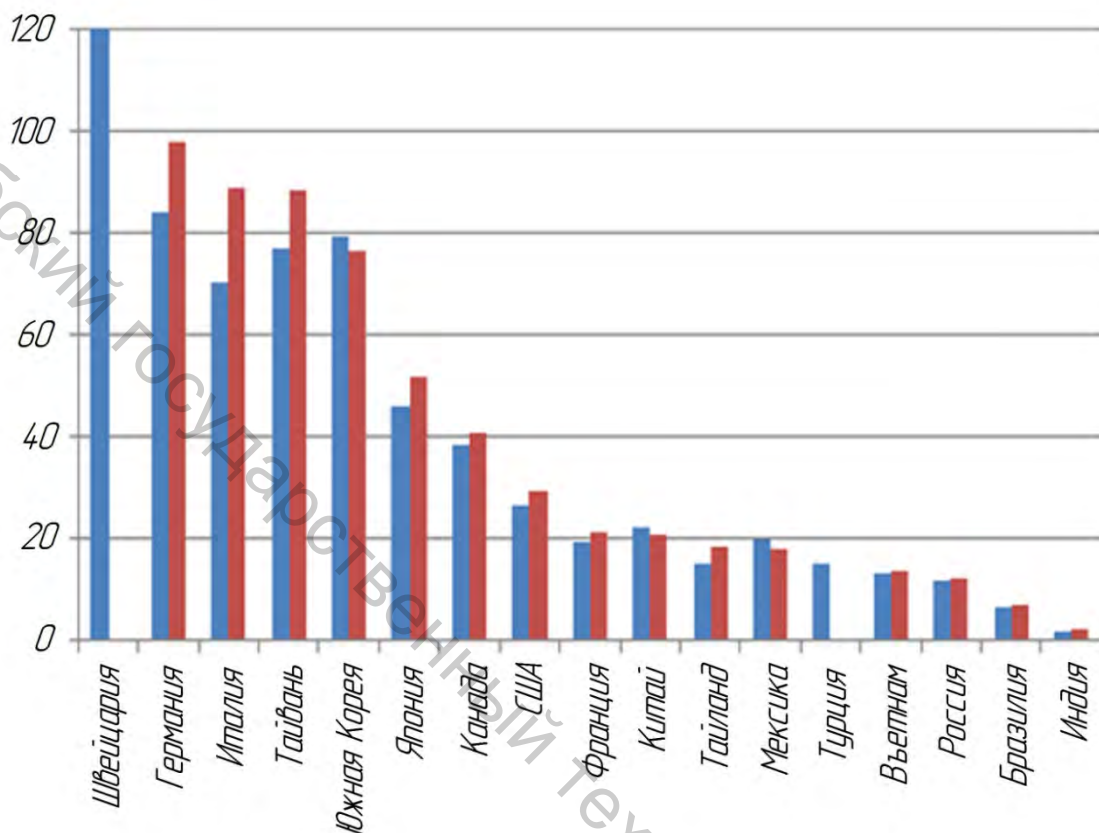


Рисунок 1.2 – Потребление станков на душу населения в странах мира в 2018–2019 гг., \$

1.2 Техничко-экономические показатели оценки качества станка

Для сравнительной оценки технического уровня станков, а также для выбора их в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество станков [17].

1. *Эффективность* – комплексный (интегральный) показатель, который наиболее полно отражает главное назначение станочного оборудования – повышать производительность труда и соответственно снижать затраты труда при обработке деталей. Эффективность станков, шт./руб. $A = N/S_C$, где N – годовой выпуск деталей; S_C – сумма годовых затрат на их изготовление.

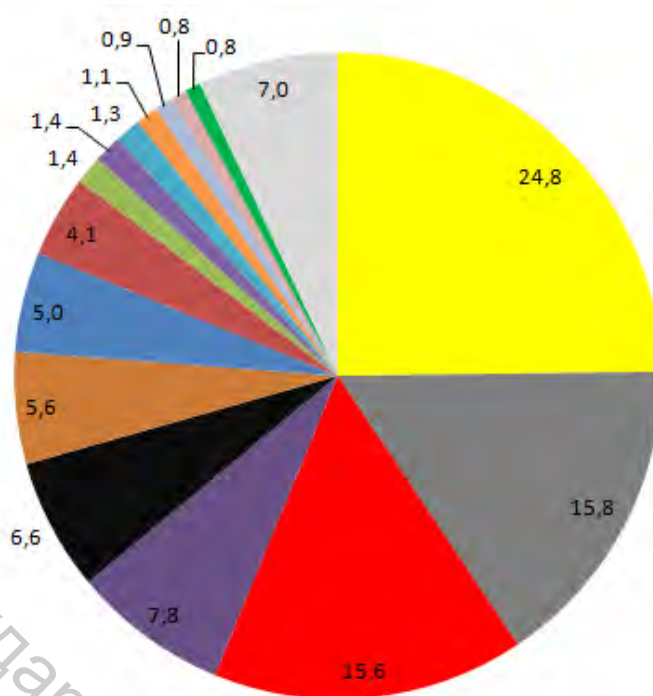


Рисунок 1.3 – Производство металлообрабатывающих станков в мире в 2018 г., млн \$

Таблица 1.1 – Производство металлообрабатывающих станков в мире в 2018 г., млн долл. ТОП-15

№	Страна	2018	Рост в 2018, %	Доля в мире, %
1	Китай	23460	-6,5	24,8
2	Германия	14987	9,8	15,8
3	Япония	14765	10,3	15,6
4	Италия	7381	16,3	7,8
5	США	6220	4,2	6,6
6	Южная Корея	5287	3,4	5,6
8	Тайвань	4700	7,1	5
7	Швейцария	3850	14,4	4,1
9	Индия	1365	33,5	1,4
10	Испания	1350	3,5	1,4
11	Австрия	1241	15,5	1,3
12	Бразилия	1087	-8,7	1,1
13	Франция	886	4,3	0,9
14	Сингапур	738	3,7	0,8
15	Англия	734	14,7	0,8
	Остальные			7,0
	МИР, млрд \$	94,6		100

2. *Производительность* станка определяет его способность обеспечивать обработку определенного числа деталей в единицу времени. Различают штучную и технологическую производительность. Штучная производительность (шт./год) выражается числом деталей, изготовленных в единицу времени, при непрерывной и безотказной работе $Q = T_0/T$, где T_0 – годовой фонд времени; T – полное время всего цикла изготовления детали.

Время цикла обработки выражается формулой $T = tp + tv$, где tp – время обработки резанием; tv – время на все виды вспомогательных операций, не совмещенных по времени с обработкой. Если процесс обработки осуществляют непрерывно и дополнительное время на вспомогательные операции не затрачивается, т.е. если $tv = 0$, а $T = tp$, то штучная производительность совпадает с понятием технологической производительности $Q_m = 1/tp$, определяемой только по машинному времени.

Основные пути повышения производительности станков связаны со следующими тенденциями: увеличением технологической производительности; совмещением разных операций во времени; сокращением времени на вспомогательные движения; сокращением всех видов внецикловых потерь.

Технологическая производительность увеличивается с повышением скорости обработки и с увеличением суммарной длины режущих кромок инструмента, участвующих в процессе формообразования. Повышение скорости обработки ограничивается свойствами материала режущего инструмента. Резкое повышение скорости возможно при переходе на новые инструментальные материалы, такие как твердые сплавы, полученные методом порошковой металлургии, алмазный инструмент. Значительное повышение производительности достигается применением эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей.

Большим резервом повышения производительности является совмещение во времени различных операций, как основных, так и вспомогательных. Одновременное выполнение нескольких рабочих операций осуществляется на многопозиционных станках и автоматических линиях, используемых в крупносерийном и массовом производстве.

Сокращение времени на вспомогательные движения (холостые ходы) обеспечивается совершенствованием привода и системы управления. Ограничения по скорости вспомогательных движений связаны с возникающими при этом инерционными нагрузками и их отрицательным влиянием на работоспособность деталей и механизмов станка.

Все виды внецикловых потерь сокращаются при комплексной автоматизации и совершенствовании системы управления как отдельным станком, так и всем автоматизированным производством на базе вычислительной техники.

3. *Надежность* станка – свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течение

определенного срока службы и в условиях применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Нарушение работоспособности станка называют отказом. При отказе продукция либо не выдается, либо является бракованной.

В автоматизированных станках отказы могут быть связаны с нестабильностью условий работы под влиянием отдельных случайных факторов – разброса параметров заготовок, переменности сил резания и трения, отказов элементов систем управления и т.д. Кроме того, причинами отказов может быть потеря первоначальной точности станка из-за изнашивания его частей (направляющих, опор, шпинделей, передач винт-гайка, фиксирующих устройств и т.п.).

Комплексным показателем надежности станков является коэффициент технического использования, который дает возможность оценить фактическую производительность по сравнению с номинальным значением производительности.

Диагностирование является эффективным средством повышения надежности станков. При этом осуществляют направленный сбор текущей информации о состоянии станка и его важнейших узлов и элементов. Для сбора информации используют преобразователи, дающие сигнал по естественным для станка возмущениям или на основе специально возбуждаемых периодических воздействий. Поиск и диагностику неисправностей, опасных отклонений от нормальной работы осуществляют различными методами, которые будут рассмотрены ниже.

4. *Гибкость* станочного оборудования – способность к быстрому переналаживанию при изготовлении других, новых деталей. Гибкость характеризуют двумя показателями – универсальностью и переналаживаемостью.

Универсальность определяется числом разных деталей, подлежащих обработке на данном станке, т.е. номенклатурой I обрабатываемых деталей. При этом следует иметь в виду, что отношение годового выпуска N к номенклатуре I определяет серийность изготовления $S = N/I$.

Переналаживаемость определяется потерями времени и средств на переналадку станочного оборудования, при переходе от одной партии заготовок к другой партии.

5. *Точность* станка в основном предопределяет точность обработанных на нем деталей. Различают геометрическую и кинематическую точность станков. Геометрическая точность зависит главным образом от точности изготовления соединений базовых деталей и от качества сборки станка. Кинематическая точность необходима для характеристики тех станков, в которых форма обрабатываемой поверхности зависит от соотношения скоростей относительного перемещения инструмента и заготовки, например для зубообрабатывающих, резьбонарезных и других станков для сложной контурной обработки.

Геометрическая и кинематическая точность станков являются необходимыми, но не достаточными условиями для обеспечения высокого качества станка. Надо также учитывать сопротивляемость его деталей действию внешних и внутренних сил. Деформации элементов станка, возникающие под действием силы резания, приводят к изменению относительного положения инструмента и обрабатываемой детали, т.е. к потере станком точности.

Жесткостью узла называется его способность сопротивляться появлению упругих деформаций. Жесткость – отношение силы F (Н) к соответствующей упругой деформации y (мм) в том же направлении $J = F/y$.

Жесткость станка, его несущей системы должна обеспечить упругое перемещение между инструментом и заготовкой в заданных пределах, зависящих от требуемой точности обработки.

Жесткость базовых деталей станка из чугуна или стали подчиняется закону Гука и для каждой детали есть величина постоянная. Жесткость большинства соединений, таких как неподвижные стыки, направляющие, подшипники качения и скольжения, не является постоянной величиной вследствие отсутствия прямой пропорциональности между силой и упругим перемещением. Жесткость соединений, предварительно не затянутых и имеющих зазоры, существенно нелинейна и зависит от характера приложения силы. Кроме того, жесткость соединений зависит от случайных изменений рельефа контактирующих поверхностей в первую очередь от шероховатости и волнистости. На общую жесткость станков большое влияние оказывают соединения инструмента и заготовки с соответствующими узлами станка, поскольку эти соединения типа конусов, кулачков патрона, центровых отверстий имеют небольшую жесткость. Для повышения общей жесткости станка целесообразно выявлять элементы с пониженной жесткостью и затем принимать меры к ее повышению до уровня жесткости других последовательно нагруженных упругих звеньев.

6. *Вибростойчивость* станка или динамическое его качество определяет его способность противодействовать возникновению колебаний, снижающих точность и производительность станка. Наиболее опасны колебания инструмента относительно заготовки. Вынужденные колебания возникают в упругой системе станка из-за прерывистости процесса резания, неуравновешенности вращающихся звеньев привода и роторов электродвигателей, из-за периодических погрешностей в передачах и от внешних периодических возмущений. Особую опасность при вынужденных колебаниях представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частоты внешних воздействий с частотой собственных колебаний одного из упругих звеньев станка. Автоколебания или самовозбуждающиеся колебания связаны с характером протекания процессов резания и трения в подвижных соединениях. Парамет-

рические колебания имеют место при периодически изменяющейся жесткости, например, при наличии шпоночной канавки на вращающемся валу или при переменной жесткости подшипников качения. Возникающие при этом колебания по своему характеру и методам борьбы с ними близки к вынужденным.

Низкочастотные фрикционные колебания наблюдаются при перемещении узлов станка недостаточно жестким приводом в условиях трения скольжения. В этих случаях непрерывное движение узла может при определенных условиях превратиться в прерывистое с периодически чередующимися скачками и остановками.

Колебания в упругой системе станка возникают также во время переходных процессов, обусловленных пуском, остановкой, резким изменением режима работы.

Основные пути повышения виброустойчивости станков: устранение источников периодических возмущений; подбор параметров упругой системы для обеспечения устойчивости; повышение демпфирующих свойств; применение систем автоматического управления уровнем колебаний.

7. *Теплостойкость* станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций при действии тех или иных источников теплоты. К основным источникам теплоты относятся процесс резания, двигатели, подвижные соединения, особенно при значительных скоростях относительного движения.

8. *Точность позиционирования* характеризуется ошибкой вывода узла станка в заданную позицию по одной или нескольким координатам. На точность позиционирования влияет большое число систематических и случайных погрешностей. Стабильность позиционирования определяют зоной рассеяния (дисперсией) положений узла станка при его подводе к определенному положению с одного и того же направления. Ошибку перемещения характеризуют систематической составляющей при фиксированном направлении подвода. Зоной нечувствительности называют разность ошибок положения узла при подводе его к заданной точке с разных сторон.

Точность позиционирования является важной характеристикой качества всех станков с числовым программным управлением. Если известна характеристика точности позиционирования для данного конкретного станка, то ее можно уточнить (учесть) при отработке управляющей программы.

Любой станок-автомат состоит из базовых (корпусных) деталей, привода (главного движения и движения подачи), системы управления и целевых механизмов (механизмы питания для пруткового материала, для штучных заготовок; системы автоматической смены инструментов, механизмы зажима обрабатываемых деталей, инструмента; поворотнo-фиксирующие механизмы, контрольно-измерительные системы).

Экономические, эксплуатационные и технические характеристики станка, а также безопасность работы на нем тесно связаны с его конструктивными особенностями и методом компоновки.

1.3 Приоритеты заказчиков станков

Основные технические и экономические приоритеты заказчиков станков в порядке убывания приведены в таблице 1.2 [18–19].

Таблица 1.3 – Технические и экономические приоритеты заказчиков станков

Приоритет		Средний показатель приоритетности, %
1.	Надежность	96,9
2.	Эксплуатационные характеристики	96,9
3.	Точность обработки	93,6
4.	Наличие запасных частей	91,9
5.	Возможность своевременного решения возникших проблем	91,3
6.	Наличие системы заводского обслуживания станков и технической поддержки	89,7
7.	Легкость работы на станке и удобство доступа к нему	82,6
8.	Возможности системы ЧПУ	82,2
9.	Наличие в данном регионе сервисной службы поставщика и системы технической поддержки	80,7
10.	Простота эксплуатации станка	79,6
11.	Полная документация, поставляемая вместе со станками	75,5
12.	Время цикла обработки и скорость проведения операции	73,5
13.	Возможность телефонной связи с поставщиком	72,3
14.	Длительная гарантия на поставляемый станок	70,5
15.	Возможность обучения операторов работе на станке у поставщика	68,4
16.	Термостабильность станка	64,9
17.	Стоимость запасных частей	59,9
18.	Финансовая устойчивость поставщика	57,7
19.	Стоимость станка	56,9
20.	Установка станка силами поставщика	55,2
21.	Лидерство поставщика в области технологии	55,1
22.	Опыт отношений с поставщиком	54,1
23.	Помощь в установке и эксплуатации со стороны заводских инженеров	48,3
24.	Возможность программирования станка в цехе	46,8
25.	Высокая квалификация технических представителей поставщика	45,7
26.	Сроки поставки станка	41,2
27.	Обеспечение поставки «под ключ»	31,7
28.	Наличие у станка системы дистанционной диагностики	26,4
29.	Широкое присутствие поставщика в мире	18,8
30.	Скидки со стороны поставщика в процессе переговоров о закупке	16,2
31.	Поставщик восстанавливает старые станки своего производства	11,9
32.	Внешний вид станка	7,5

1.4 Общая характеристика тенденций развития оборудования для изготовления деталей машин

1. **Высокоскоростная обработка** будет реализовываться с помощью высокооборотных мотор-шпинделей, в сочетании с более высоким быстродействием: приводов перемещения узлов (линейных или с использованием шариковой пары с большим шагом), обеспечивающих совместно с компоновками станков (типа Box in Box, с параллельной кинематикой) скорости быстрых ходов узлов 60...120 м/мин с ускорениями 0,5g...1,5g; механизмов автоматической смены инструментов, обеспечивающих время и смены от реза до реза 5...2 с и менее и время смены столов-спутников 8...5 с и менее. Все другие вспомогательные действия осуществляются с управлением от быстродействующих УЧПУ на базе персональных компьютеров [1–25].

В приводе главного движения высокоскоростных станков с $n_{\max} > 10000$ об/мин практически невозможно использовать электродвигатель с механической редукцией. В связи с этим станки, предназначенные для высокоскоростной обработки, оснащаются новыми агрегатно-модульными конструкциями шпинделей со специальными опорами (подшипниками) и со встроенными электродвигателями (мотор-шпиндели). В мотор-шпинделе ротор электродвигателя смонтирован непосредственно на валу шпинделя.

Из-за повышенного тепловыделения в электродвигателе и опорах мотор-шпиндели должны иметь систему эффективного охлаждения. Конструкция как самого мотор-шпинделя, так и системы охлаждения должна создавать осесимметричное температурное поле, обеспечивая таким образом требуемую точность узла. В настоящее время широко применяют системы принудительного воздушного и жидкого охлаждения. Ведут также работы по созданию систем электронного охлаждения, в которых биметаллические блоки, использующие эффект Холла, с помощью электронной системы управления перемещают тепловые потоки к периферийной (внешней) части шпиндельного узла.

В конструкции мотор-шпинделей предусматривают различные устройства, обеспечивающие решение технологических задач: узел крепления инструмента, систему подачи СОТС и др.

2. Создание оборудования для реализации **комбинированных методов обработки** является одним из основных направлений в дальнейшем развитии станкостроения и представляет собой дальнейший шаг в направлении концентрации операций на станке, выражающейся в сочетании на одном станке разнохарактерных методов обработки: токарной и сверлильно-фрезерно-расточной, сверлильно-фрезерно-расточной и токарно-карусельной, а также комбинации в сочетании со шлифовальной обработкой, лазерной обработкой и другими, что позволяет суще-

ственно сократить длительность производственного цикла и повысить точность обработки.

Одним из популярных направлений среди небольших промышленных предприятий является создание центров по комплексной металлообработке [18–20]. Как правило, технологическим ядром такого центра выступают лазерные технологии, которые позволяют производить интегрированную обработку материала в достаточно широком диапазоне: сварку и поверхностную обработку (термоупрочнение, легирование и наплавку, резку и размерную обработку, раскрой материалов в заготовительном производстве, маркировку и гравировку, прецизионную микросварку электронных компонентов). Такие «лазерные ателье» позволяют крупным машиностроителям выводить на аутсорсинг ряд непрофильных технологических операций, а стало быть, снизить затраты.

3. **Агрегатно-модульный принцип построения** станков позволяет создавать унифицированные узлы и модули для гамм однотипных станков и способствует их централизованному производству. Появилась тенденция межстаночной унификации на уровне специфических узлов (гидравлических, пневматических, узлов электрооборудования и некоторых других).

В результате снижаются требования к квалификации инженера-конструктора, а численность конструкторских служб станкостроительных фирм, например американских, сокращается. Достаточно иметь квалифицированного главного (ведущего) конструктора, разрабатывающего с помощью проблемно-ориентированной CAD/CAE-системы схему общей компоновки станка, чтобы его помощники могли на базе стандартных программ САПР и типовых расчетов, получая информацию из базы данных, проектировать станок, подбирая покупные готовые узлы и детали через Интернет для поставки на завод-изготовитель станка.

Такая комплексная технология позволяет реализовать принцип так называемого параллельного проектирования (concurrent engineering), т.е. одновременного выполнения проектных работ и подготовки производства с целью их синхронизации. Станкостроительный завод при этом становится станкосборочным, а длительность проектирования и изготовления станка значительно уменьшается.

4. **Мехатронные компоненты** в станкостроении сочетают в одной конструкции средства механики, электроники и электротехники: высокоскоростные электрошпиндели мощностью 10...40 (80) кВт с максимальной частотой вращения 40000 (80000) мин⁻¹; модули линейных перемещений на базе линейных двигателей с максимальным усилием до 20 000 Н, скоростью до 150...200 м/мин и ускорением до 5g, поворотные столы диаметром 200...2000 мм, развивающие крутящие моменты 100...2500 Н·м и др. Такие узлы находят широкое применение в новых станках, так как позволяют обеспечить условия высокоскоростной об-

работки, облегчить и упростить кинематику и конструкцию станков, реализовать принцип агрегатно-модульной структуры и тем самым создавать новые виды станков высшего технического уровня с повышением производительности и точности.

5. Экология и техника безопасности. Для решения этих важнейших в современных условиях проблем в современных станках предусматривается применение герметизированной кабинетной защиты с встроенными фильтрами, «сухое» резание, использование только безвредных СОТС, оснащение малошумными комплектующими изделиями, применение развитой системы блокировок.

Станки должны удовлетворять требованиям системы европейских стандартов по экологии и технике безопасности серии EN (от EN292-1 до EN61000).

6. Новые прогрессивные материалы в станкостроении – важнейший компонент, определяющий высокую эффективность инновационных станков. Для неподвижных базовых деталей – это так называемый станкометалл и синтегран; для подвижных деталей несущей системы – алюминиево-магниево-сплавы, легированные никелем и скандием; для шпинделей, ходовых винтов и др. – экономнолегированные стали.

Такое литье изготавливается из гранитной крошки экологически чистых связующих материалов. Предусмотрена защита от контакта со стружкой и СОТС металлическими элементами. Преимуществом такой станины является высокая стабильность размеров, и главное, демпфирующая способность станины из традиционного чугуна возрастает в 3,5–4 раза, что значительно сказывается на снижении шумовых характеристик станка.

7. Лазерная обработка предполагает:

- использование новых твердых YAG-лазеров и газовых CO₂-лазеров, имеющих в несколько раз большую (5...6 кВт и выше) мощность;
- повышенные качества луча расходимости;
- использование быстродействующих линейных приводов перемещения узлов, высокоточных измерительных систем;
- автоматизацию вспомогательных процессов с управлением от современных СЧПУ на базе персональных компьютеров, при этом намного увеличивается скорость резки (до 20 м/мин), ускоряются вспомогательные процессы и повышается точность обработки (до 0,01 на длине 1000 мм).

8. Электрофизические методы обработки предполагают:

- использование генераторов импульсов с намного более высокой частотой (до 100 кГц) и максимальной силой тока (до 600 А);
- применение специальных керамик с малым температурным коэффициентом линейного расширения ($\sim 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) и высоким удельным сопротивлением ($10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и более);

- использование быстродействующих линейных приводов перемещения узлов, высокоточных измерительных систем;
- автоматизацию вспомогательных процессов с управлением от современных систем ЧПУ на базе персональных компьютеров.

Расширяется диапазон использования электроискровой обработки.

8. **Сверхпрецизионная технология и нанотехнология** будут обеспечиваться компоновкой станков и оснащением лазерными измерительными системами, применением аэро- и гидростатических направляющих, встроенных в станок сенсорных и контрольных средств в сочетании с управлением от современных УЧПУ.

9. **Информационные технологии** в станкостроении содержат блок информации о состоянии элементов станка и процесса обработки на нем и блок информации, используемой в процессе создания станка (например, счетчик числа циклов работы инструментов), его реализации и обслуживания у потребителя.

Информация первого блока значительно повышает коэффициент технического использования станка, позволяет осуществить адаптивное управление процессом резания, повысить точность обработки, реализовать «безлюдную» технологию. Информация второго блока обеспечивает безбумажную технологию всего жизненного цикла станка, интегрированную систему технологической подготовки производства, внедрение принципа электронной коммерции и др.

10. **Системы ЧПУ типа CNC с открытой архитектурой** – последние достижения в технике управления, компьютерной технологии и создании высокопроизводительных исполнительных механизмов станков – позволяют реализовать в станках новые способы управления. Примерами новых и перспективных решений в этой области являются интеллектуальные системы ЧПУ с открытой архитектурой. Такие системы отличаются высокой надежностью, удобством обслуживания, возможностью взаимодействия с Интернетом. Они имеют быстродействующий последовательный интерфейс с большим объемом памяти; предусмотрены защита станка от сбоев в подаче питания, дистанционная система диагностики и др.

Для сокращения затрат на управление всем предприятием все чаще формируют производственные системы из нескольких станков с ЧПУ, которые ранее использовались автономно. Это позволяет осуществлять координацию производства, его моделирование (с целью управления), а также обеспечивать связь автоматического планирования производства с моделированием; управлять материальными потоками на уровне предприятия; планировать сборочные работы и управлять ими; использовать САПР для разработки изделий.

В такой ситуации приоритетом при выборе станка является совместимость или взаимозаменяемость станков в системе, не только точность или производительность отдельного станка. Ответом на эти тре-

бования стала концепция «открытости системы». Она выражается в возможности организации открытого, т.е. способного к саморазвитию производственного процесса или системы.

12. Существующая быстродействующая вычислительная техника позволила качественно изменить **структуру современного станочного оборудования**. Во-первых, благодаря высокому быстродействию вычислений появилась возможность управлять механизмами, в которых перемещения не совпадают с координатами обрабатываемой детали, а также выполнять с помощью вращательных пар высокоскоростные прямолинейные перемещения. Во-вторых, быстродействующие средства контроля позволили построить системы оперативной настройки режимов обработки (встраиваемые системы оперативного контроля), получая информацию об обрабатываемой поверхности. В-третьих, появилась возможность применять облегченные механические конструкции, построенные на основе подвижных стержневых систем. Быстродействующие средства контроля совместно с системой управления позволяют компенсировать «недостатки» механизма – упругие деформации, управлять конфигурацией механизма таким образом, чтобы максимальные силовые воздействия были ориентированы по направлению максимальной жесткости и др.

13. Особенно высокие требования предъявляются при обработке поверхностей сложной формы. Данные детали требуют более точного выполнения режимов обработки, контроля износа инструмента в процессе обработки и обеспечения одновременно нескольких параметров детали. В частности, для каждой точки поверхности требуется одновременно обеспечивать до шести геометрических параметров, не считая качества поверхности. Для сложных поверхностей, кроме требований к самим координатам, накладываются условия и на их производные. Высокое требование к точности изготовления деталей предопределяет **постоянный контроль геометрических параметров** станка, размеров звеньев, температурных изменений и других его параметров в процессе функционирования.

14. В настоящее время о станке можно говорить как о системе с элементами **искусственного интеллекта**. Применение механизмов параллельной структуры дает возможность повышать точность обработки путем установки дополнительных датчиков в свободных шарнирах. Установка в данных шарнирах дополнительных приводов, управляемых по силе, позволяет работать в облегченном режиме основным исполнительным приводам, управляемым по положению.

Появилось новое станочное оборудование, получившее название робот-станок, построенное на механизмах параллельной структуры и позволяющее одним и тем же механизмом выполнять транспортные операции и операции обработки. Данные механизмы расширяют функциональные возможности станочного оборудования. Наличие системы

управления, оснащенной элементами искусственного интеллекта, делает данное оборудование близким к известному понятию робота при высокой точности выполнения операции обработки.

Совмещение функций особенно актуально для сложных высокоточных операций, когда недопустим перезахват деталей и требуется обработка от одной базы. В данном случае получаем универсальное оборудование, позволяющее выполнять несколько различных технологических операций и для широкой номенклатуры изделий.

Отличительной особенностью робота-станка от обрабатывающего центра является, во-первых, универсальность в смысле кинематических возможностей перемещения механизма. Из набора роботов-станков можно построить распределенный обрабатывающий центр, управляемый от единой системы управления, в которой все работающие головки базированы относительно единой системы координат.

В механизмах параллельной структуры имеются кинематические пары, которые выполняют функции преобразования движения и не содержат исполнительных силовых элементов. Установка в сочленениях данных пар дополнительных датчиков позволяет повысить точность контроля положения выходного звена. Кроме того, установка в этих сочленениях дополнительных приводов, управляемых, к примеру, по силе, разгружает основные приводы, выполняющие перемещения по заданным координатам.

Применение встраиваемых оптических средств контроля геометрических размеров поверхности и качества ее обработки позволяет оптимизировать режимы резания. Системы распознавания зон с заданным качеством обработки и припуска на обработку позволяют управлять режимами обработки и корректировать траекторию движения инструмента. Особенностью станочного оборудования нового поколения является применение безредукторных высокомоментных двигателей.

15. **Новые компоновки** металлорежущих станков и их узлов, в частности с использованием шарнирных штанг, связывающих стол станка со шпинделем, позволяют существенно упростить и облегчить конструкцию станка и создать оптимальные условия для скоростной обработки резанием.

16. **Энергосбережение.** Затраты на энергию в станкостроении сравнительно значительны и составляют 3...10 % стоимости эксплуатации большинства станков. Экономия электроэнергии в современных станках предусматривает:

- повышение КПД главного привода в результате исключения коробок скоростей;
- исключение агрегатов СОТС при «сухой» обработке;
- введение безманипуляторной смены инструментов;
- использование бесколлекторных электродвигателей и цифровых регуляторов;

- применение режимов торможения с рекуперацией энергии в сеть;
- регулирование напряжения и частоты питания асинхронных двигателей в функции нагрузки.

С учетом повышения производительности станков эти мероприятия позволяют экономить до 40...50 % удельного электропотребления по сравнению с традиционными станками.

17. **ГПС и автоматические заводы** являются перспективным развитием комплексной автоматизации производств (подготовка производства, конструирование, разработка технологий, организация оптимального производства, применение CALS-технологии). Одним из первых был создан завод в Японии фирмой Mazak для производства многоцелевых горизонтальных и вертикальных токарных станков с ЧПУ типа обрабатывающих центров, токарных станков с ЧПУ и другого станочного оборудования. Завод работает 24 часа в сутки. Он создавался путем последовательной автоматизации производства в течение 20 лет. Была постепенно внедрена робокарная транспортная система для подачи заготовок и вывоза обработанных деталей в многоярусные склады, совершенствовались станки с ЧПУ, образовывались ГПМ и, наконец, ГПС.

Мировые производители начинают выпуск реконфигурируемых производственных систем (РПС/RMS), которые, по мнению специалистов, окажут огромное влияние на развитие промышленности в целом. Обладая производственной мощностью, которая регулируется в зависимости от потребности воздействия на материал, адаптируясь к ее новым функциям, новые системы более универсальны.

18. Развиваются технологии **быстрого создания прототипов** и моделирование процессов.

19. **Дистанционное управление производством** станков позволяет по информационной сети передавать не только текстовую информацию, но и чертежи, таблицы, фотографии и звуковые сигналы. Это способствует удобству работы операторов станков и персонала, управляющего производственным процессом.

20. **Сервисная и техническая поддержка через Интернет** потребителей оборудования. Через Интернет осуществляется глубокая диагностика каждой единицы оборудования и систем ЧПУ. Для этого предприятие-клиент становится на абонентное обслуживание производителя оборудования. С помощью Интернета клиент получает информацию о рекомендуемых конструкциях инструментов и режимах резания. При необходимости фирма prepares УП и передает ее клиенту по Интернету, а также редактирует УП, составленные другими фирмами, и выдает необходимые рекомендации.

Это постепенно ведет к созданию компьютерно-интегрированных производств станочного оборудования.

21. При проектировании станков большое внимание уделяется их **дизайну**. Современные станкостроители стремятся конструировать эргономичные станки с эстетически приятным внешним видом интуитивно простыми в использовании. Интеграция всех вышеперечисленных задач требует от промышленного дизайнера развитых инженерных навыков, хорошего воображения и тонкого эстетического вкуса.

1.5 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите первую пятерку стран потребителей станочной продукции в мире.
2. Назовите первую пятерку стран производителей станочного оборудования в мире.
3. Перечислите известные Вам технико-экономические показатели оценки качества металлорежущего станка.
4. Какими показателями характеризуется гибкость станочного оборудования?
5. Перечислите основные технические и экономические приоритеты заказчиков металлорежущих станков.
6. Назовите основные тенденции развития оборудования для изготовления деталей машин
7. Дайте определение понятию «высокоскоростная обработка».
8. Охарактеризуйте современные тенденции станкостроения в области применения новых прогрессивных материалов.
9. Какие преимущества дает агрегатно-модульный принцип построения станков?
10. Охарактеризуйте современные тенденции станкостроения в областях лазерной и электрофизической обработки.
11. Какие энергосберегающие мероприятия характерны для станкостроения?
12. Какова цель создания центров по комплексной металлообработке?

2 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТЕЙ РЕЗАНИЯ, ПОДАЧ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Динамика скоростей резания и подач при обработке на современном оборудовании

В мировом станкостроении сегодня наблюдается устойчивая тенденция создания станков, предназначенных для высокоскоростной обработки (ВСО) – *High speed cutting (HSC)*. Достижения в области технологии создания режущего инструмента позволили эффективно применять высокоскоростную обработку в различных отраслях машиностроения. Ведущие мировые производители режущего инструмента подошли к некоему пределу качества. И теперь все большее значение приобретает техническая поддержка, то есть способность компании-продавца произвести оптимальный подбор инструмента под конкретные технологические потребности заказчика [26–28].

В последнее время интерес предприятий к данной обработке стремительно увеличивается. Внедрение ВСО становится ключевым фактором в достижении успеха. Основная выгода обеспечивается тем, что высокие режимы резания ВСО сокращают время резания и стоимость конечного изделия. Время производственного цикла сокращается на 50 % и более. С помощью ВСО достигается максимальная производительность. Кроме того, в некоторых случаях использование ВСО является единственным возможным способом обработки деталей.

Раньше данную обработку сдерживали: режущий инструмент, оборудование, системы ЧПУ. На сегодняшний день эти проблемы вполне решены, и поэтому ВСО быстро развивается и уже довольно широко применяется.

Основным принципом ВСО является: малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью резания и высокой минутной подачей (рис. 2.1). Скорость резания и подача в 5–10 раз выше, чем при обычной обработке. Рекомендуемая глубина резания не должна превышать 10 % диаметра фрезы.

При ВСО, кроме снижения величины крутящего момента в зоне высоких скоростей, наиболее важным фактором является перераспределение тепла в зоне резания. В данной обработке скорость подачи превышает скорость теплопроводности обрабатываемого материала, поэтому основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку и инструмент. Таким образом, с помощью ВСО можно фрезеровать закаленные стали, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Исследования показали, что 75 % тепла отводится со струж-

кой, 20 % – через инструмент и 5 % – через обрабатываемую деталь. Ввиду этого ВСО базируется на сокращении тепла, которое обычно и является причиной износа инструмента.

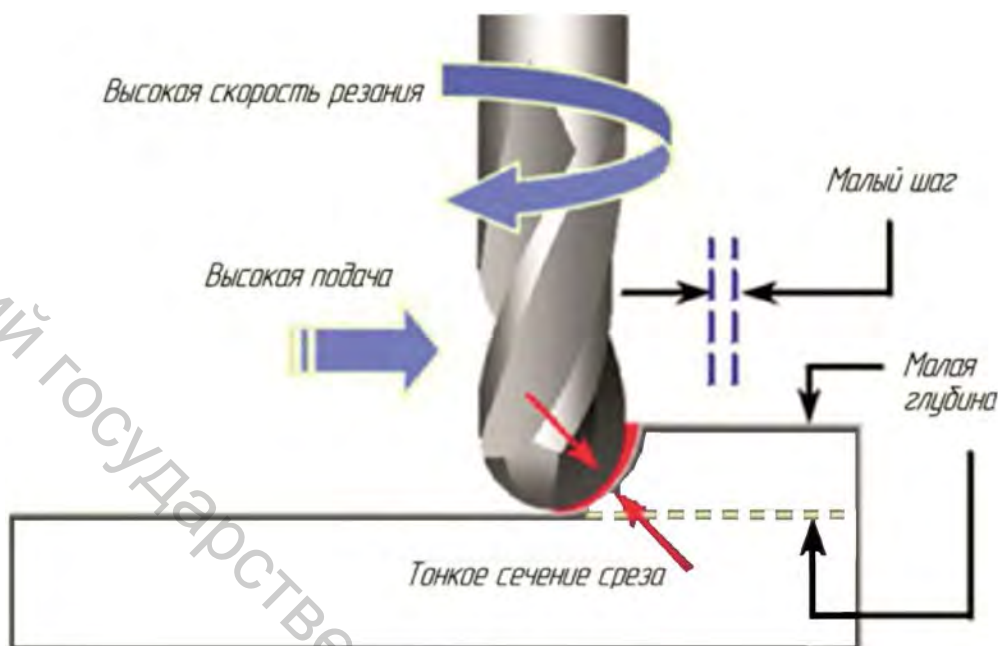


Рисунок 2.1 – Принцип ВСО

ВСО не всегда уменьшает машинное время за счет высоких режимов резания, это не основное ее предназначение. В чем же смысл данной обработки? Основной эффект ВСО заключается в следующем:

- повышение качества обработки;
- возможность обработки материалов, чувствительных к перегреву;
- эффективное использование станков с ЧПУ;
- переход от электроэрозионной обработки и шлифования к лезвийной обработке;
- сокращение и упрощение технологических процессов, в которых исключается эрозионная обработка и ручная доводка.

ВСО применяется там, где необходимо быстро снять металл, а также при обработке сложных деталей:

- обработка длинных тонкостенных алюминиевых деталей (например, деталей крыла и фюзеляжа самолетов). К данным деталям обычно предъявляются высокие требования по качеству обработки. Учитывая большие объемы срезаемого металла, высокое качество данных деталей возможно добиться только путем применения ВСО (скорость резания 1500...3000 м/мин, обороты шпинделя 15000...50000 об/мин, а также высокие подачи), так как благодаря небольшим сечениям среза, силы резания не велики;

– обработка изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов в аэрокосмической и автомобильной промышленности;

– обработка штампов и пресс-форм, характеризующихся жесткими допусками, высокой точностью и низкой шероховатостью поверхности. Достижение данных требований возможно за счет применения ВСО;

– обработка деталей малых размеров, миниатюрных деталей в медицине и других отраслях, включая нанотехнологии;

– обработка в ювелирной промышленности.

Сегодня данная обработка успешно внедрена и получила всемирное признание. Вместе с тем ВСО довольно не простой процесс и предъявляет ряд жестких требований ко всем ее составляющим, требует высокой степени оптимизации, так как безупречная работа возможна только в очень узкой области технологических параметров.

Современное станкостроение поддерживает данную обработку, придавая станкам особые характеристики: высокая геометрическая точность, высокая статическая жесткость, высокая динамическая жесткость, температурная стабильность, обеспечение свободного схода стружки. Станки должны иметь хорошие виброгасящие характеристики, безлюфтовые движения перемещающихся частей.

Для ВСО используются станки, оснащенные *высокоскоростным инструментальным шпинделем, частота вращения шпинделя находится в пределах 12000–40000 об/мин.*

Скорость подач для ВСО *должна составлять порядка 40–60 м/мин, скорость быстрого перемещения – до 90 м/мин, отрабатывая при этом малые перемещения – от 1 до 20 мкм.*

Современные станки обладают данными характеристиками, и ВСО становится все более реальной для практического применения.

Особые требования также налагаются и на систему ЧПУ, она должна позволять высокую скорость просмотра кадров вперед (100–200 кадров/с), чтобы успевать сделать расчеты для торможения на подходе к углу и разгона после поворота. Кроме того, обладать множеством других возможностей для обработки ВСО.

Производители режущего инструмента не стоят на месте и уже давно выпускают твердосплавные *режущие инструменты*, работающие преимущественно на больших скоростях. Для создания подобного инструмента используются мелкодисперсные сплавы. Использование больших оборотов (40000 об/мин) предполагает применение инструментов небольшого диаметра 15–20 мм.

Применение данных инструментов на малых скоростях может быстро вывести их из строя, но стоит только повысить скорость резания – стойкость пластины вырастает в разы! Все дело в выходе на особый режим ВСО, когда сопротивление металла резанию резко снижает-

ся. По незнанию данных моментов на практике часто возникают проблемы при работе с данными инструментами.

Часто для ВСО используют плунжерные фрезы (монокристаллические и с пластинами), инструменты с кубическим нитридом бора (КНБ), а также инструмент с поликристаллическим алмазом (ПКА).

Из-за большого объема материала, срезаемого при ВСО на больших подачах, желательно использовать двузубые фрезы, чтобы стружка могла свободно уместиться в канавке. Опыт показывает, что желательно применять специальные фрезы и режущие пластины с большими передними углами заточки.

Вспомогательный инструмент для крепления инструментов должен иметь конус HSK (возможно BBT конус), обладающего высокой статической и динамической стабильностью, высокой точностью, возможностью самобалансировки на высоких скоростях, а также меньшей массой по сравнению с другими конусами (рис. 2.2).

Как известно, биение инструмента имеет особое влияние на его стойкость. Так при ВСО снижение биения инструмента до нескольких микрон увеличивает срок службы режущих пластин в несколько раз. Поэтому при ВСО первый выбор отдается термозажиму инструмента, т.е. термopatронам, термоусадочным цанговым зажимным патронам, также используются различные гидравлические патроны, балансируемые патроны, позволяющие работать на оборотах до 100000 об/мин. Полное радиальное биение (TIR) должно составлять максимум 10 микрон на режущей кромке. Главное качество вспомогательного инструмента – это выбрать все зазоры между инструментом и шпинделем (рис. 2.2).

ВСО ведется в надкритическом для колебаний диапазоне, потому что везде при таких высоких скоростях вращения значительно превышаются частоты резонанса детали, инструмента и компонентов станка.

Назначение *режимов резания вызывает* некоторые трудности. Хотя они указаны в каталогах применяемого инструмента, тем не менее, имеют предварительный характер, окончательное же назначение режимов резания ведется исходя из опыта и экспериментов для конкретного обрабатываемого материала.

Для самых труднообрабатываемых материалов величину подачи на зуб можно вычислить по формуле $f_z = 0,01 \times D$, где D – номинальный диаметр фрезы.

Необходимо иметь в виду, что в некоторых случаях приходится занижать режимы резания при обработке отдельных участков. Например, при фрезеровании полостей, когда опускание происходит по спирали или зигзагу. Здесь возможно опускание и в предварительно засверленное отверстие, но это не всегда бывает удобным. Иногда при обработке сложных участков выгодно фрезеровать с большими съемами, но

меньшей скоростью, это увеличивает время обработки, однако исключает различные поломки.

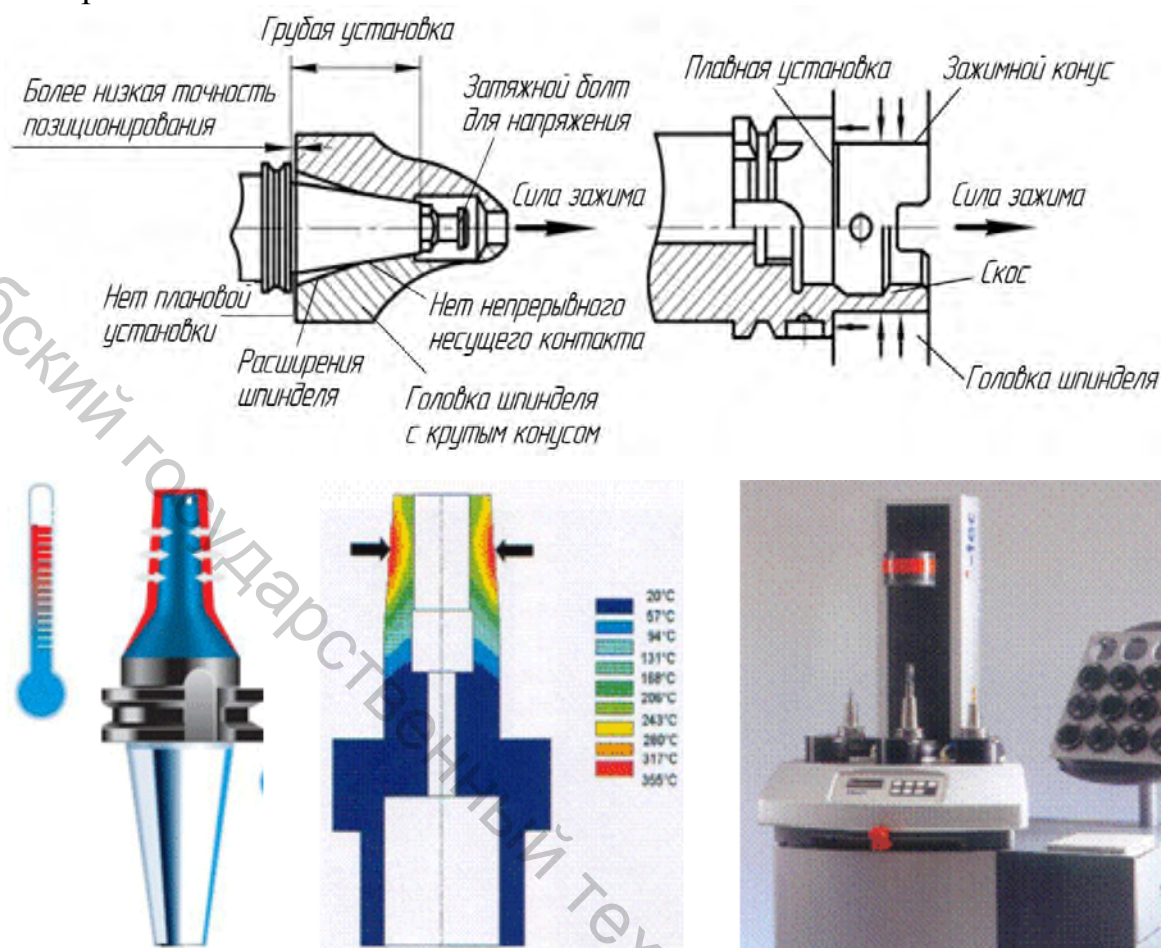


Рисунок 2.2 – Вспомогательный инструмент для ВСО

Наибольшая стойкость наблюдается *при использовании обдува*. Так как тепло концентрируется в стружке, ее надо просто удалить из зоны резания, а не охлаждать заготовку и инструмент как прежде. В случае применения СОЖ инструмент подвергается циклическим температурным нагрузкам на кромке, что приводит к преждевременному выкрашиванию. А как известно, для инструмента постоянная тепловая нагрузка, даже на средних температурах, лучше, чем меняющаяся циклическая нагрузка.

Применение охлаждающей эмульсии иногда имеет место при ВСО, но не с целью охлаждения, а для использования ее смазывающих свойств. Охлаждающая эмульсия помогает скольжению стружки по режущей кромке без теплообмена.

Наиболее эффективным является применение масляного тумана с обдувом воздушной струей под большим давлением. При этом масло должно иметь растительное происхождение и быть безвредным для здоровья.

Применение ВСО невозможно без *инновационных САМ-систем*, обладающих возможностью программирования данной обработки. К САМ-системе для ВСО предъявляется множество требований, так как от качества УП во многом зависит износ дорогостоящего станка и инструмента, а также качество самой обработки.

САМ-система должна обеспечить равномерность снимаемого слоя и плавность движения инструмента, иначе инструмент сломается. Для этого необходимо применение верной стратегии обработки и специальной траектории движения инструмента.

При определении стратегии обработки и построении траектории должно быть обеспечено отсутствие резких изменений направления движения инструмента. САМ-система должна обладать возможностью генерации траектории, базирующейся на сплайнах (Nurbs – based machining), трохоидальной обработке.

2.2 Мощность приводов станков

При проектировании станка существенное значение имеет определение требующейся мощности привода. Коэффициент полезного действия реальных звеньев может в большей или меньшей степени отклоняться от приведенных средних значений. Например, если диаметр зубчатого колеса и подшипника близки друг к другу, то коэффициент полезного действия подшипника резко падает. В таких случаях необходим обстоятельный расчет потерь на трение [29].

Однако для современных быстроходных станков определение мощности привода на основании формулы дает результаты, значительно отличающиеся от фактически требующейся мощности, что связано с большой величиной мощности холостого хода быстроходных металло-режущих станков.

Эксперименты показывают, что с повышением числа оборотов шпинделя в минуту путем изменения передаточных отношений в коробке скоростей при одном и том же числе оборотов первого вала мощность холостого хода возрастает. При этом между числом оборотов шпинделя и мощностью холостого хода существует нелинейная зависимость. Нелинейная зависимость между повышением числа оборотов первого вала и мощностью холостого хода заметна при высоких скоростях шпинделя.

Нелинейная зависимость возрастания мощности холостого хода обуславливается тем, что ряд потерь холостого хода возрастает пропорционально квадрату скорости. Например, пропорционально квадрату скорости возрастают силы трения, возникающие под действием центро-

бежных сил, силы трения между дисками расцепленных фрикционных муфт, аэродинамические потери.

Сравнение общей мощности холостого хода привода и мощности холостого хода шпинделя свидетельствует о том, что значительная часть мощности холостого хода затрачивается на вращение шпинделя. Такое положение характерно для значительной части станков.

Значительная мощность холостого хода расходуется на трение между дисками расцепленных фрикционных муфт, на перемешивание масла в масляной ванне.

Для снижения мощности холостого хода быстроходных станков следует избегать применения подшипников скольжения, конических роликовых подшипников, к. п. д. которых ниже шариковых, войлочных уплотнений, фрикционных муфт для переключения передач. С этой же целью масляную ванну следует заменять циркуляционной смазкой. К качеству изготовления деталей приводов необходимо предъявлять повышенные пресования, а быстро вращающиеся детали подвергать балансировке.

Снижение мощности холостого хода при высоких скоростях может быть достигнуто при использовании так называемого разделенного привода, рассматриваемого ниже.

Однако даже при совершенной конструкции привода мощность холостого хода остается значительной и ее необходимо учитывать при определении мощности приводного электродвигателя.

Практически мощность холостого хода может быть измерена только при отсутствии полезной нагрузки. Однако действие рассмотренных выше факторов сказывается в той или иной степени и при работе станка под нагрузкой. Их влияние может изменяться вследствие того, что силы веса уравниваются движущими силами, меняется характер перекосов и т.п. В первом приближении можно принять, что мощность холостого хода суммируется с мощностью, необходимой для выполнения полезной работы, которую можно определять по формуле.

Тяговое усилие складывается из составляющих сил резания и сил веса, действующих в направлении перемещения рабочего органа, сил трения, возникающих под действием составляющих сил резания, сил веса движущихся частей, движущих сил и сил предварительной затяжки регулируемых элементов направляющих, сил прилипания поверхностей направляющих.

Точное определение мощности привода подач имеет особо важное значение при независимом приводе подач, особенно в следящих системах, когда размеры элементов привода и самого двигателя существенно сказываются на динамических качествах системы.

Приводы главного рабочего движения и подач должны обеспечивать изменение числа оборотов или скорости прямолинейного движения в пределах заданного диапазона. Внутри заданного диапазона измене-

ние чисел оборотов или скорости можно производить либо непрерывно, либо скачкообразно. В первом случае мы имеем бесступенчатое, во втором – ступенчатое изменение чисел оборотов или скоростей.

2.3 Высокоскоростной шпиндель

Высокоскоростной шпиндель должен обеспечивать ряд технических требований, к которым в первую очередь относятся:

- высокая пиковая мощность и мощность постоянного действия;
- максимальная радиальная и аксиальная жёсткость;
- максимальная скорость вращения;
- соответствующая требованиям высокоскоростной обработки (ВСО) система крепления инструмента, часто с возможностью автоматической смены инструмента [26–28, 30].

К основным моментам при конструировании высокоскоростного шпинделя относятся:

- тип шпинделя (с ременной передачей или мотор-шпиндель со встроенным мотором);
- подшипники шпинделя: тип, количество, конфигурация, вид смазки;
- мощность привода;
- система зажима инструмента и инструментальные оправки;
- корпус шпинделя (размеры, вид монтажа).

Выбор типа шпинделя определяется требованиями к станку – необходимой скоростью вращения, мощностью и жёсткостью. Стоимость также является существенным фактором. Шпиндель с ременной передачей имеет принципиально меньшую стоимость, чем мотор-шпиндель.

Высокоскоростной **шпиндель с ременной передачей** аналогичен обычному шпинделю с ременной передачей. Типичный шпиндель с ременной передачей включает в себя установленный в корпус шпиндельный вал на подшипниковых опорах. Он снабжён системами зажима и разжима инструмента, причём механизм разжима инструмента в большинстве случаев монтируется извне.

Мощность и вращение передаются шпинделю от внешнего мотора, который устанавливается в непосредственной близости от шпинделя. Момент передаётся к шпинделю посредством ременной передачи. Мощность, момент и скорость шпинделя определяются характеристиками мотора и передаточным отношением ременной передачи.

Принципиальные преимущества шпинделя с ременной передачей заключаются в следующем:

- сравнительно низкая стоимость: шпиндель состоит из нескольких базовых компонентов, и его стоимость сравнительно низкая по

сравнению с альтернативными решениями;

- широкий диапазон технических данных: так как мощность, момент и скорость шпинделя определяются характеристиками мотора, конечная спецификация шпинделя может быть изменена за счет выбора другого мотора или другого передаточного отношения. в некоторых случаях для увеличения скорости вращения используют зубчатые передачи;

- высокая мощность и момент: мотор располагается вне шпинделя, следовательно, здесь можно использовать мотор очень большого диаметра, что обеспечит высокий момент и мощность.

Однако следует отметить ограничения шпинделей с ременной передачей, особо существенных при высокоскоростной обработке:

- а) ограничение максимальной скорости. Шпиндель с ременной передачей ограничен по скорости вследствие следующих факторов. Механические соединения, ремень и система шкивов имеют ограниченную скорость. Если используется клиноременная передача, высокая скорость вращения шкивов приводит к растяжению и ремней, что ограничивает передачу вращающего момента. Клиновидные ремни исключают эту проблему, зато на высоких скоростях при их использовании возникает недопустимый уровень вибраций. Зубчатые зацепления имеют также низкую максимальную скорость, склонны к вибрациям и к повышенному нагреву при высоких скоростях;

- б) ременная передача снижает нагрузочную способность подшипников: передача момента у рассматриваемых шпинделей передаётся посредством ремня и системы шкивов. Натяжение ремня создаёт постоянную радиальную нагрузку на задние подшипники шпинделя. С увеличением мощности и скорости шпинделя требуемое натяжение и, соответственно, радиальная нагрузка на подшипники также возрастает и тем самым исчерпывает радиальную нагрузочную способность подшипников. Установка подшипников большего диаметра или дополнительного набора подшипников проблемы не решает, так как эти меры в свою очередь снижают максимально возможную скорость вращения шпинделя.

Мотор-шпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, мотора и системы зажима инструмента (рис. 2.3). Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20 % и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного приложения определяется требованиями станка. В конечном итоге должен быть сделан выбор оптимальной комбинации скорости вращения, мощности, жёсткости и нагрузочной способности.

Одним из наиболее критических компонентов любого высокоскоростного шпинделя является *система подшипников*. Шпиндель должен обладать высокими скоростями вращения, передавать необходимые

вращающий момент и мощность к инструменту, иметь хорошую нагрузочную способность и длительный срок службы. Подшипники должны обеспечивать все эти требования.



Рисунок 2.3 – Мотор-шпиндель с исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки

Многие мировые производители предлагают высокоточные подшипники для высокоскоростной обработки (ВСО). Типы подшипников – роликовые, роликовые конические, шариковые подшипники с угловым контактом. Критерии выбора подшипников зависят от спецификации шпинделя (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Критерии выбора подшипников

Требования	Тип подшипников	Влияние на параметры шпинделя
Высокая скорость	Малый угловой контакт	Малый вал, низкая мощность
Высокая жёсткость	Большие ролики	Низкая скорость, большой вал
Аксиальная нагревательная способность	Большие угол контакта	Понижение скорости
Радиальная нагревательная способность	Малый угол контакта	Повышение скорости
Высокая точность	ABEC 9, Высокий преднатяг	Дорого, низкая скорость

Выбор подшипников определяется многими факторами. Шпиндель, предназначенный для работы с максимально возможной скоростью вращения, не может иметь высокой жёсткости, шпиндель с высокой жёсткостью не может вращаться на высоких оборотах без резкого уменьшения срока службы подшипников. Таким образом, разработчик шпинделя обязан выбрать наилучшее компромиссное решение.

Радиально-упорные подшипники наиболее часто используются в составе высокоскоростных шпинделей с высокими скоростями вращения по причине того, что они обеспечивают высокую точность, нагрузочную способность и скорость для обработки металлов. В некоторых

случаях используются роликоподшипники вследствие их более высокой нагрузочной способности и жёсткости. Однако они не обеспечивают необходимую скорость вращения.

С целью обеспечить требуемую нагрузочную способность шпинделя, предназначенного для работы с высокой скоростью вращения, группы по 2–3 подшипника в каждой группе устанавливают в различных конфигурациях. Это позволяет распределить нагрузку и увеличить общую жёсткость шпинделя.

Очень часто используется установка подшипников в «О»-конфигурации (рис. 2.4). Эта конфигурация обеспечивает наиболее высокую точность и жёсткость шпинделя. При использовании «О»-конфигурации максимальные скорости несколько снижаются, зато обеспечивается одинаковая жёсткость шпинделя в обоих аксиальных направлениях. Типичным применением «О»-конфигурации является сверление.



Рисунок 2.4 – «О»-конфигурация подшипников

«О-Тандем»-конфигурация установки подшипников применяется, как правило, для тяжёлых шпинделей и высоких вращающих моментов при снятии больших объёмов материала и использовании длинных инструментов.

В большинстве случаев для высокоскоростных шпинделей используется «Тандем»-конфигурация подшипников. Здесь 2–3 подшипника устанавливаются один за другим в носовой части шпинделя, и таким же образом 2–3 подшипника устанавливаются в задней части шпинделя. «Тандем»-конфигурация подшипников является стандартной для шпинделей малых и средних размеров. Она обеспечивает максимально возможные скорости вращения. Для увеличения момента между подшипниками устанавливаются промежуточные кольца. Положение подшипников фиксируется шпиндельным валом и корпусом шпинделя (рис. 2.5).

Шагом вперёд в технологии производства подшипников явилось использование керамики (нитрида кремния) для изготовления прецизи-

онных шариков. Гибридные керамические подшипники имеют следующие преимущества:

- повышение скорости вращения на 30 % без влияния на срок службы подшипников определённого диаметра (за счёт меньшей массы керамических шариков);
- исключение *холодного «микросваривания»* материала шарика с материалом подшипниковых колец (уменьшение генерации тепла и повреждений подшипников);
- *снижение уровня вибраций шпинделя.*



Рисунок 2.5 – «О-Тандем»-конфигурация установки подшипников

Существует несколько видов *смазки радиально-упорных подшипников* для ВСО. Смазка должна образовывать микроскопическую плёнку между вращающимися деталями для предотвращения абразивного износа и коррозии.

Наиболее простым видом смазки является консистентная (перманентная) смазка. Такая смазка заполняет пространство между шариками и кольцами подшипника и не меняется весь срок службы подшипников. Преимущества очевидны – минимальная стоимость и минимальные затраты на техническое обслуживание. Однако перманентная смазка имеет ряд ограничений. При повышении скорости вращения растёт температура, что может негативно повлиять на свойства смазки. Увеличить количество смазки не значит улучшить качество подшипника. Перегретая смазка может вспениться и испортиться. Примерно 20–30 % пространства внутри подшипника должно быть заполнено. После ввода смазки необходим период приработки для распределения смазки внутри подшипника.

Замена смазки для высокоскоростных шпинделей не практикуется. При замене подшипников новая чистая смазка тщательно впрыскивается в подшипники, часто под давлением, чтобы предотвратить попадание загрязнений, которые могут привести к быстрому выходу из строя подшипника.

Наиболее эффективной смазкой подшипников шпинделей для ВСО является воздушно-масляная смазка. Точно рассчитанное количество масла и воздух подаются под давлением в специальный механический смеситель, откуда воздушно-масляная смесь по трубкам поступает к подшипникам шпинделя. Здесь минимальное количество масла подаётся через отверстия малых размеров непосредственно к месту контакта шарика с кольцом подшипника. Этим оптимизируется смазка подшипников и снижается их нагрев. На рисунке 2.6 показан механизм АІ-смазки.

Рынок предлагает много вариантов масла для смазки подшипников. ИВАГ выбрал и оптимизировал для своих шпинделей комплектную систему для воздушно-масляной смазки, которая может быть приобретена вместе со шпинделем.

Для мотор-шпинделей **размеры и мощность мотора** жёстко ограничены размером шпинделя. Как было показано выше, размеры подшипников являются критическим фактором при разработке шпинделя. Размеры ротора мотора определяют выбор размеров подшипников. Последние, в свою очередь, определяют нагрузочную способность, жёсткость и максимальную скорость шпинделя, так что характеристики мотора должны быть согласованы с возможностями подшипников (рис. 2.7).

Для высокоскоростных шпинделей чаще всего используются асинхронные моторы. В таких конструкциях ротор соединён со шпиндельным валом посредством клеящего материала или с помощью термической усадки. Ротор и статор обычно поставляются производителями моторов и приводов.

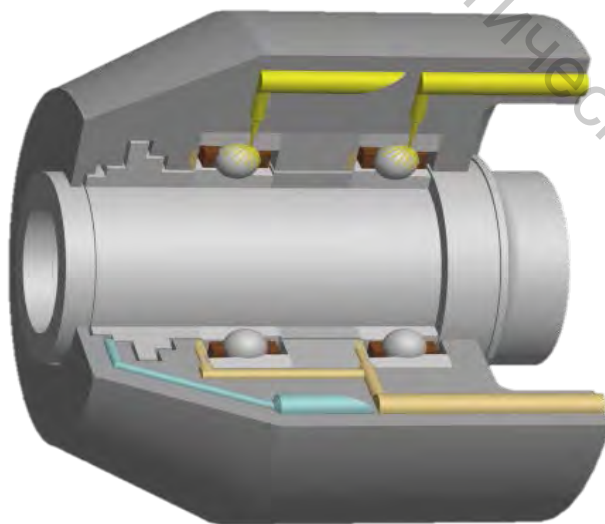


Рисунок 2.6 – Подача воздушно-масляной смазки к месту контакта шарика с кольцом подшипника

Моторы, используемые в мотор-шпинделях, характеризуются постоянным вращающим моментом до достижения базовой скорости и постоянной мощностью после её достижения. Так как мощность является функцией произведения скорости и момента, приведённые диаграммы являются типовыми. Для нормальных шпинделей величина момента увеличивается за счёт шкивов и зубчатых передач.

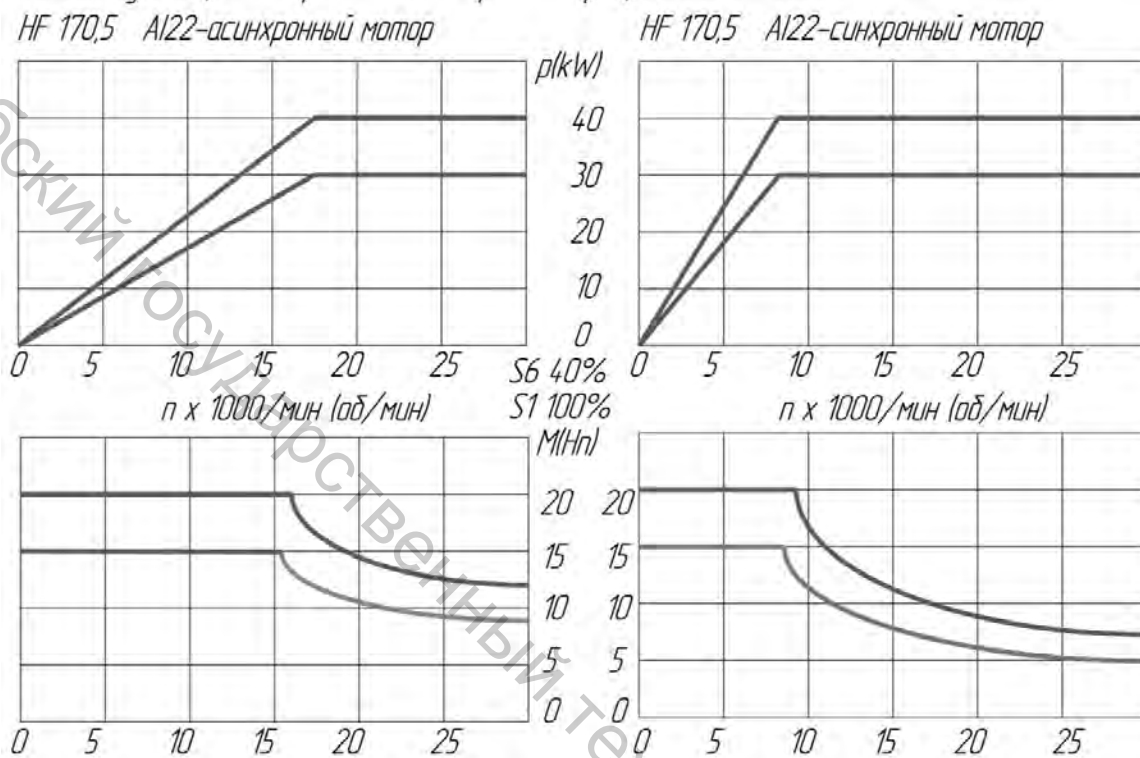


Рисунок 2.7 – Диаграммы мощности и момента мотор-шпинделей

У мотор-шпинделей же мощность и скорость, необходимые для выполнения всех видов обработки, определяются только характеристиками мотора. Мотор-шпиндели проектируются таким образом, чтобы максимальная мощность достигалась на близкой к максимальной скорости вращения.

Встроенные асинхронные двигатели обычно являются трёхфазными и приводятся в действие специальными электроприводами – частотными преобразователями типа HF (highfrequency). От преобразователя к шпинделю поступает ток переменной частоты и переменного напряжения.

Подшипники для ВСО в высшей степени чувствительны к внешним загрязнениям. Попадание стружки, пыли, СОЖ и других внешних материалов в область подшипников могут вызвать повреждение подшипников и даже их отказ. Это особенно касается подшипников с перманентной смазкой.

Для защиты подшипников и шпинделя в целом от попадания внешних загрязнений в конструкции шпинделя применяются специаль-

ные уплотнения. Наиболее часто используются воздушные уплотнения. Наиболее простым методом защиты является подача сжатого воздуха под низким давлением внутрь шпинделя. Поток этого воздуха под низким давлением выходит наружу в носовой и задней части шпинделя, что предотвращает шпиндель от попадания загрязнений внутрь (рис. 2.8).

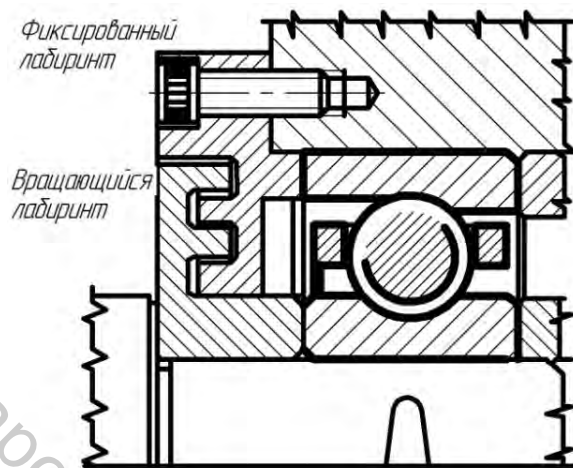


Рисунок 2.8 – Лабиринт и воздушное уплотнение

Это особенно важно для мотор-шпинделей вследствие часто встречающегося «каминного эффекта». При работе шпинделя ротор нагревается. Образовавшееся тепло через подшипники передаётся к шпиндельному валу, который в свою очередь нагревается. При останове шпинделя горячий вал нагревает окружающий воздух, который расширяется и, как в камине, поднимается вверх и часто несёт с собой загрязнения, которые могут попасть внутрь шпинделя.

Наиболее уязвима носовая часть шпинделя. Передние подшипники располагаются очень близко к зоне резания и должны быть особо тщательно защищены от попадания загрязнений. Обычные контактные уплотнения не работают в условиях ВСО. Для высокоскоростных шпинделей используются лабиринтные уплотнения. Это бесконтактная система уплотнений, состоящая из неподвижной и вращающейся частей. Обе части соответствуют друг другу по форме и снабжены системой пазов, образующих перепускной канал для выхода сжатого воздуха. Если давление подаваемого в шпиндель сжатого воздуха соответствует заданным в инструкции по эксплуатации параметрам, шпиндель гарантирован от попадания загрязнений внутрь.

В современных станках с ЧПУ часто используются системы автоматической смены инструмента (ATCAutomaticToolChange). Наиболее широкое применение нашли системы CAT, BTи ISO. В недалёком прошлом появились специально предназначенные для ВСО системы HSK.

Системы CAT, BT и ISO были разработаны без учета особенностей ВСО. Применение этих систем оказывает негативное влияние на точность и качество обработанных поверхностей. Особенно критическим моментом является балансировка.

Шпиндель должен обеспечивать возможность установить и зажать оправку. Для этого на носовом конце шпиндельного вала имеется конус, точно соответствующий спецификациям CAT, BT, ISO и HSK. Кроме этого необходимо наличие механизма зажима, обеспечивающего удержание оправки в шпинделе при обработке. Это устройство – зажимная тяга – обеспечивает достаточное усилие, превышающее все силы, действующие в процессе резания. Наиболее часто используется пакет тарельчатых пружин для создания постоянного усилия. Один конец тяги захватывает головки инструментальной оправки и удерживает оправку в конусе. При смене инструмента гидравлический или пневматический цилиндр отжимает тягу и освобождает оправку (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Встроенная система зажима

Если шпиндель используется на станке, оснащённом системой автоматической смены инструмента из инструментального магазина, шпиндель оснащается специальными датчиками для контроля положения инструментальной оправки.

Современные шпиндели для ВСО оснащены различными датчиками, для отслеживания положения шпиндельного вала, температуры и вибрации. С помощью полученных данных от датчиков устройство ЧПУ рассчитает компенсации смещения вала и произведет данную

компенсацию. Датчики температуры на подшипниках предостерегут от перегрева и повреждения шпинделя. Датчики температуры показывают три сигнала «все в порядке», «состояние критическое» и «ошибка». При критическом состоянии обработка будет прервана на некоторое время для снижения температуры. Датчик вибрации при критических значениях также предупредит о чрезмерной вибрации. Она может быть вызвана неправильной балансировкой патронов и другими причинами. Такие «умные» шпиндели обеспечивают долгую службу станков, снижают их простои, реализовывают безлюдную технологию, а также обладают рядом других преимуществ. Данные шпиндели имеют опции для различного охлаждения инструмента и заготовки, а также много других полезных опций.

2.4 Отвод стружки

Автоматизированный отвод стружки является важным организационно-техническим мероприятием на пути совершенствования и расширения возможностей многооперационных станков. Использование устройств автоматизированного отвода стружки обеспечивает:

- упрощение многостаночного обслуживания, поскольку оператору не требуется постоянно наблюдать за процессом обработки;
- сокращение простоев станка;
- сбор и утилизацию стружки с учетом марок обрабатываемого материала;
- удобный доступ и наблюдение за деталью во время обработки;
- снижение тепловых деформаций детали от находящейся в зоне обработки горячей стружки;
- улучшение защиты элементов станка от попадания продуктов обработки;
- улучшение условий труда [31–32].

Вопросы организации автоматизированного стружкоудаления являются весьма сложными и на сегодня не нашли еще исчерпывающего, эффективного решения, пригодного для реализации в разнообразных многооперационных станках.

Особенно остро стоят эти вопросы при создании и эксплуатации обрабатывающих производственных модулей (ячеек), построенных на базе многооперационных станков, и гибких автоматизированных производств. Зачастую организация автоматической уборки стружки ложится на заказчика – потребителя станка, поэтому применяют системы различных исполнений.

Одним из часто применяемых устройств автоматизированного отвода стружки из зоны резания является вытяжное устройство. Зону ре-

зания ограждают упругими щитками, из нее через отводящий патрубок и трубопровод с помощью вытяжного устройства удаляемая стружка и эмульсия направляются в циклон, разделяющий указанные компоненты. Стружка собирается в приемном устройстве. Вытяжные устройства могут эффективно применяться на фрезерных операциях, где стружкообразование происходит наиболее интенсивно, а стружка мелкоэлементная. В качестве вытяжного устройства могут использоваться вентилятор или эжектор. В первом случае, получившем большее распространение, вентилятор мощностью 5–7 кВт создает достаточный воздушный напор, а устройство в целом обладает высоким КПД.

Для более простых случаев отвода стружки с поверхностей плоских деталей в качестве вытяжного устройства применяют эжектор. Гораздо сложнее организовать автоматизированный отвод стружки при обработке сложных корпусных деталей, особенно при расточных операциях. Здесь используют обдув зоны обработки сжатым воздухом или смывание стружки с детали и стола станка струями СОЖ или масла, применяют защитные щитки с наклонными верхними плоскостями, устанавливают в нижней части станка корыта со шнековыми или иными транспортерами, подающими собранную стружку в приемники. При этом СОЖ собирается специальными сборными элементами (щитками, лотками и т.п.) и возвращается в устройство очистки и подачи на станок.

Автоматизация сбора и отвода стружки тесно связана с решением задачи обеспечения надежного стружкодробления при резании. Однако проблема автоматизации отвода сливной стружки, образованной при резании, практически неразрешима. Введение процесса стружкоразмалывания в транспортере малоэффективно, так как основная масса стружки не доходит до этого конечного устройства, застревая в деталях и различных выступающих элементах станка, или не проваливается через решетку лотка транспортера. Кроме того, такая стружка наиболее опасна с точки зрения техники безопасности и охраны труда.

Применение рекомендуемых для стружкодробления конструктивных элементов [31–32] может в некоторых случаях давать хорошие результаты, однако эти элементы не являются универсальными для разных режимов обработки и обрабатываемых материалов. Наиболее распространен способ стружкодробления, основанный на изменении в процессе обработки режимов резания с помощью устройства ЧПУ, например, на прерывании подачи через 2–3 оборота инструмента (или детали), однако на чистовых операциях применять такой способ нельзя.

При наиболее интенсивном использовании многооперационных станков, особенно в составе гибких автоматизированных производств, должна решаться и задача автоматического удаления стружки из накопителей приемников. Сложность здесь заключается в том, что коэффициент заполнения объема у стружки чрезвычайно мал и поэтому нера-

ционально транспортировать стружку от станка в накопителе, имеющем, как правило, значительный объем. Для упрощения транспортировки и дальнейшего использования стружка в автоматическом режиме прессуется в специальных устройствах в брикеты, которые транспортерами или иным способом подаются в места сбора (в зависимости от марки обрабатываемого материала), откуда поступают на переработку.

2.5 Статическая и динамическая жесткость и виброустойчивость станков

В процессе эксплуатации на любую машину действуют силы, которые вызывают упругие деформации как машины в целом, так и ее элементов. Различают деформации самих деталей, из которых состоит машина, и контактные деформации на поверхностях сопряжения деталей. Деформации деталей не являются доминирующими, они только дополняют контактные, составляющие основную долю (до 85 %) в общих перемещениях. Сближение контактирующих поверхностей зависит не только от приложенной силы, но и от реальной площади контакта, которая определяется погрешностью формы и микрогеометрией этих поверхностей, а также приложенной силой. Технологическая система механической обработки отличается от обычной системы тем, что в нее, кроме технологической машины (станка), включены приспособление, инструмент и заготовка. В такой системе технолога интересует не полная упругая деформация, а только та ее часть, которая влияет на размер обрабатываемой поверхности, смещая уровень размерной настройки [1–3, 33–34].

Свойство машины (и технологической системы) упруго деформироваться под действием силы будем называть *податливостью*, а обратное податливости свойство – *жесткостью*. Податливость измеряется в миллиметрах на килоньютон (мм/кН), а жесткость j – в килоньютонах на миллиметр (кН/мм). Связь между силой P и соответствующей ей упругой деформацией δ обычно нелинейна, поэтому определяющее уравнение жесткости всякой машины имеет вид

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta \delta},$$

где ΔP – приращение деформирующей силы; $\Delta \delta$ – соответствующее ему приращение упругой деформации.

Для технологической системы механической обработки определяющее уравнение жесткости записывается следующим образом:

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y},$$

где ΔP_y – приращение проекции силы резания на ось Y, перпендикулярную к обработанной поверхности; Δy – соответствующее ему приращение проекции упругой деформации на ту же ось.

Жесткость технологической системы существенно зависит от ее состояния и условий нагружения. Так, средняя жесткость шпиндельной бабки круглошлифовального станка после 30-минутного разогрева на холостом ходу увеличивается на 44 %. Эксперименты показали, что средняя жесткость существенно зависит от координат точки приложения и направления действия силы резания.

При точении в центрах (рис. 2.10 а) жесткость зависит от координаты x точки обработки A (рис. 2.10 б). Характер этой зависимости (рис. 2.10 в) обуславливается относительной податливостью заготовки. Если жесткость заготовки очень велика, то жесткость технологической системы при положении точки A между центрами будет большей, чем в зоне передней или задней бабки (показано штриховой линией). Изменение жесткости, показанное сплошной линией, соответствует случаю, когда жесткость заготовки мала по сравнению с жесткостью передней и задней бабок.

Очень часто при обработке сила резания периодически изменяется либо из-за изменения глубины t резания, либо вследствие прерывности процесса резания (строгание, долбление, фрезерование) или обрабатываемой поверхности. В первом приближении можно принять, что сила резания изменяется либо гармонически, либо в виде прямоугольных импульсов.

Полагая, что в определяющем уравнении $\Delta P_y = A_p$, а $\Delta y = A_{упр}$, где A_p – амплитуда силы P_y , а $A_{упр}$ – амплитуда упругой деформации, можно ввести понятие «динамическая жесткость»:

$$j_{дин} = \frac{A_p}{A_{упр}}.$$

Динамическая жесткость характеризует поведение технологической системы при ее нагружении периодической силой. Определяющее уравнение можно применять и для случая, когда характер изменения силы резания имеет вид прямоугольных импульсов.

Динамическая $j_{дин}$ и статическая j жесткости связаны коэффициентом динамичности $K_{дин}$:

$$K_{дин} = \frac{j}{j_{дин}}.$$

Чем больше коэффициент $K_{дин}$, тем больше амплитуда упругой деформации при одинаковой амплитуде силы резания.

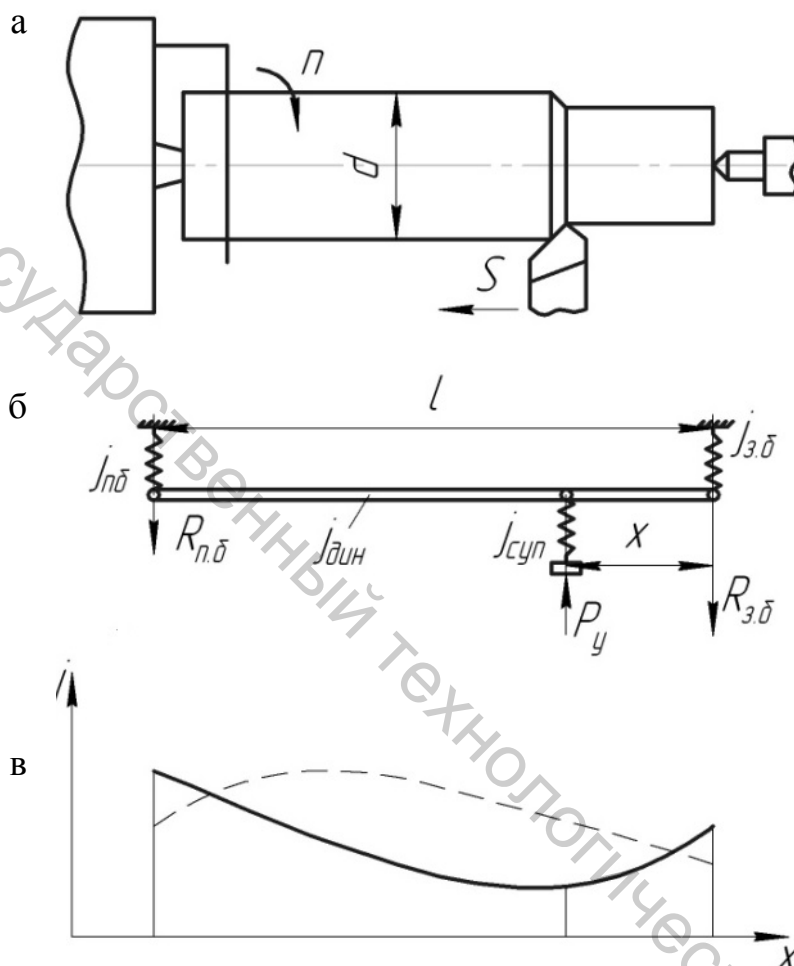


Рисунок 2.10 – Схема изменения жесткости при точении в центрах:
 $j_{п.б.}$, $j_{суп.}$ и $j_{з.б.}$ – жесткости соответственно передней бабки, суппорта и
 задней бабки; $R_{п.б.}$ и $R_{з.б.}$ – реакции опор заготовки в бабках

Обычно технологическая система имеет несколько степеней свободы и соответственно несколько собственных частот колебаний. Например, случай токарной обработки очень жесткой заготовки в патроне можно привести к системе с двумя степенями свободы. Коэффициент динамичности системы в данном случае определяется по формуле

$$K_{дин} = \frac{K_{дин1} j_2 + K_{дин2} j_1}{j_1 + j_2},$$

где индекс 1 относится к заготовке, а индекс 2 – к патрону. Анализ этого выражения показывает, что для уменьшения коэффициента динамичности технологической системы без изменения ее общей жесткости необходимо увеличить статическую жесткость того элемента, у которого $K_{дин}$ больше, и уменьшать у того, у которого он меньше.

Жесткость технологических систем механической обработки и их элементов регламентируется для оценки их качества. Она обычно определяется экспериментально. Наиболее объективные результаты дают методы определения жесткости, которые в качестве источника деформирующей силы используют процесс резания. Такие методы называют производственными. Некоторые из них основаны на использовании элемента с известной жесткостью.

Производственный метод определения жесткости токарного станка (рис. 2.11) осуществляется в три этапа. На первом этапе за 5...7 проходов без изменения размера настройки A_n обтачивается участок заготовки, после чего можно считать, что $A_n = d_n/2$. На втором этапе без изменения размера настройки обрабатывается оставшаяся часть заготовки. На последнем этапе с помощью индикаторного устройства в нескольких сечениях с разными вылетами L_i измеряются отклонения Δ_i радиуса $d_i/2$ от A_n . Причиной этих отклонений является упругая деформация технологической системы, т.е. в любом сечении $\Delta_i = y_i$. Эта деформация складывается из деформации станка $y_{ст}$ и обрабатываемого образца $y_{обр}$, податливость которого, как известно из курса «Сопротивление материалов», пропорциональна вылету обработки L_i в кубе. Для любого сечения можно записать:

$$y_i = \Delta_i = P_y (p_{ст} + p_{обpi}),$$

где $p_{ст}$ – податливость станка; $p_{обpi}$ – податливость обрабатываемого образца в i -м сечении.

Отсюда с учетом известной зависимости податливости образца от его вылета и на основании того, что податливость системы из последовательно соединенных элементов равна сумме податливостей этих элементов, получаем

$$j = \frac{29,59 D^4}{L_{обp}^3} \frac{1 - K_{di}}{K_{di} - \lambda_i^3},$$

где

$$K_{di} = \frac{\Delta_i}{\Delta_{обр i}}; \quad \Delta_i = \frac{L_i}{L_{обр}}.$$

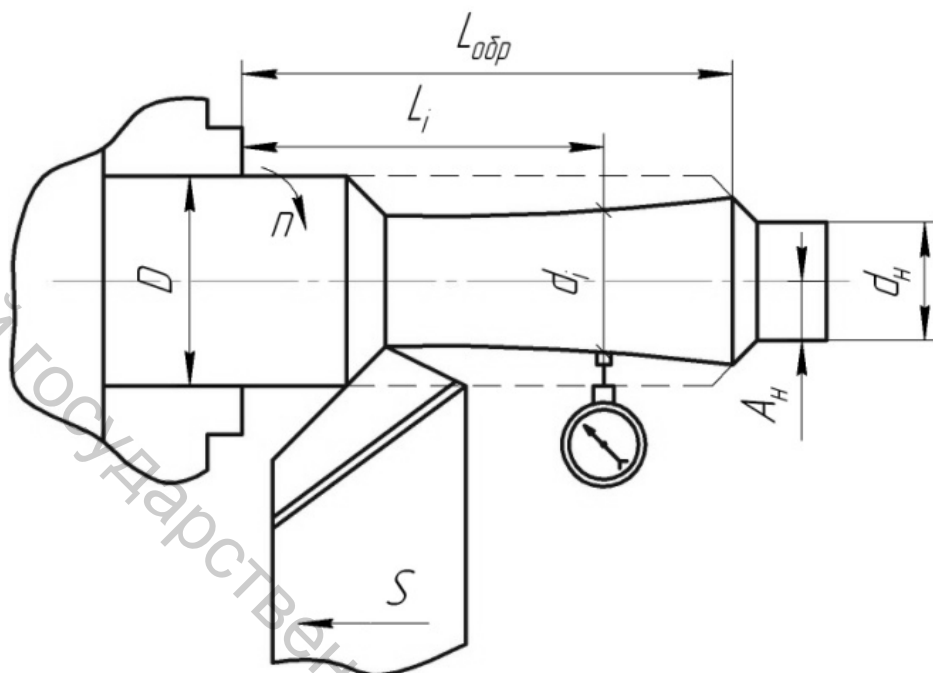


Рисунок 2.11 – Схема производственного метода определения жесткости токарного станка (система «передняя бабка – суппорт»)

Более точные результаты оценки жесткости получаются, если есть возможность в процессе обработки измерять силу резания и упругую деформацию.

Вибрации, возникающие во время обработки (т.е. между инструментом и заготовкой), а также во время холостых перемещений и позиционирования, в зависимости от вызывающих эти вибрации причин можно разбить на два класса. К первому относят *вынужденные колебания*, которые вызываются и поддерживаются энергетическим источником периодического характера. Таким источником может быть процесс резания, например при фрезеровании и протягивании, когда периодически изменяется суммарное сечение среза (а значит, и сила резания), или при точении с переменной глубиной резания, когда ось вращения и ось симметрии заготовки не совпадают. К первому классу относятся также вибрации, вызванные дисбалансом быстровращающихся элементов рассматриваемой технологической системы или передаваемые через опоры от другого технологического оборудования.

Частота вынужденных колебаний равна частоте вынуждающей силы, а их амплитуда зависит от динамической жесткости технологической системы. Обычно технологическая система имеет не одну, а несколько частот собственных колебаний, поэтому частотная характеристика динамической жесткости имеет не один, а несколько минимумов.

Вибрации в технологической системе могут возникнуть и при отсутствии явной (внешней) вынуждающей периодической силы. Причем в отличие от свободных колебаний эти вибрации могут быть незатухающими и при наличии диссипативных (рассеивающих энергию, демпфирующих) сил. Такие вибрации называют *автоколебаниями* и относят ко второму классу. При автоколебаниях источник энергии, восполняющий ее потерю, связанную с работой диссипативных сил, по своей природе не является периодическим. Переменная сила, поддерживающая колебательное движение, создается самой замкнутой движущейся системой за счет ее внутренних связей и при прекращении процесса резания (или движения) исчезает.

Можно выделить следующие виды внутренних связей в технологической системе: координатные, скоростные и инерционные. *Координатная связь* проявляется в том, что связанное с какой-либо причиной перемещение в определенном направлении вызывает также перемещение вдоль других осей. *Скоростная связь* возникает в тех случаях, когда в системе действуют силы, являющиеся функциями скорости (силы резания и трения). Она проявляется, когда их изменение по одной координате вызывает изменение сил по другой. *Инерционная* (или *динамическая*) возникает в технологической системе при наличии в ней нескольких упруго связанных масс и в тех случаях, когда равнодействующая сил инерции не проходит через центр жесткости системы. В таких случаях одновременно с прямолинейным смещением происходит угловое, вызванное моментом сил инерции относительно центра масс.

Возбуждение автоколебаний или потеря устойчивости процесса обработки (а также холостых движений) обуславливается следующими причинами: 1) нелинейной зависимостью силы резания (и трения) от скорости; 2) запаздыванием силы по сравнению с перемещением; 3) влиянием внутренних (координатных, скоростных и инерционных) связей; 4) вторичным возбуждением от волнистости, образующейся на поверхности резания (заготовки) или рабочей поверхности шлифовального круга. В большинстве случаев наблюдается одновременное влияние нескольких из перечисленных причин, причем одна из них обычно доминирует, т.е. оказывает наибольшее влияние.

Частота автоколебаний (как и при свободных колебаниях) определяется частотой собственных колебаний системы. Для систем с несколькими степенями свободы возможны автоколебания на разных частотах: низкочастотные, соответствующие основной (минимальной) частоте собственных колебаний, и высокочастотные, когда устойчивость теряет элемент с высокой частотой собственных колебаний. Амплитуда автоколебаний зависит от многих факторов.

На рисунке 2.12 показана зависимость амплитуды A продольных автоколебаний стола с механическим (винтовым) приводом от скорости v его движения. Экспериментами установлено, что при потере устойчи-

ности в данной системе, не подвергающейся действию сил резания, возникают автоколебания, складывающиеся из колебаний в направлении заданного движения и в направлении, перпендикулярном к плоскости скольжения. Соотношение амплитуд колебаний по этим направлениям составляет примерно 400:1. Установлено, что при некоторой скорости, зависящей от других параметров системы, начинается уменьшение амплитуды автоколебаний и после минимума может при дальнейшем увеличении скорости стола появиться новый максимум амплитуды. Между этими максимумами может быть область скоростей с отсутствием автоколебаний, т.е. устойчивого движения. При скорости v , большей 8... 10 м/мин, движение стола становится устойчивым.

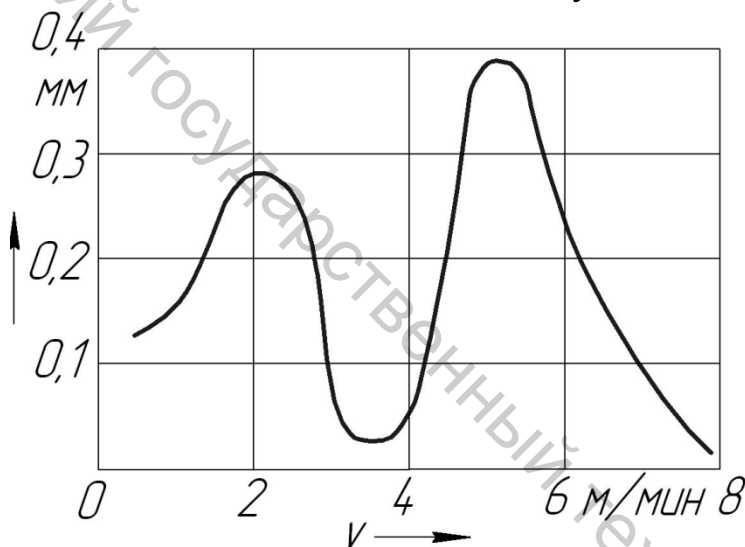


Рисунок 2.12 – Зависимость амплитуды продольных автоколебаний стола с механическим приводом от скорости его движения

Эксперименты показали, что увеличение жесткости привода и вязкости смазочного материала уменьшает амплитуду автоколебаний. А разгрузка направляющих путем подачи смазочного материала под давлением (до 0,15 МПа) уменьшает области скоростей неустойчивого движения и амплитуду колебаний в этих областях. Замена механического привода стола гидравлическим устраняет вторую (по скорости движения) область

существования автоколебаний, а первая область при этом сокращается до скоростей, меньших 0,2 м/мин. Максимальный уровень амплитуды автоколебаний стола с гидравлическим приводом оказался в 2 раза ниже, чем стола с механическим приводом.

Эксперименты показали, что при точении частота автоколебаний слабо зависит от показателей режима резания, а определяется главным образом основной частотой собственных колебаний технологической системы. Амплитуда автоколебаний при точении существенно зависит от условий обработки. Увеличение ширины среза (глубины резания) ведет к резкому увеличению амплитуды автоколебаний. Такое влияние ширины среза снижается при увеличении его толщины (подачи). При подачах, больших 0,6...0,8 мм/об, увеличение или уменьшение ширины среза практически не влияет на амплитуду автоколебаний.

Установлено, что существует скорость резания (35...50 м/мин), при которой амплитуда автоколебаний при точении достигает максимума. Ширина зоны скоростей, оказывающих существенное влияние на амплитуду автоколебаний, зависит от переднего угла резца и уменьшается с его увеличением. При этом уменьшается также максимальное значение амплитуды автоколебаний. Кроме того, установлено, что уменьшение главного угла в плане, увеличение радиуса скругления вершины резца и уменьшение жесткости технологической системы увеличивают амплитуду автоколебаний. Уменьшение заднего угла от 16° до 3° также не оказывает влияния на интенсивность автоколебаний. Однако при уменьшении заднего угла от 3° до 2° амплитуда автоколебаний увеличивается.

Эксперименты также показали, что, кроме рассмотренных выше относительно низкочастотных автоколебаний, при растачивании возникают высокочастотные, амплитуда которых зависит от глубины и скорости резания так же, как и амплитуда низкочастотных автоколебаний. Но характер влияния переднего и заднего углов расточного резца на амплитуду высокочастотных колебаний совсем не такой, как на интенсивность низкочастотных. В данном случае наблюдается оптимальное значение этих углов, при которых амплитуда автоколебаний либо равна нулю, либо минимальна при данной скорости резания. Если затупление резца обычно снижает амплитуду низкочастотных колебаний, то с увеличением износа резца по задней грани амплитуда высокочастотных автоколебаний увеличивается.

При круглом шлифовании с продольной подачей при увеличении скорости вращения заготовки амплитуда автоколебаний увеличивается тем в большей степени, чем меньше продольная подача и глубина шлифования. При круглом шлифовании, как показали эксперименты, частота автоколебаний зависит от их амплитуды. Так, при частоте собственных колебаний заготовки 352 Гц с увеличением амплитуды автоколебаний от 5 до 15 мкм их частота понижается с 600 до 400 Гц.

При врезном круглом шлифовании также было замечено увеличение амплитуды автоколебаний с 1 до 20 мкм, если скорость вращения заготовки увеличивается от 30 до 100 м/мин. Интенсивность автоколебаний возрастает при увеличении ширины шлифования и уменьшается при увеличении радиальной подачи.

При круглом шлифовании процесс высокочастотных автоколебаний обусловлен вторичным возбуждением, суть которого заключается в образовании волнистости на рабочей поверхности шлифовального круга благодаря его неравномерному радиальному износу. Скорость увеличения интенсивности автоколебаний в данном случае зависит от твердости круга (всегда существует оптимальная), от радиальной подачи и скорости шлифования. С увеличением радиальной подачи и уменьшением скорости шлифования растет средняя скорость радиального изна-

шивания, а значит, и скорость нарастания амплитуды высокочастотных автоколебаний.

Обычно в технологической системе наблюдаются оба класса источников вибраций. В зависимости от разности между частотой вынуждающей силы и частотами собственных колебаний могут существовать три вида колебательных движений. Если частота возмущающей силы близка к собственной частоте, то в системе устанавливается режим гармонической синхронизации. В этом случае частота колебаний системы равна частоте вынуждающей силы. При средней разности между указанными частотами в системе имеет место квазипериодическое движение – режим биений. В случае большой разности указанных частот в системе имеет место автоколебательное движение.

Борьба с вибрациями при обработке на станках. Вибрации обычно ограничивают возможность повышения производительности обработки, точности и качества обработанных поверхностей. Они создают дополнительные динамические нагрузки, часто снижающие стойкость инструмента и долговечность станка. Автоколебания в системе подачи станка обычно снижают точность позиционирования (выход суппорта или стола на заданный размер), что особенно нежелательно при обработке на станках с ЧПУ. Вибрации при обработке резанием увеличивают шероховатость обработанной поверхности и приводят к появлению волнистости.

При обработке цилиндрической фрезой или шлифовальным кругом часто формы кривых профиля волнистой поверхности и траектории относительного перемещения инструмента и заготовки существенно различаются (рис. 2.13). Увеличение амплитуды $2A$ относительных колебаний инструмента и заготовки в таких случаях еще не означает увеличение высоты $H_{вол}$ волны на обработанной поверхности. Причиной этого явления считается процесс «самоперерезания» волн. Этот процесс начинается при тем большей амплитуде колебаний, чем меньше ее частота. При постоянной частоте колебаний «самоперерезание» волн наступает при тем меньшей скорости стола, чем меньше амплитуда относительных колебаний инструмента и заготовки.

Для ослабления вынужденных колебаний станка, передаваемых через фундамент от внешних источников, станок необходимо удалить от них на достаточное расстояние и (или) установить на виброизолирующие устройства (резинометаллические опоры, виброизолирующие коврики и т.д.). Зависимость амплитуды колебаний фундамента $A_{фун}$ рассматриваемого станка от амплитуды колебаний $A_{ис}$ внешнего источника отражается следующей экспериментальной моделью:

$$A_{фун} = A_{ис} \exp(-0,146L),$$

где L – расстояние от внешнего источника колебаний, м.

Наиболее существенной частью любого виброзащитного устройства является упругий элемент, обладающий достаточной податливостью и способный служить механическим фильтром низких частот. Широко распространены резинометаллические виброзащитные устройства (амортизаторы) различной конструкции, в которых резиновый упругий элемент привулканизирован к металлическим деталям крепления. Недостатком резиновых упругих элементов является их «старение» под действием температуры окружающей среды, влажности и кислорода воздуха. В настоящее время получили распространение демпфированные амортизаторы, снабженные специальными устройствами для рассеяния энергии колебаний – демпферами (воздушными, гидравлическими или сухого трения).

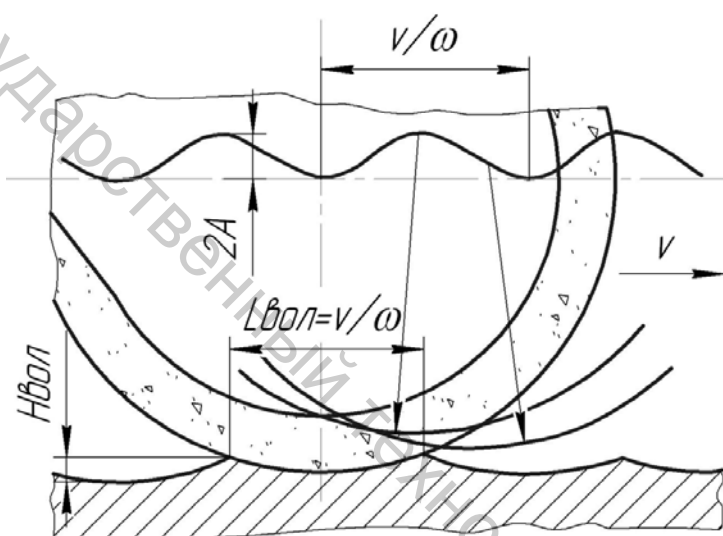


Рисунок 2.13 – Схема формирования волнистости при шлифовании:
 $L_{вол}$ – длина волны; v – скорость относительного перемещения круга;
 ω – частота вынуждающей силы

Для снижения вибраций, вызванных работой собственных механизмов и приводов станка, необходима тщательная балансировка быстровращающихся валов, шпинделей и двигателей. Хорошие результаты дает установка двигателей на виброизолирующие резиновые прокладки (амплитуда вибраций от таких двигателей уменьшается в 2...3 раза). Особенно важной является балансировка шлифовальных кругов, так как они в состоянии поставки имеют существенный дисбаланс, фаза и значение которого изменяются в процессе эксплуатации. Поэтому на прецизионных шлифовальных станках балансировка шлифовальных кругов производится не только после сборки с фланцами перед установкой на станок, но и периодически в процессе эксплуатации. Для такой балансировки разработано множество балансирующих устройств.

Одним из методов борьбы с автоколебаниями является выбор таких условий работы станка, при которых процесс позиционирования его

узлов и процесс резания устойчивы. На рисунке 2.14 показана зависимость области устойчивости движения стола станка, не нагруженного силами резания, от скорости v движения, жесткости j привода и нагрузки на направляющие (массы стола). Из графиков на этом рисунке видно, что увеличение жесткости привода уменьшает область скоростей скольжения, где движение неустойчиво. Увеличение нагрузки на направляющие (увеличение массы стола) для устойчивого движения требует повышения жесткости привода.

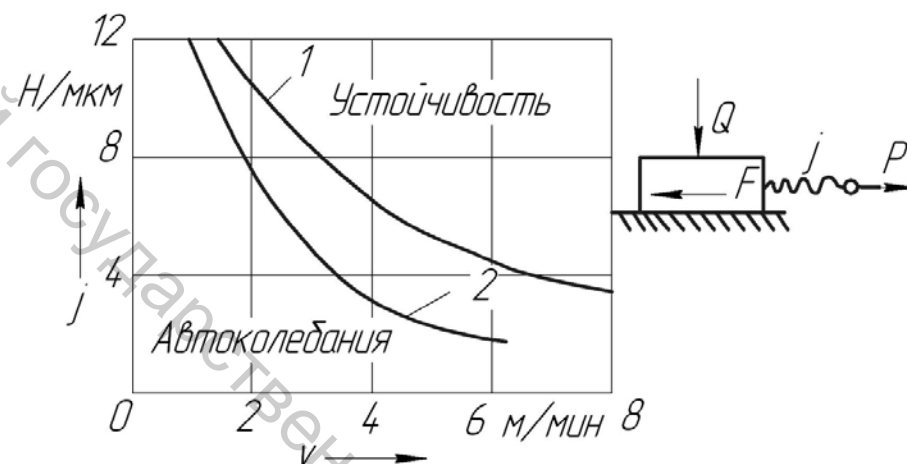


Рисунок 2.14 – Область устойчивости движения стола в параметрах скорость v – жесткость j привода:
1 – масса стола 860 кг, 2 – масса 620 кг

Для повышения плавности перемещения элементов станков рекомендуется: 1) исключать скорости скольжения и контактные давления, при которых возникает «схватывание»; 2) уменьшать коэффициент трения за счет использования соответствующих материалов пары трения и смазывания; 3) устранять непосредственный контакт трущихся поверхностей при движении и в относительном покое путем использования аэро- и гидравлических устройств в направляющих; 4) повышать жесткость привода стола без уменьшения демпфирующей способности; 5) совмещать векторы равнодействующих сил трения и упругих сил привода. Большая часть приведенных рекомендаций может быть использована при модернизации существующих или проектировании специальных станков, а также сложных приспособлений.

На рисунках 2.15...2.16 дано расположение областей устойчивости в зависимости от параметров и условий точения и фрезерования. Графики зависимости ширины b и толщины s среза на рисунке 2.15 а показывают, что при точении на токарном станке выйти из области автоколебаний можно либо за счет уменьшения ширины b , либо за счет увеличения толщины среза s . Увеличение частот ω_{01} , ω_{02} , ω_{03} собственных колебаний системы закрепления заготовки (за счет увеличения

жесткости или уменьшения массы) расширяет область устойчивости процесса точения. Согласно графикам зависимости b от скорости v на рисунке 2.15 б, выход из зоны автоколебаний возможен как при увеличении, так и при уменьшении скорости резания, а также при уменьшении ширины среза. Увеличение частот собственных колебаний системы крепления заготовки и в данных экспериментах в основном расширяет зону устойчивого точения.

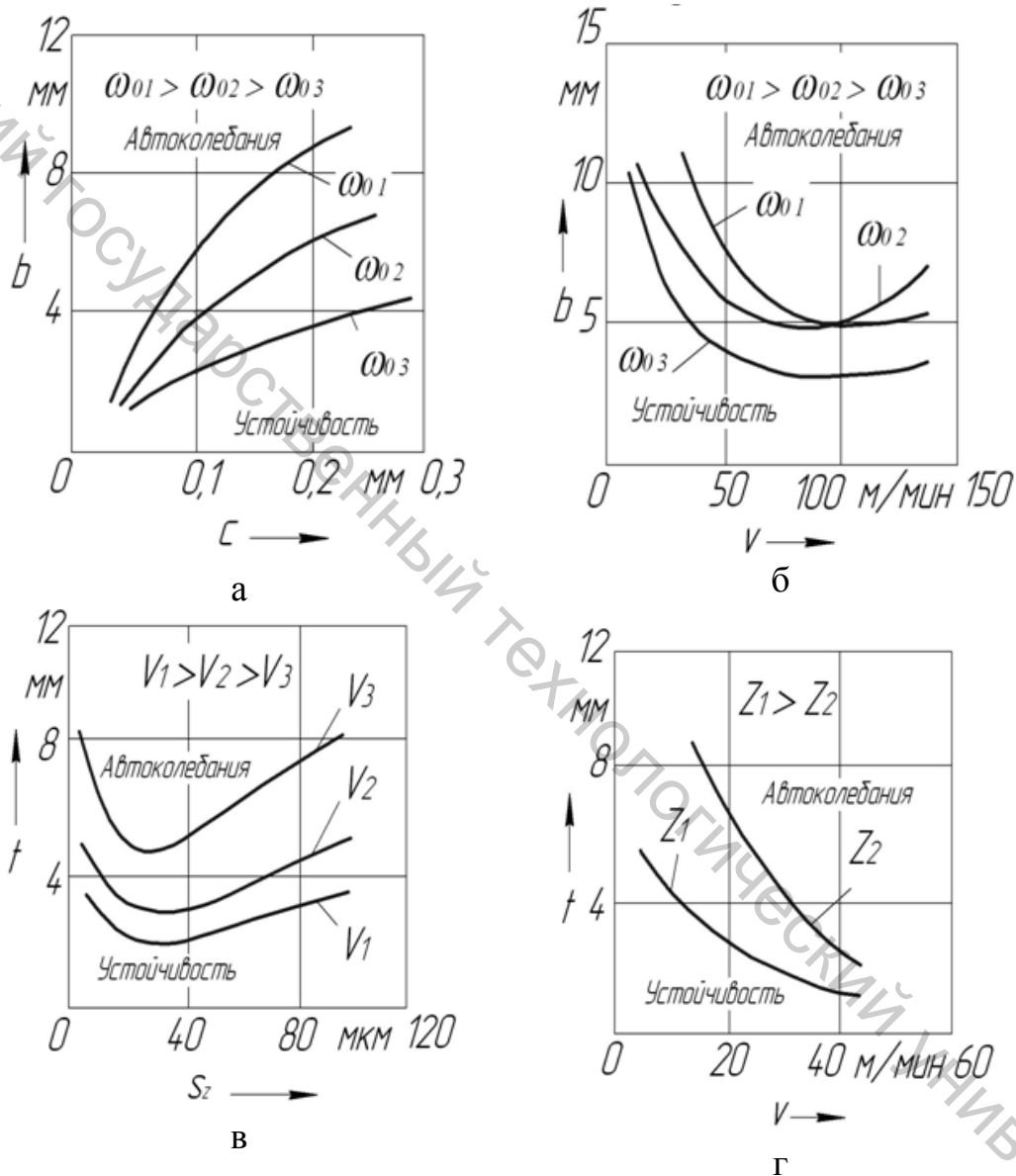


Рисунок 2.15 – Области устойчивости процесса резания при точении и фрезеровании

Графики зависимости глубины t резания от подачи s_z , приведенные на рисунке 2.15 в, показывают, что увеличение скорости резания v (с 14 до 35 м/мин) понижает границу устойчивости процесса фрезерования быстрорежущей торцевой фрезой. Выход из зоны автоколебаний возможен либо при увеличении, либо при уменьшении подачи на зуб s_z , а

также при уменьшении глубины t фрезерования. Снижение границы устойчивости при повышении скорости v резания видно также на рисунке 2.15 г. Существенно понижаются границы устойчивого фрезерования при увеличении числа зубьев фрезы z (соответственно числа зубьев, одновременно находящихся в зоне резания). Уменьшение заднего угла α значительно сужает область автоколебаний при фрезеровании (рис. 2.16 а). А уменьшение частоты ω_0 собственных колебаний системы «шпиндель–фреза», которая изменялась путем крепления к фрезе дополнительного маховика, понижает границу устойчивого фрезерования (рис. 2.16 б). Аналогичное явление имеет место при уменьшении жесткости крепления фрезы к шпинделю.

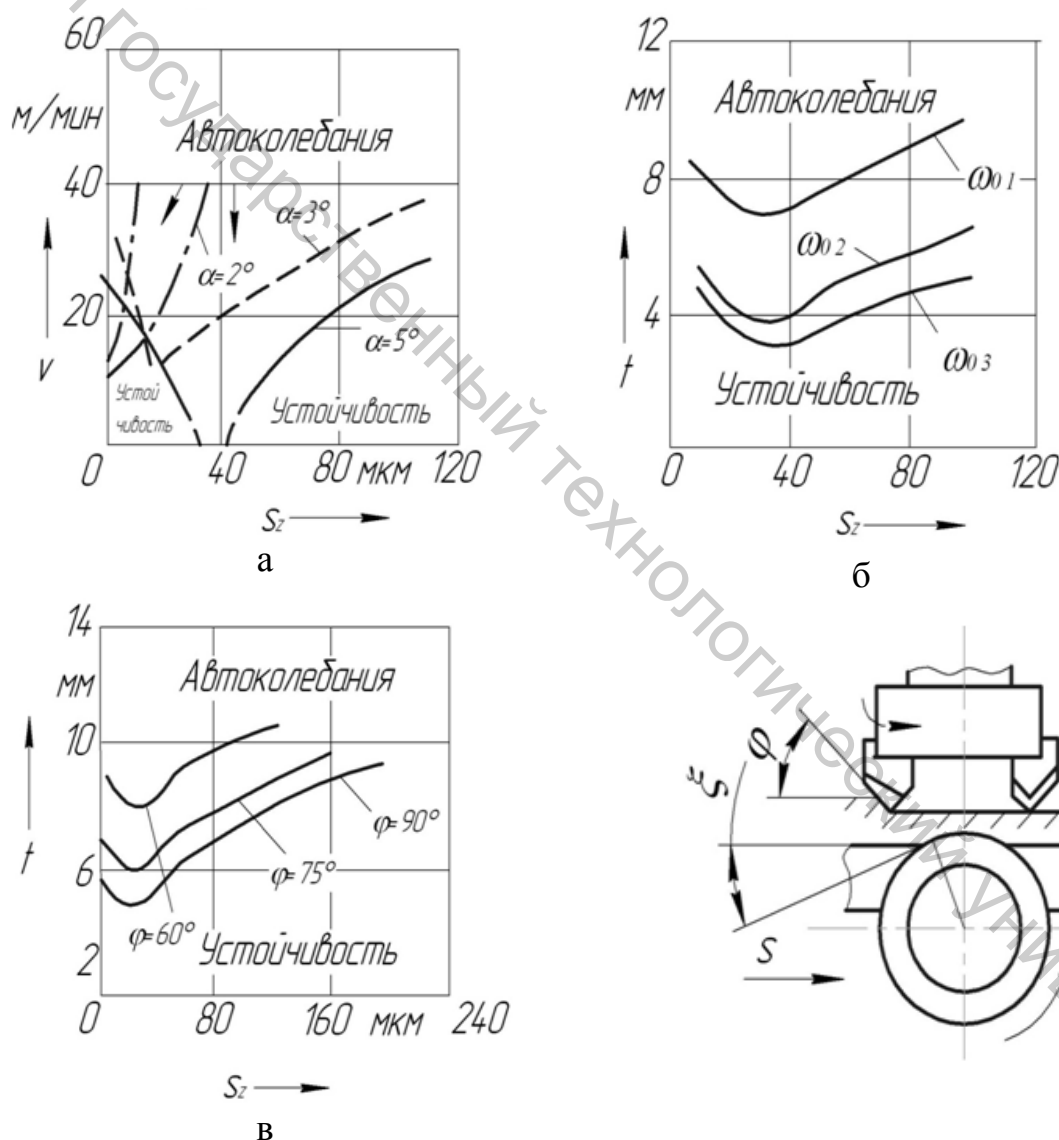


Рисунок 2.16 – Области устойчивости процесса резания при фрезеровании

Эксперименты показали, что устойчивость процесса резания зависит от ориентации силы резания относительно осей эллипса жесткости

технологической системы. Ориентация силы резания изменялась за счет изменения угла в плане φ и угла входа ζ (рис. 2.16 в). Уменьшение угла φ повышает границу устойчивости. При опытах с углом в плане 45° и 30° автоколебания не возникали во всем диапазоне применявшихся значений глубины t фрезерования и подачи s_z . При фрезеровании с продольной подачей увеличение угла врезания увеличивает граничную глубину резания, а при фрезеровании с поперечной подачей – наоборот, уменьшает.

Значительно повысить виброустойчивость процесса точения можно, сместив точку приложения силы резания относительно нейтральной оси изгиба державки (рис. 2.17 а) или изменив направление главных осей эллипса жесткости резца (рис. 2.17 б). Эта цель может быть также достигнута с помощью заточки виброгасящей фаски на главной режущей кромке (рис. 2.17 в). Угол фаски $\gamma_{фас}$ рекомендуется принимать в пределах $-80^\circ \dots -85^\circ$, а ширина фаски f равняется $0,1 \dots 0,3$ мм при точении и $0,07 \dots 0,15$ мм при растачивании. Вместо виброгасящей фаски можно выполнить скругление главной режущей кромки, которое требует больших затрат времени.

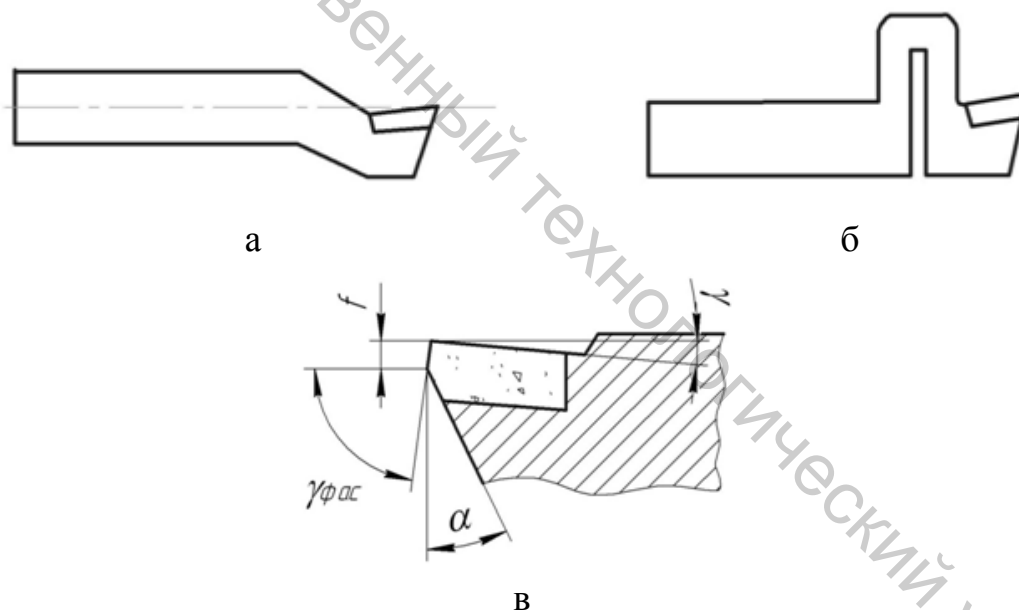


Рисунок 2.17 – Пример конструкций резцов и заточки, повышающих устойчивость резания

Для гашения колебаний при обработке на станках часто используют дополнительные устройства, либо увеличивающие демпфирование, либо создающие силы, равные и противоположные по направлению возмущающей силе. Эти устройства называют обычно виброгасителями.

Динамический гаситель колебаний представляет собой массу, присоединенную к основной механической системе с помощью упругого элемента и элемента трения. Наиболее эффективно он гасит колеба-

ния в области резонанса. Уменьшив частоту собственных колебаний динамического виброгасителя, можно добиться некоторого снижения интенсивности вибраций в дорезонансной области (особенно в области очень низких частот). Если частота собственных колебаний динамического виброгасителя больше, чем частота собственных колебаний основной системы, то существенно уменьшается эффективность гашения вибраций в зоне резонанса, но зато появляется дополнительная область гашения вибраций в зарезонансной области.

Наиболее значительное влияние на эффективность гашения колебаний в области, близкой к резонансу, оказывает логарифмический декремент колебаний основной механической системы.

Схемы конструкций динамического виброгасителя для консольных борштанг, которые используются для растачивания на алмазно-расточных станках, показаны на рисунке 2.18. На конце борштанги 4 выполнена расточка, в которую помещают дополнительный груз 3 (цилиндр) с двумя резиновыми кольцами 2. Отверстие в борштанге закрывается крышкой 1. Резиновые кольца осуществляют упруго-вязкую связь дополнительного груза и борштанги (рис. 2.18 а). Рекомендуется принимать массу груза 3 равной 0,125 приведенной массы борштанги, а его длина должна быть больше двух диаметров борштанги. Рекомендуемая ширина резиновых поясков 0,125...0,17 длины груза 3.

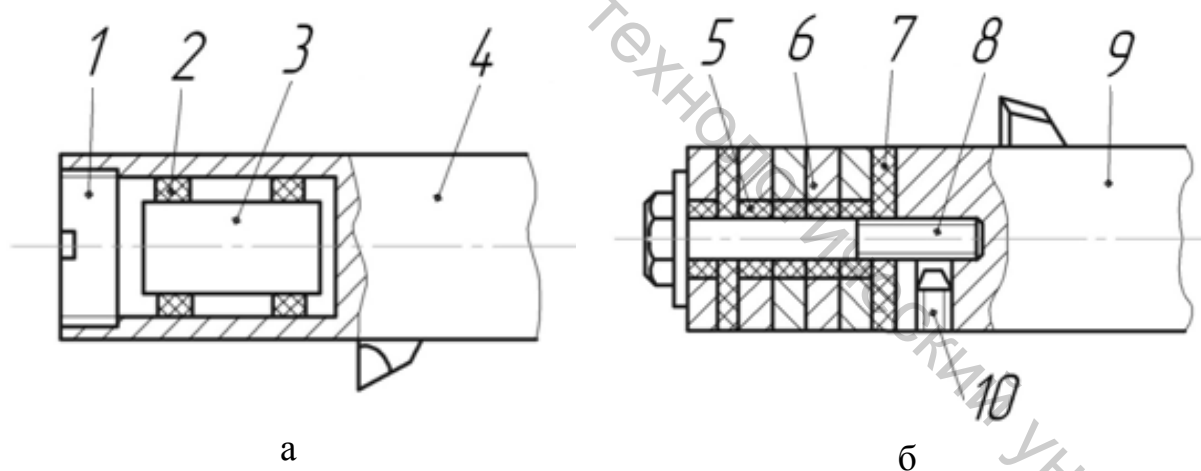


Рисунок 2.18 – Динамические гасители колебаний для расточных борштанг

На рисунке 2.18 б показана схема конструкции многомассового динамического виброгасителя. Набор грузов 6 прижимается к торцу борштанги 9 винтом 8 через резиновую прокладку 7. В радиальном направлении грузы 6 центрируются резиновыми кольцами 5. После регулировки силы сжатия грузов 6 винт 8 стопорится винтом 10. Сила сжатия грузов зависит от диаметра борштанги и изменяется в пределах 10...40 Н. Эксперименты показали, что применение динамических виб-

рогасителей при алмазном растачивании снижает волнистость (на 20...30 %) и шероховатость (в 2...3 раза).

Более простыми и надежными в работе являются ударные гасители колебаний (рис. 2.19). В них энергия колебаний рассеивается при ударе неабсолютно упругих тел. При гармонических колебаниях с амплитудой A и частотой ω рассеяние энергии будет максимальным, если в момент удара скорости груза и основной системы будут равны и противоположно направлены. Это условие может быть выполнено при определенном соотношении зазора δ и амплитуды колебаний A . Другими словами, время перемещения груза в пределах зазора от одной стенки до другой должно быть равно половине периода колебаний основной системы, откуда $2\delta = \pi A$.

В конструкциях, показанных на рисунке 2.19, предусмотрена возможность регулирования зазора δ . Ударный гаситель колебаний расточных борштанг 1 (рис. 2.19 а) представляет собой конический груз 2, помещенный в коническую выточку в передней части борштанги, закрытую крышкой 3. Для регулирования зазора груз 2 фиксируется в определенном осевом положении с помощью винта 4 и пружины 5.

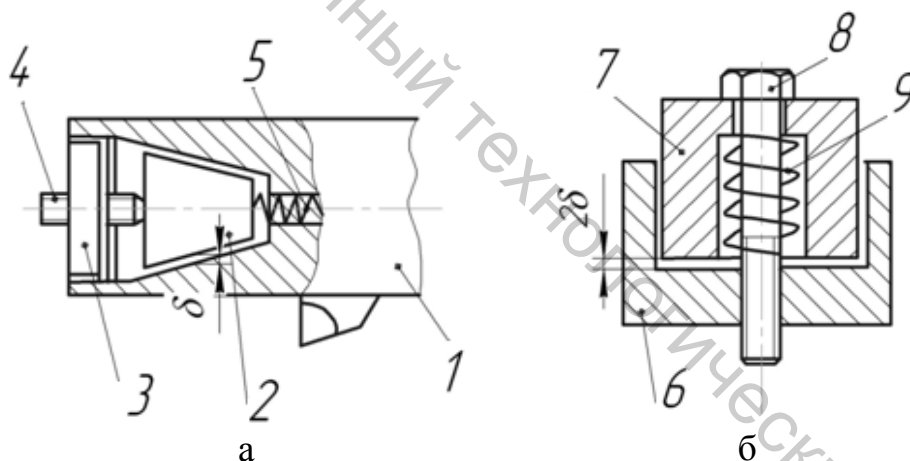


Рисунок 2.19 – Ударные гасители колебаний

В конструкции виброгасителя, который можно прикреплять к резцу или хоботу фрезерного станка (рис. 2.19 б), зазор между грузом 7 и корпусом 6 регулируется винтом 8 и пружиной 9.

Чтобы обеспечить эффективное гашение вибраций, масса груза $m_{\text{груз}}$ должна равняться 0,33 приведенной массы основной системы. Указанная конструкция ударного гасителя колебаний может быть использована в устройствах контактного действия. Так, например, ударный виброгаситель 2 (рис. 2.20 а) можно встроить в рычаг 3 люнета так, что он будет соприкасаться с обрабатываемой заготовкой 1 через ролик под действием сил тяжести. Аналогично действует устройство, показанное на рисунке 2.20 б. В данном случае ударный гаситель 2 крепится к ры-

чагу 3, который может свободно поворачиваться вокруг оси 5, присоединенной к резцедержателю 6. Под действием сил тяжести рычаг через ролик 4 прижимается к обрабатываемой заготовке 1. Ось этого ролика можно смещать вдоль рычага 3 так, чтобы линия, проходящая через эту ось и ось заготовки, была параллельна равнодействующей компонентов сил резания P_y и P_z . При этом эффективность виброгасителя максимальна.

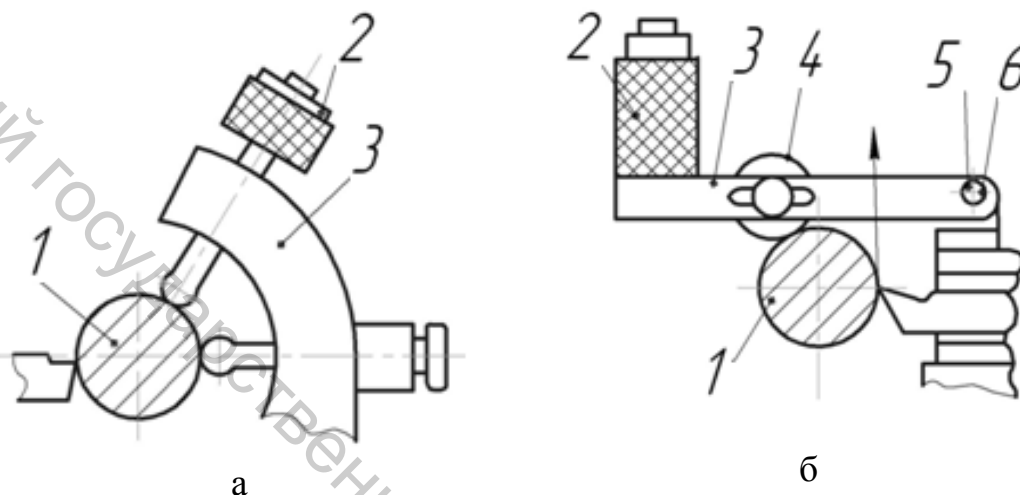


Рисунок 2.20 – Контактные ударные виброгасители

Рассмотренные конструкции виброгасителей не позволяют автоматически управлять процессом гашения колебаний при изменении условий обработки с целью поддержания максимальной эффективности. Поэтому разработаны и разрабатываются электронные устройства, управляющие вибраторами, которые создают силу, равную по модулю и противоположную по фазе возмущающей силе.

Фрезы с различной неравномерностью шага работают эффективно каждая при своей скорости резания. Например, эксперименты показали, что фреза с перепадом соседних шагов, равным 1 мм, хорошо работает при скорости резания 56 м/мин, а при скорости резания 112 м/мин не дает никакого эффекта по сравнению с нормальным инструментом. Если фреза имеет перепад соседних шагов 1,5 мм, то она существенно снижает уровень вибраций при скорости 112 м/мин, а при скорости 56 м/мин не отличается от нормальной. Аналогичные явления наблюдаются при протягивании. Поэтому эффект от инструментов с переменным шагом зубьев нельзя считать достаточно универсальным, так как трудно подобрать неравномерность шага, одинаково приемлемую для относительно широкого диапазона режимов резания.

2.6 Смазка и охлаждение в зоне резания

Смазочно-охлаждающие технологические среды, подводимые в зону резания для снижения трения, улучшения теплоотвода и удаления стружки, по своему агрегатному состоянию подразделяются на смазочно-охлаждающие жидкости, газообразные охлаждающие среды и твердые смазки [34–35].

В силу наилучшего сочетания эксплуатационных свойств наибольшее распространение в обычных условиях получили смазочно-охлаждающие жидкости.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Большинство операций механической обработки осуществляется с применением смазочно-охлаждающих жидкостей. При резании СОЖ должны оказывать смазочное, охлаждающее и моющее действие.

Под смазочным действием понимают способность СОЖ образовывать на контактных поверхностях инструмента, на стружке и детали прочные поверхностно-активные пленки, предотвращающие соприкосновение передней поверхности инструмента со стружкой и задней поверхности с поверхностью резания.

Поверхностно-активные вещества (стеариновая кислота, натриевое мыло) образуют на поверхностях заготовки и инструмента стойкие пленки. Попадая в микротрещины со стороны свободной поверхности стружки, эти пленки производят расклинивающее действие, охрупчивая обрабатываемый материал и снижая тем самым удельную работу резания.

Пленки на контактных поверхностях инструмента, создаваемые маслами, а также химическими соединениями на основе серы и хлора, способны выдерживать высокие контактные давления и не разрушаться при достаточно высоких температурах. Благодаря этим пленкам в зоне контакта имеет место гидродинамическое трение, что также приводит к снижению тепловыделения на площадках контакта.

Охлаждающее действие СОЖ заключается в том, что, обладая большей теплопроводностью и теплостойкостью, чем деталь, инструмент и стружка, СОЖ позволяет перераспределить тепловые потоки в зоне резания, уменьшить температуру резания. Теплообмен происходит тем интенсивнее, чем холоднее СОЖ и выше скорость ее относительно-го движения.

Под моющим действием СОЖ понимают способность жидкостей удалять продукты изнашивания с поверхности резания и контактных поверхностей инструмента. Моющее действие проявляется в уменьшении абразивного износа инструмента и снижении высоты микронеровностей на чистовых операциях.

Помимо рассмотренных действий, определенные вещества, входящие в состав СОЖ, способны образовывать с инструментальным материалом соединения на контактных поверхностях, играющие роль защитных покрытий и снижающие интенсивность адгезии и диффузии. Тем самым уменьшается износ режущего инструмента как результат контактных взаимодействий.

Способность в той или иной степени выполнять указанные функции зависит от состава СОЖ. Кроме того, к СОЖ предъявляется целый ряд технических и гигиенических требований, без выполнения которых СОЖ не может быть рекомендована к применению. Прежде всего, СОЖ не должна содержать веществ, оказывающих вредное действие на организм человека, не должна иметь неприятного запаха и образовывать тумана.

СОЖ не должна вызывать коррозии обрабатываемого материала, деталей станка и инструментов. СОЖ должна быть по возможности более стабильной, т.е. с течением времени и под действием различных загрязнений не подвергаться химическому и бактериологическому разложению. Желательно, чтобы СОЖ была прозрачной. Кроме того, важным требованием является возможность последующей утилизации СОЖ без ущерба для окружающей среды.

Выполнение всех указанных требований обеспечивается введением в СОЖ соответствующих антикоррозионных, бактерицидных, анти вспенивающих и других присадок. Поэтому, как правило, состав современных марок СОЖ очень сложен, а выбор оптимальной марки СОЖ для конкретных условий обработки представляет собой не менее трудную задачу, чем выбор инструментального материала.

Все современные СОЖ можно разделить на три группы. К первой группе относятся минеральные масла различной вязкости. Для улучшения смазывающих свойств к ним добавляют до 30 % растительных и животных жиров, а также до 1,7 % серы, способствующей сохранению смазочных свойств при высоких контактных давлениях и температурах.

Масла в качестве СОЖ применяют при сравнительно невысоких скоростях резания и повышенных требованиях к шероховатости поверхности (протягивание, зубообработка, нарезание резьбы, фасонное точение и т.п.).

Во вторую группу входят масляные эмульсии («водорастворимые» масла). Они представляют собой сложную систему, состоящую из двух нерастворимых жидкостей – воды и масла. Масло находится в виде отдельных мелких капель, для предотвращения слияния которых в жидкость вводится эмульгатор – поверхностно-активное вещество (растворимое в воде мыло). Мыло в эмульсии играет в основном антикоррозионную роль, а снижение трения на контактных поверхностях обеспечивается за счет пленок, образуемых мылом.

Основным достоинством эмульсий является их высокая охлаждающая способность, поэтому эмульсии применяются на операциях, проводимых с высокими скоростями резания в условиях интенсивного тепловыделения (черновое точение, сверление, фрезерование).

Третью группу СОЖ составляют синтетические жидкости, не имеющие в своем составе масел. Они содержат, как правило, смачивающие средства, некоторые виды мыл, антифрикционные и моющие присадки. Эти виды СОЖ менее склонны к разложению, чем масла и эмульсии, обладают повышенными охлаждающими свойствами. Однако, как правило, синтетические СОЖ более дорогие, а некоторые из них теряют свои свойства при попадании в них масла из гидросистемы станка.

Способы подвода СОЖ в зону резания. Эффективность влияния СОЖ на процесс резания зависит не только от ее свойств, но и от способа подвода СОЖ к зоне обработки.

Полив *свободно падающей струей* является старым, универсальным и достаточно надежным способом подачи СОЖ в зону резания (рис. 2.21 а). При охлаждении свободно падающей струей жидкость следует подводить непрерывной струей, начиная с момента врезания, а струю направлять в то место, где отделяется стружка. Это позволяет отводить наибольшее количество тепла. Скорость падения струи 60–80 м/мин, а расход жидкости зависит от вида обработки.

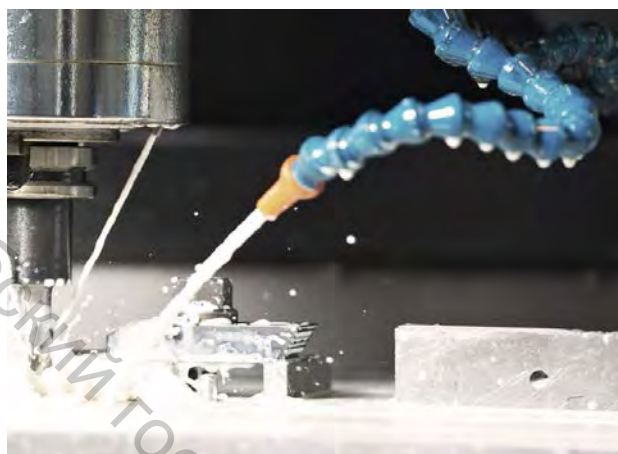
Достоинствами метода является простота и надежность, а недостатками – сильное разбрызгивание жидкости при высоких скоростях резания; невозможность наблюдения за местом обработки; большой расход жидкости и ее постепенный нагрев.

При охлаждении *по внутренним каналам инструмента* (рис. 2.21 б) достигается большой эффект по повышению стойкости. Так, при обработке высокопрочных сталей удастся увеличить скорость резания на 25–40 %. Стойкость сверл с внутренним подводом СОЖ повышается в 3–10 раз по сравнению с обычными.

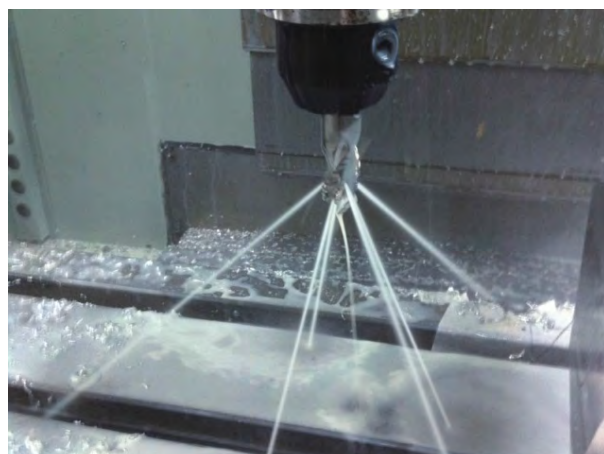
При таком способе подвода улучшаются условия удаления стружки из отверстия. При использовании подвода СОЖ по внутренним каналам к твердосплавной пластине токарного резца можно использовать замкнутую циркуляционную систему с насосом и холодильником, что значительно уменьшает расход СОЖ. Этот же способ используется и для подвода СОЖ в зону шлифования через поры шлифовального круга за счет центробежных сил от пустотелой оправки, на которой закреплен круг.

При использовании *напорно-струйного охлаждения* СОЖ направляется под давлением 1,5–2 МПа к режущей кромке со стороны передней или задней поверхности (рис. 2.21 в). Расстояние от отверстия до режущей кромки должно быть как можно меньше, чтобы уменьшить

рассеивание струи. Вследствие давления частицы жидкости интенсивнее проникают в микротрещины и зазоры зоны контакта.



а



б



в

Рисунок 2.21 – Способы подвода СОЖ в зону резания:

а – свободно падающей струей, б – по внутренним каналам инструмента, в – напорно-струйное охлаждение

Этот способ охлаждения особенно эффективен для резцов из быстрорежущей стали. Их стойкость возрастает в 3–7 раз по сравнению со стойкостью при охлаждении свободно падающей струей, и в 10–20 раз – при резании без охлаждения. К недостаткам этого метода следует отнести трудность обеспечения точного направления струи в зону резания, сложность защиты от брызг, необходимость оснащения станка специальным насосом.

Охлаждение распыленной жидкостью. При этом способе охлаждения СОЖ с помощью сжатого воздуха распыляется и в виде тумана с большой скоростью (до 300 м/с) подается в зону резания. Расход жидкости очень мал, а стойкость инструмента повышается в 2–4 раза по сравнению с охлаждением свободно падающей струей. Кроме того, не требуется точное направление струи на зону обработки. Распыленная

жидкость представляет собой прозрачную смесь мельчайших капелек жидкости с воздухом. Распыленная жидкость оказывает повышенное смазочное и охлаждающее действие.

Механизм действия распыленной СОЖ следующий. На выходе из сопла смесь жидкости и воздуха расширяется, следовательно, температура ее снижается. Распыленные частицы жидкости, попадая на разогретую поверхность металла, легко испаряются, интенсивно поглощая дополнительное тепло. Распыленная жидкость, имея меньшую вязкость, легче проникает в микротрещины. Охлаждающий и смазочный эффект увеличивается. Недостатком этого способа является слишком громкий свист истекающей струи воздуха.

На рисунке 2.22 показаны схемы основных способов **подачи СОЖ при шлифовании**: 1) свободнопадающей струей, поливом (рис. 2.22 а); 2) через поры шлифовального круга (рис. 2.22 б); 3) через торцовые каналы круга (рис. 2.22 в); 4) струйно-напорным внезонным (рис. 2.22 г); 5) с наложением на струю ультразвуковых колебаний (рис. 2.22 д); 6) контактным (рис. 2.22 е); 7) гидроаэродинамическим (рис. 2.22 ж); 8) в растворе СОЖ (рис. 2.22 з) [1–3].

Подача СОЖ свободно падающей струей (поливом) (рис. 2.22 а) наиболее широко применяется на универсальных круглошлифовальных станках. СОЖ подают к зоне шлифования центробежным электронасосом через сопло, имеющее щелевое или круглое выходное отверстие. При этом способе происходит главным образом охлаждение шлифуемой детали, поэтому полив используется только при операциях шлифования деталей на универсальных станках в единичном и мелкосерийном производстве из тех материалов, которые отличаются хорошей шлифуемостью, например, закаленных углеродистых сталей. Одним из средств регулирования струи охлаждающей жидкости и уменьшения разбрызгивания является заслонка-отклонитель струи.

При подаче СОЖ через поры шлифовального круга жидкость, обладающую хорошими смазочными свойствами, подают к осевому отверстию шлифовального круга. Под действием центробежных сил она протекает через поры на периферию (рис. 2.22 б). При таком охлаждении уменьшается температура детали не только в результате лучшего подвода жидкости, но и вследствие меньшего трения шлифовального круга о поверхность шлифования, что, безусловно, уменьшает опасность появления прижогов и шлифовочных трещин на шлифуемой поверхности.

Один из недостатков этого способа состоит в том, что он не применим для шлифовальных кругов на вулканитовой и бакелитовых связках, так как они не имеют сквозных пор. Кроме того, требуется тщательная очистка СОЖ. В противном случае поры быстро забиваются грязью. Подавать СОЖ следует только при вращающемся круге, а начинать шлифование через 2–5 мин после подачи СОЖ, для равномер-

ного заполнения круга жидкостью. Прекращать подачу СОЖ в шлифовальный круг необходимо за несколько минут до выключения станка.

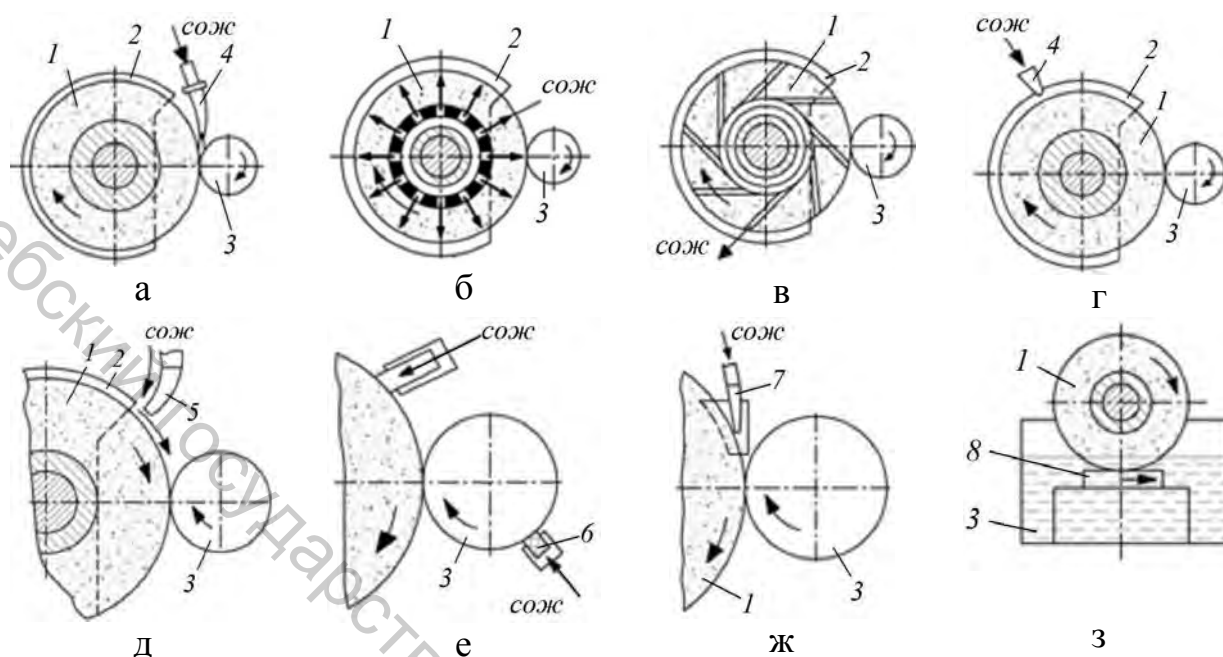


Рисунок 2.22 – Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании:

- 1 – шлифовальный круг; 2 – кожух; 3 – шлифуемая деталь; 4 – сопло;
5 – вибрирующий волновод; 6 – пористый элемент; 7 – насадок;
8 – резервуар

Подача СОЖ по торцовым каналам (рис. 2.22 в) применяется редко, так как абразивная промышленность не выпускает необходимых абразивных кругов с наклонными каналами на торцах.

При подаче СОЖ струйно-напорным внезонным способом (рис. 2.22 г) СОЖ подают под давлением на рабочую поверхность шлифовального круга вне зоны шлифования через одно или несколько сопел. Струи СОЖ с определенной силой действуют на рабочую поверхность круга, очищая поры и абразивные зерна от частиц металла и отходов шлифования.

При подводе СОЖ контактным способом (рис. 2.22 е) одновременно с поливом зоны шлифования свободно падающей струей СОЖ обладающей хорошими охлаждающими свойствами, на обрабатываемую поверхность вне зоны шлифования непрерывно наносится тончайший слой активной смазки путем поджима к шлифуемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой.

Для подачи СОЖ гидроаэродинамическим способом (рис. 2.22 ж) используются воздушные потоки, которые создаются шлифовальным кругом. Разогнанная этими потоками СОЖ направляется в узкую часть насадка, где давление повышается настолько, что СОЖ вдавливаются в по-

верхностный слой шлифовального круга. Откуда поток СОЖ выбрасывается в зону контакта круга со шлифуемой деталью.

Шлифование в среде СОЖ (рис. 2.22 з) применяют главным образом при ленточном и плоском шлифовании.

Чаще всего металлорежущие станки оснащаются **системой внешней подачи смазочно-охлаждающей жидкости**, которая работает следующим образом: через всасывающую трубу приемным фильтром эмульсия поступает из резервуара в насос, откуда по нагнетательным трубопроводам направляется в нужную точку. Краном регулируется сила напора, шарнирные соединения трубопроводов и сопло обеспечивают точный подвод СОЖ к инструменту. При превышении допустимого давления в системе срабатывает перепускной клапан, в результате чего излишки жидкости сливаются в резервуар.

Внутренний подвод смазочно-охлаждающей жидкости к зоне резания производится через переходные оправки для инструмента или шпиндель станка.

Принцип работы системы подвода СОЖ через шпиндель состоит в подаче эмульсии под регулируемым напором через державку и каналы в инструменте (рис. 2.23) прямо на режущие кромки, за счет чего обеспечивается максимально эффективное охлаждение зоны обработки, надежное удаление стружки. Это делает возможным сокращение технологического цикла при одновременном продлении ресурса инструмента, чистовое сверление глубоких отверстий, применение скоростных технологий для обработки мягких, вязких металлов.

При эксплуатации станка, оснащенного устройством подвода СОЖ через шпиндель, предъявляются особо жесткие требования к чистоте эмульсии – мелкая стружка, частицы пыли засоряют подводящие каналы. Поэтому одним из важнейших требований к рабочей жидкости является хорошая фильтруемость.

Наиболее широко в системах охлаждения станочного инструмента используются вертикальные полупогружные (электродвигатель находится над уровнем жидкости, а помповый механизм погружается в нее) или погружные насосы. Главные критерии их выбора:

- тип, вязкость и степень загрязненности эмульсии, размер загрязняющих частиц;
- производительность (объем жидкости, прокачиваемый в единицу времени);
- требуемое давление нагнетания;
- диаметр трубопровода;
- диапазон глубины погружения.

Быстро подобрать насос для подачи смазочно-охлаждающей жидкости помогают специальные таблицы.

Газообразные охлаждающие среды. При высокоскоростной механической обработке использование жидких СОЖ может привести к

растрескиванию инструмента вследствие термоудара. По этой причине для охлаждения инструмента при высокоскоростной обработке чаще всего применяют обдув зоны резания газообразными охлаждающими средствами, а также подачу СОЖ в распыленном состоянии (технология MQL).

В качестве газообразных охлаждающих средств используются воздух, кислород, углекислота и азот. Охлаждение может быть контактным (когда газовая струя подводится непосредственно в зону резания) и бесконтактным (когда отвод тепла осуществляется за счет циркуляции сжиженных газов в теле инструмента).

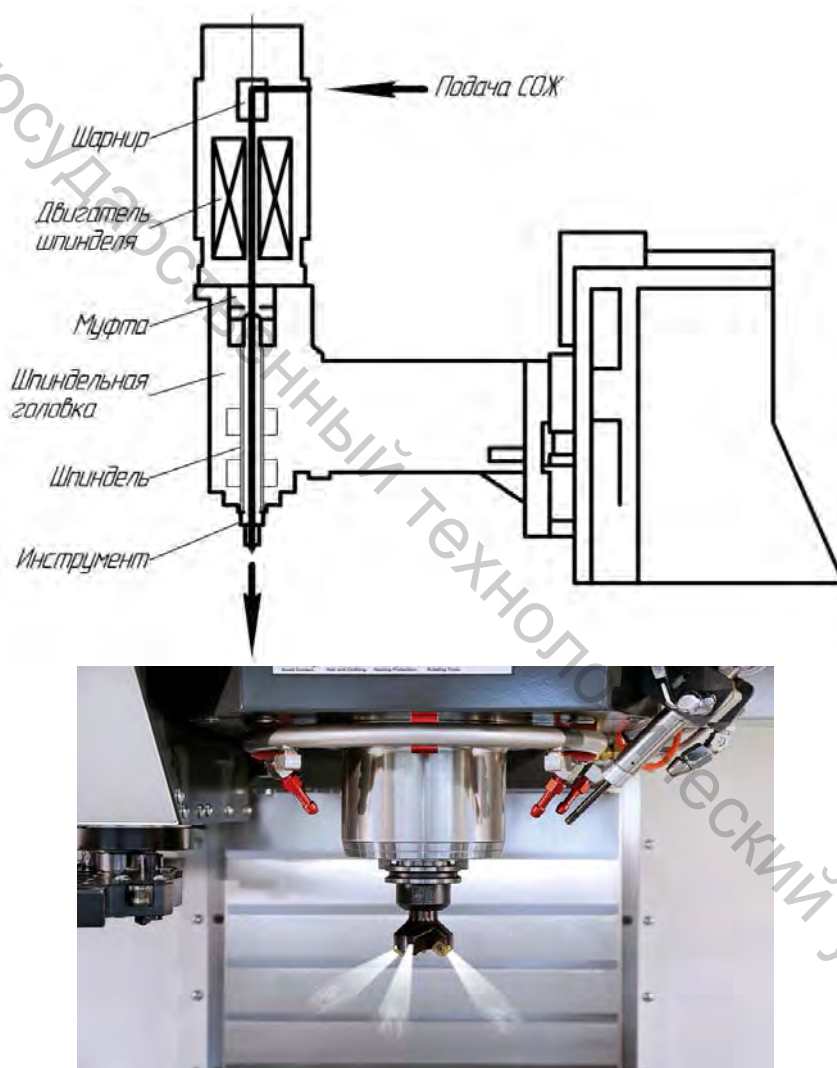


Рисунок 2.23 – Подвод СОЖ через шпиндель

Особенно эффективно охлаждение газовыми средами с минусовыми температурами. Эффект создается не только за счет охлаждения зоны резания, но и за счет охлаждения обрабатываемого металла, что вызывает снижение его пластичности и снижение износа по передней поверхности инструмента.

Эффективность газовых сред заключается не только в интенсивном охлаждении за счет высоких скоростей обдува зоны резания, но и в их способности выносить из зоны обработки мельчайшие частицы продуктов резания, что особенно важно при чистовой обработке хрупких материалов, например, чугуна.

Основной недостаток воздуха в роли СОЖ – плохая смазывающая способность. Одним из перспективных методов воздушного охлаждения зоны резания является применение активированных воздушных сред, например, охлажденного ионизированного воздуха (ОИВ). Ионизация воздуха обеспечивает смазывающую функцию газообразных СОЖ путем образования защитных окисных пленок на поверхностях инструмента. Вызывает интерес возможность совместного применения СОЖ и ОИВ при обработке резанием.

Твердые смазочно-охлаждающие смазки применяются в виде твердых пленок, наносимых на поверхность инструмента или обрабатываемой детали, а также в виде мелких частиц, добавляемых в СОЖ и в газообразные охлаждающие среды для улучшения их смазывающих свойств.

Твердые пленки состоят из дисульфида молибдена, сульфида марганца или графита в сочетании с различными наполнителями и органическими смолами. Пластинчатые кристаллы этих материалов обладают высокой прочностью на сжатие, но малой прочностью на сдвиг, что в условиях резания приводит к их скольжению относительно друг друга с очень малым внутренним трением.

Охлаждающий эффект таких покрытий невелик, но за счет снижения трения можно значительно увеличить стойкость инструмента. Например, использование никельфосфорных твердых покрытий на инструментах из быстрорежущих сталей позволяет на 20 % увеличить производительность при обработке жаропрочных сталей.

Наряду с минимизацией подачи СОТС в зону резания в настоящее время обсуждается возможность обработки резанием без применения СОЖ **«сухое резание»**. Область применения «сухого» резания более узкая по сравнению с областью применения технологии MQL. Метод «сухого» резания в основном используют при обработке стали, алюминиевых сплавов и чугунов.

Точение и фрезерование без применения СОЖ позволяют существенно сократить затраты на процессы обработки и минимизировать загрязнение окружающей среды. Однако данный метод имеет следующие недостатки: нагрев инструмента; сход и накопление стружки; образование наростов на режущих кромках инструмента; появление металлической пыли. Известно, что применение СОЖ способствует увеличению стойкости инструмента, уменьшению сил резания и шероховатости обрабатываемой детали. При «сухой» обработке температура в зоне резания значительно выше. Вследствие этого уменьшается стойкость ин-

струмента и ухудшается качество обработанной поверхности, затрудняется обеспечение заданной точности обработки.

Существует два направления, при которых можно компенсировать исключение СОЖ:

1) использование более износостойких материалов с защитными покрытиями, совершенствование геометрических параметров инструментов, оптимизация режимов резания;

2) реализация циркуляции СОЖ внутри инструмента.

В последние годы активно обсуждается обработка резанием при использовании **криогенного охлаждения** жидким и газообразным азотом или углекислым газом. Криогенная обработка проводится при температуре ниже 120 К. В литературе показано, что применение криогенного охлаждения в определенных случаях позволяет увеличить период стойкости инструмента и повысить производительность за счет увеличения скорости резания.

Обработка с использованием криогенного охлаждения сопровождается изменением свойств инструмента и обрабатываемой детали в результате значительного понижения температуры. Низкая температура обработки способствует увеличению твердости, уменьшению деформативности и трещиностойкости обрабатываемого материала.

Однако не все системы «инструмент – обрабатываемый материал» согласуются с тем или иным способом криогенного охлаждения. Применение жидкого азота в качестве СОЖ при фрезеровании титанового сплава Ti-6Al-4V позволяет на 30...40 % уменьшить шероховатость обработанной поверхности по сравнению с шероховатостью при «сухой» обработке и применении СОЖ.

Отрицательная температура СОТС в разной степени влияет на изменение характеристик режущего инструмента и материала обрабатываемой детали. По этой причине для каждой системы «инструмент – обрабатываемый материал» требуется проводить индивидуальные исследования по применению криогенного охлаждения.

Разработана гибридная технология шлифования MQL – CO₂, основанная на использовании минимального количества охлаждающей жидкости и системы ее замораживания на круге низкотемпературным газом CO₂. Абразивные зерна защищаются слоем замороженной жидкости, что позволяет одновременно снизить расход СОЖ, увеличить стойкость шлифовального круга и улучшить качество шлифованной поверхности путем устранения прижогов и растягивающих остаточных напряжений.

На сегодняшний день конечный потребитель криогенного охлаждения не готов принять на себя риски подготовки технологии к серийному использованию. Широкому внедрению метода препятствуют проблемы обеспечения безопасности работ, а также проблема пригодности технологии криогенного охлаждения для разного оборудования.

2.7 Системы бесступенчатого регулирования скоростей резания и подачи

Бесступенчатые приводы применяют для плавного и непрерывного изменения частоты вращения шпинделей или подачи. Они позволяют получать оптимальные скорости резания и подачи при обработке различных деталей. Кроме того, они позволяют изменять скорость главного движения или подачу во время работы станка без его остановки. Вследствие этого применение в станках бесступенчатого привода способствует повышению производительности [38–39].

В станках применяют различные способы бесступенчатого регулирования скоростей движений. Выбор способа зависит от многих факторов (станок универсальный, специализированный, специальный; для черновой, чистовой, отделочной обработки); требуемой мощности резания и вида механической характеристики; необходимого диапазона регулирования и др.

Каждое из возможных решений – электрическое, гидравлическое, механическое, комбинированное регулирование – имеет свои специфические эксплуатационные достоинства и недостатки и соответственно этому – свою область применения.

Электрическое регулирование производится изменением частоты вращения электродвигателя, который приводит в движение соответствующую цепь станка.

Систему *генератор-электродвигатель* применяют в тяжелых и мощных металлорежущих станках при частом реверсировании электродвигателей или при необходимости получения бесступенчатого регулирования частоты вращения, скоростей или подачи. Существенными недостатками системы генератор-электродвигатель является низкий КПД (примерно 0,65), громоздкость и высокая стоимость.

В механизмах главного движения станков с ЧПУ в основном применяются *электродвигатели постоянного тока* благодаря своим исключительным регулировочным свойствам, а также возможности изменения частоты вращения в определенном диапазоне с постоянством передаваемой мощности. Размеры электродвигателя главного движения влияют на компоновку станка. У новых серий электродвигателей уменьшена высота оси вращения, что обеспечивает их лучшую встраиваемость в станки.

Применение широкорегулируемых электродвигателей постоянного тока и постоянной мощности в механизмах главного движения станков значительно упрощает механическую часть привода, исключает полностью или сводит до минимума число ступеней коробки скоростей, обуславливает увеличение производительности и повышает КПД электропривода.

Комплектные электроприводы постоянного тока серий ЭТЗ, ЭТДР с тиристорными преобразователями используются в качестве регулируемых электроприводов главного движения металлорежущих станков и других механизмов. Электропривод серии ЭТЗ имеет электродвигатель мощностью 1,1,22 кВт. Минимальная частота вращения электродвигателя $n_{min} = 10 \text{ мин}^{-1}$.

Электропривод серии ЭТЗ с электродвигателем 2ПФ160Г мощностью 11 кВт с номинальным напряжением 220 В, номинальной частотой вращения 1500 мин^{-1} обеспечивает регулирование частоты вращения в диапазоне $600 \dots 3300 \text{ мин}^{-1}$. Кроме этого, возможно обеспечение ползу- чей скорости 25 мин^{-1} .

Электроприводы серии ЭТДР имеют мощность двигателя 1,5...30 кВт.

В приводах подач (реже в приводах главного движения) применяют *высокомоментные электродвигатели с тиристорными преобразователями*, которые позволяют получать высокие диапазоны бесступенчатого регулирования без применения коробок подач, а иногда и коробок скоростей.

При номинальной частоте вращения, например, 3000 мин^{-1} , диапазон регулирования может быть доведен до 30000. К недостаткам электродвигателей высоких моментов относится большая стоимость магнитов высоких энергий с применением редкоземельных элементов. Серийно выпускаются комплектные высокомоментные электродвигатели типа ПБВ для приводов подачи станков с ЧПУ мощностью 0,75...5,5 кВт.

Применение следящего привода подач с высокомоментными электродвигателями в станках с ЧПУ позволяет получить высокую точность обработки при малых дискретах ($1 \dots 2 \text{ мкм}$) и высоких скоростях холостых ходов ($10 \dots 12 \text{ м/мин}$).

Перспективным является использование в приводах станков *бесколлекторных (вентильных) регулируемых электродвигателей* переменного тока.

Для бесступенчатого регулирования скоростей прямолинейных движений в станках широко используют *гидравлический привод*, главным образом подач, но также и главного движения (в строгальных, долбежных, протяжных станках).

Для бесступенчатого регулирования скорости гидравлический привод имеет ряд существенных преимуществ: широкий диапазон регулирования, быстрое изменение величины и направления скорости, плавное реверсирование, удобство дистанционного управления и его автоматизации, автоматическое предохранение от перегрузок, самосмазываемость.

Недостаток гидравлического привода – недостаточно жесткая характеристика вследствие утечек и влияния температуры на вязкость масла.

При малых скоростях ($V = 12 \dots 15$ мм/мин) работа гидравлического привода становится неустойчивой. Для вращательного движения гидравлический привод применяют в станках редко ввиду высокой его стоимости и снижения КПД при износе.

Регулирование с помощью механических вариаторов. Большинство механических вариаторов, применяемых в станках, – фрикционные. Фрикционные передачи – механизмы, передающие движения с помощью сил трения соприкасающихся поверхностей. Величина передаваемой силы фрикционной передачи зависит от коэффициента трения. Для неметаллических материалов (текстолита, фередо) коэффициент трения значительно выше, чем для стали. Однако применение стальных поверхностей, особенно закаленных, сокращает габаритно-массовые характеристики передач вследствие применения высоких сил прижима поверхностей.

Фрикционные передачи обладают простотой конструкции, равномерностью передачи движения и бесшумностью работы, простым и легким управлением (изменение скорости главного движения и подачи можно производить во время работы без останова станка, что позволяет получить оптимальные скорости при обработке заготовок). Возможность регулирования частоты вращения на ходу станка является важным преимуществом перед ступенчатым приводом с зубчатыми колесами, так как дает возможность поддерживать постоянную скорость резания путем непрерывного автоматического изменения частоты вращения шпинделя, что необходимо, например, при поперечном обтачивании и резании резцами, когда диаметр обрабатываемой детали в процессе резания значительно изменяется.

Недостатками фрикционной передачи являются: большие нагрузки на валы и подшипники; повреждение дисков при буксовании, что приводит к неравномерному их изнашиванию; сравнительно небольшой диапазон регулирования (обычно не выше 6) и значительное снижение частоты вращения под нагрузкой; потери на трение; нежесткая характеристика – изменение передаваемой мощности при регулировании частоты вращения.

2.8 Линейные двигатели

Недостатки традиционных приводов линейных перемещений известны и очевидны:

- большое количество промежуточных элементов от источника энергии до рабочего органа;
- громадная инерционность этих элементов, особенно в крупногабаритных станках;
- наличие зазоров в передающих устройствах;
- трение во множестве сопрягаемых деталей (резко изменяющееся при переходе системы из состояния покоя в состояние движения);
- температурные и упругие деформации практически всех передающих звеньев;
- износ сопрягаемых элементов в процессе эксплуатации и потеря исходной точности;
- погрешности в шаге ходового винта и накопленная погрешность по длине [40–43].

Поскольку эти недостатки определяют основные качественные характеристики приводов (точность и равномерность хода РО, величину мертвого хода при реверсе, допустимые ускорения и скорости РО), конструкторская мысль станкостроителей давно пытается как-то уменьшить их влияние на работу приводов и оборудования в целом. Например, в соединении ходового винта с гайкой для уменьшения трения уже давно используют дорогое и сложное шариковинтовое соединение; для ликвидации зазоров в соединении винта с гайкой вводятся специальные устройства натяга соединения; ходовые винты особо точных станков изготавливают по классу эталонных; погрешности шага винтов пытаются компенсировать системами компенсаторов; в борьбе с температурными деформациями создаются изощрённые системы охлаждения и т.д. Уже давно ясно, что проблемы приводов с ходовыми винтами не решить никогда из-за их физико-технической сущности и построенного типа, как такового.

Архаичность рассмотренных приводов давно очевидна и передовая конструкторская мысль уже много лет работала над задачей кардинальной замены типовых приводов в металлообрабатывающем оборудовании на какие-то другие, более совершенные. Решением исключая многие недостатки традиционных приводов стало использование в качестве приводов подач станков линейных двигателей.

Линейный двигатель – электродвигатель, у которого один из элементов магнитной системы разомкнут и имеет развёрнутую обмотку, создающую магнитное поле, а другой взаимодействует с ним и выполнен в виде направляющей, обеспечивающей линейное перемещение подвижной части двигателя.

Сейчас разработано множество разновидностей (типов) линейных электродвигателей, например:

- линейные асинхронные электродвигатели (ЛАД);
- линейные синхронные электродвигатели;
- линейные электромагнитные двигатели;

- линейные магнитоэлектрические двигатели;
- линейные магнестрикционные двигатели;
- линейные пьезоэлектрические (электрострикционные) двигатели

и др.

Многие типы линейных двигателей, такие как асинхронные, синхронные или постоянного тока, повторяют по принципу своего действия соответствующие двигатели вращательного движения, в то время как другие типы линейных двигателей (магнестрикционные, пьезоэлектрические и др.) не имеют практического исполнения как двигатели вращательного движения. Неподвижную часть линейного электродвигателя, получающую электроэнергию из сети, называют статором, или первичным элементом, а часть двигателя, получающую энергию от статора, называют вторичным элементом или якорем (название «ротор» к деталям линейного двигателя не применяется, так как слово «ротор» буквально означает «вращающийся», а в линейном двигателе вращения нет).

Рассмотрим синхронные линейные двигатели, составляющие конкуренцию классическим схемам «серводвигатель-шарико-винтовая пара (ШВП)» и «серводвигатель-рейка». Практически все производители серводвигателей предлагают на нашем рынке и линейные двигатели (перечислены в алфавитном порядке): *Fanuc* (Япония), *Mitsubishi* (Япония), *Sew-eurodrive* (Германия), *Siemens* (Германия). Присутствует на рынке и производитель из СНГ – белорусское СП «Рухсервомотор».

Применение линейных двигателей имеет следующие преимущества перед схемами с серводвигателями: точность позиционирования; возможны сверхмалые подачи (микроны); высокая скорость (свыше 3 м/с); высокое ускорение (80 м/с^2); отсутствие мертвого хода; низкий уровень шума даже при максимальной скорости; возможность реализации малых рабочих ходов; отсутствуют упругие деформации элементов привода (зубчатый ремень, винт ШВП); длительный срок службы и надежность. К недостаткам следует отнести: высокие требования к точности изготовления элементов машины; наличие системы охлаждения; высокая стоимость.

В состав типовой сервосистемы на основе линейного двигателя (рис. 2.24) входят: линейный двигатель, состоящий из первичной и вторичной секций; блок управления (на рисунке не показан); рабочий стол; направляющие качения; датчик обратной связи; кабелеукладочная цепь; ограничитель хода; буфер.

Для контроля скорости, положения системы и коммутации двигателя используется датчик линейных перемещений. Этот узел преобразует измеряемое перемещение в последовательность электрических сигналов, содержащих информацию о величине и направлении этих перемещений. Преобразователь состоит из измерительной головки и линейки, при этом между ними отсутствует механический контакт. Как пра-

вило, это оптоэлектрические датчики, но также могут использоваться магнитные и индукционные системы.

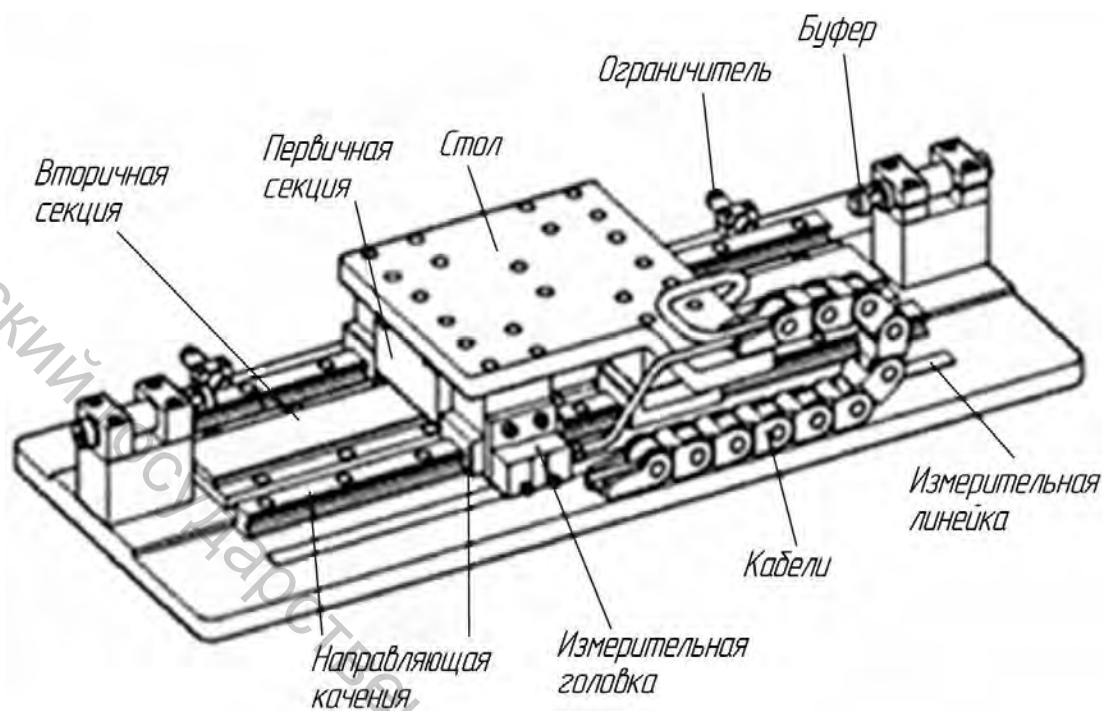


Рисунок 2.24 – Сервосистема на основе линейного двигателя

Линейный двигатель, как и вращающийся, состоит из двух частей: первичной и вторичной секций. Первичная секция соответствует статору вращающегося двигателя. Она включает в себя шихтованный магнитопровод с трехфазной обмоткой и температурный датчик. Вторичная секция представляет собой ротор, состоящий из стального несущего каркаса с прикрепленными к нему постоянными магнитами. Первичная и вторичная секции заключены в оболочки.

Условно говоря, линейный двигатель (рис. 2.25) представляет собой вращающийся двигатель, который разрезан и «развернут» в плоское состояние. Соответственно, принципы работы остаются неизменными. Однако в линейном двигателе движение совершает первичная секция (обмотка) при неподвижной вторичной секции (роторе).

Движущее магнитное поле генерируется обмоткой первичной секции. Поля вторичной секции и результирующее магнитное поле первичной секции создают движение в соответствующем направлении посредством создания тягового усилия. Положение результирующего вектора определяется фазами токов инвертора, а амплитуда вектора, и, следовательно, развиваемое мотором усилие задается амплитудами фазных токов.

Для нормальной работы линейного двигателя необходимо точно выдержать воздушный зазор между первичной и вторичной секциями. При увеличении зазора уменьшается нагрузочная способность двигате-

ля. В связи с этим повышаются требования к точности исполнения монтажных поверхностей. На величину и точность воздушного зазора влияют направляющие прямолинейного движения и рабочий стол.



Рисунок 2.25 – Линейный двигатель и принцип работы

Как и серводвигатель, линейный двигатель управляется блоком управления. Модель блока управления определяется выбранным типом линейного двигателя.

На одной оси могут быть установлены две первичных секции, работающие параллельно от одного блока управления. Эти секции должны быть одного типоразмера с одинаковым типом обмотки. При этом расстояние между первичными секциями определяется требуемыми позициями электрических фаз. Допустимые компоновки секций и расстояния между ними приводятся в документации на двигатель.

Критическим местом для линейных двигателей является *температурный режим*. Производители предлагают линейные двигатели с воздушным и водяным (масляным) охлаждением. Это может быть один и тот же двигатель, работающий в разных режимах.

Конвекционное охлаждение значительно упрощает конструкцию машины, однако, при этом существенно снижается номинальное тяговое усилие ($\approx$ в 2 раза). Максимальное усилие двигателя остается прежним. На рисунке 2.26 представлена простейшая схема водяного охлаждения. Естественно, наличие охлаждения делает конструкцию всей машины в целом сложнее.

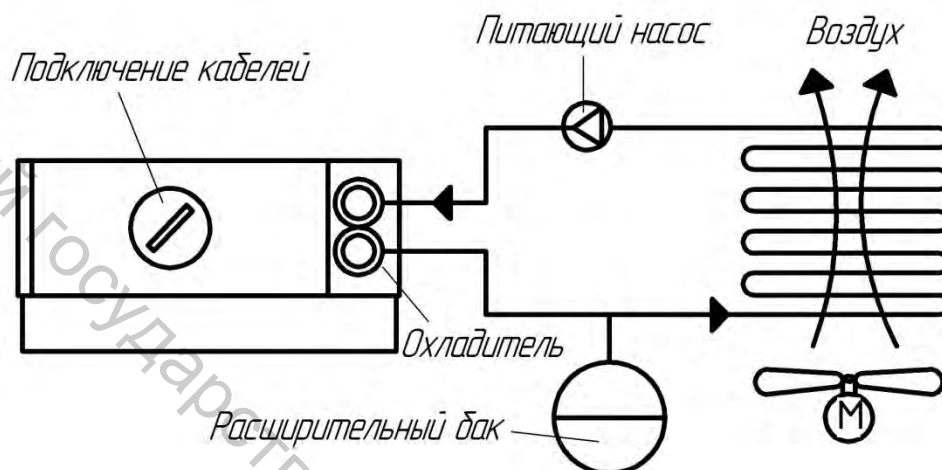


Рисунок 2.26 – Схема системы водяного охлаждения линейного двигателя

Стремясь улучшить охлаждение двигателя, производители вводят в его конструкцию дополнительные охлаждающие элементы. На рисунке 2.27 приведена конструкция первичной секции двигателя фирмы *Sew-Eurodrive* с воздушным охлаждением, в которой применен вентилятор. На рисунке 2.28 представлен линейный двигатель фирмы *Siemens* с дополнительным водяным радиатором направленного охлаждения первичной и контуром охлаждения вторичной секций.

Для предотвращения перегрева линейный двигатель оснащается датчиком температуры. Датчик отключает двигатель при температуре обмотки $\approx 120^\circ\text{C}$.

К основным характеристикам линейного двигателя относят: номинальное тяговое усилие F_N , Н; максимальное тяговое усилие F_{max} , Н; максимальную скорость V_{max} , м/с; силу магнитного притяжения первичной секции – длина L , мм, и ширина B , мм. На рисунке 2.29 представлена типовая зависимость тягового усилия от линейной скорости. Номинальное усилие F_N , задающее область работы с постоянной нагрузкой, определяется температурным режимом. С максимальным усилием двигатель может работать ограниченное время и не во всем диапазоне скоростей.

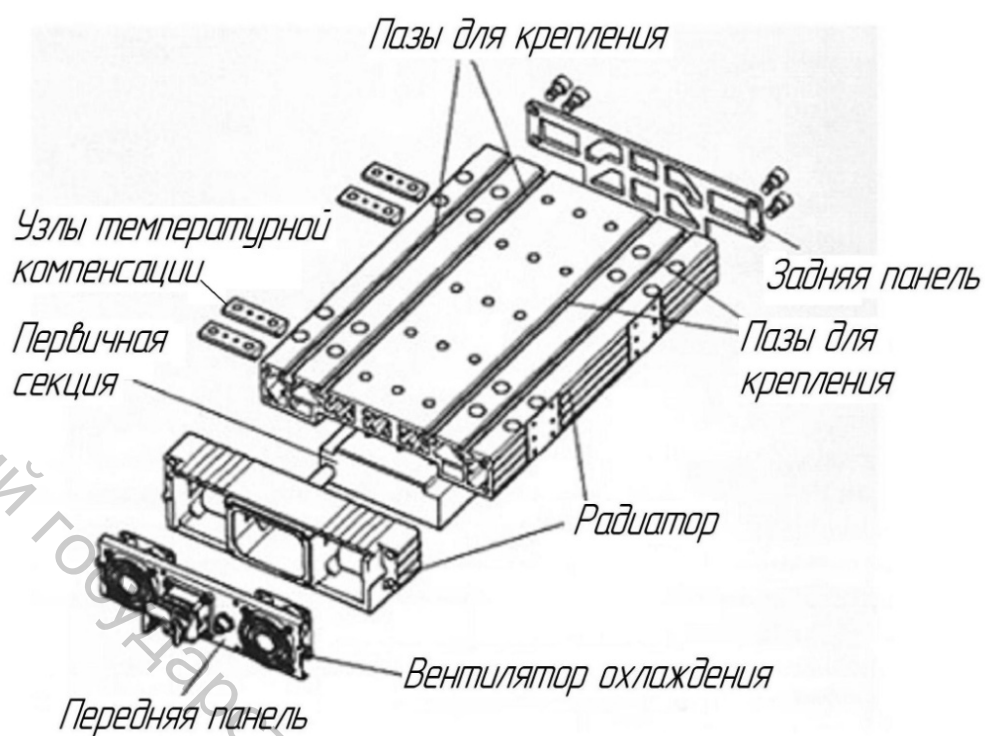


Рисунок 2.27 – Система воздушного охлаждения

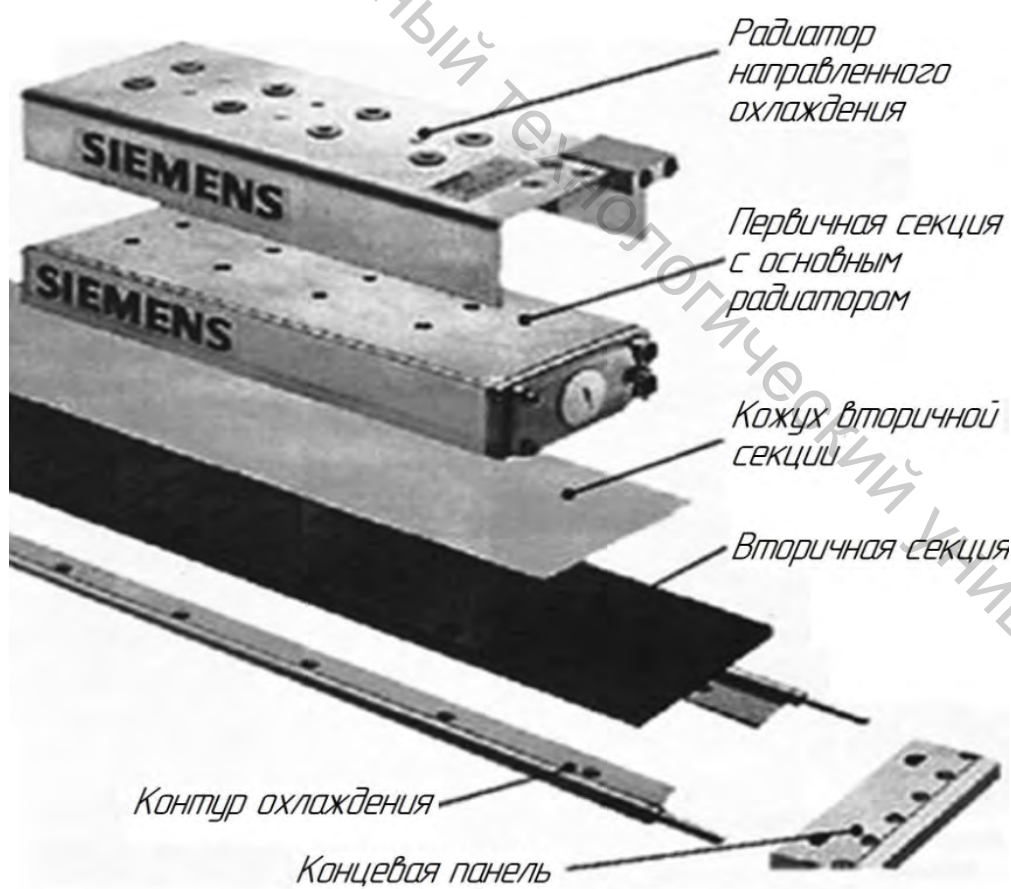


Рисунок 2.28 – Система водяного охлаждения

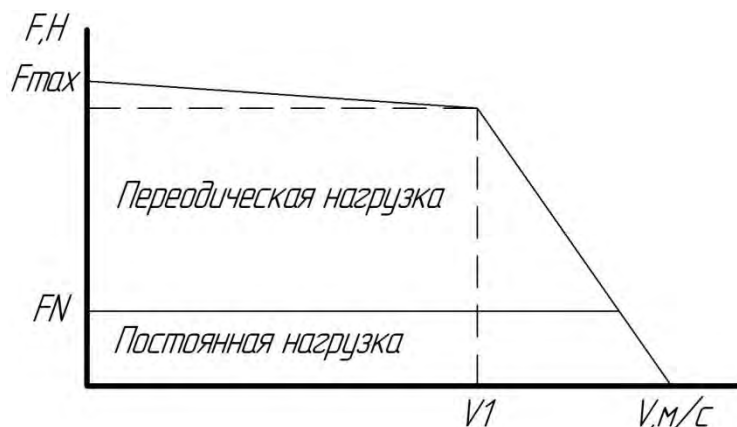


Рисунок 2.29 – Характеристики линейного двигателя

Исходными данными для расчета двигателя являются: масса движущихся частей M , кг; коэффициент трения направляющих, μ ; рабочий ход L , мм; направление оси перемещения – горизонтальное, вертикальное, под углом к горизонтали; рабочие усилия F_c , Н; максимальная скорость перемещения V_{max} , м/с; время ускорения t_a , с; температура окружающей среды t , °С. Для правильного выбора линейного двигателя необходимо иметь циклограммы нагружения, скорости и ускорения.

2.9 Направляющие и опоры

Направляющие, по которым перемещаются подвижные узлы станков, машин, механизмов, измерительных приборов, роботов и других устройств, являются одним из основных элементов конструкции и в значительной мере определяют их возможности и технический уровень [44–45].

В металлорежущих станках применяются два основных типа направляющих:

- направляющие скольжения с различными режимами трения (граничного, смешанного, гидродинамического, гидростатического, аэростатического);
- направляющие качения с различными типами тел качения (в основном, конечно, шарики и ролики), видами кинематики (без возврата тел качения, с возвратом тел качения) и конструктивными формами.

В некоторых станках применяются комбинированные направляющие, у которых по одним граням используется скольжение, а по другим – качение.

Наиболее распространены направляющие скольжения со смешанным характером трения, при котором слой смазки не обеспечивает полного разделения трущихся поверхностей неподвижного и подвижного

элементов направляющей, которое имеет место в гидродинамических, гидростатических и аэростатических направляющих.

Направляющие скольжения имеют смешанный характер трения, при котором слой смазки не обеспечивает полного разделения трущихся поверхностей неподвижного и подвижного элементов направляющей, которое имеет место в гидродинамических, гидростатических и аэростатических направляющих.

Основными преимуществами направляющих скольжения со смешанным характером трения являются простота и компактность конструкции, высокая нагрузочная способность и жесткость, демпфирование, невысокая стоимость. Однако в современных условиях тип направляющих со смешанным трением имеет существенные недостатки, основными из которых являются большое трение, ограничивающее скорость перемещения узлов, большой износ направляющих, а также скачкообразность движения при трогании с места и на малых скоростях, не позволяющая осуществлять точное позиционирование узлов.

Применение накладок из полимерных материалов (наполненный фторопласт, торсайт, тефлон и др.) и специальных «антискачковых» смазок (например, серии ИНСп и И-ГН-Е) позволяет в значительной мере, но далеко не полностью, устранить указанные недостатки обычных направляющих скольжения.

Гидродинамические и гидростатические направляющие имеют не большое трение, высокую демпфирующую способность, обеспечивают высокую плавность хода и малые усилия перемещения, практически неизнашиваемы.

Однако их жесткость не столь высока, как у направляющих смешанного трения, при высоких скоростях перемещения они генерируют избыточное тепло, вызывающее нагрев смазки и всего кинематического узла, требуют сложной навесной гидроаппаратуры и, в целом, значительно дороже других типов направляющих, что ограничивает область их применения (главным образом, это особо тяжелые и уникальные станки).

Аэростатические направляющие имеют особо малое трение, обеспечивают высокую точность перемещений, обладают высокой долговечностью, однако так же имеют ограниченную нагрузочную способность и подвержены случайным отказам, что сужает область их применения (координатно-измерительные машины, станки для обработки печатных плат, алмазно-токарные станки и некоторые другие типы станков с малыми нагрузками на направляющие).

Направляющие качения обладают малым трением (коэффициент трения составляет $0,003 \dots 0,005$), обеспечивают высокую плавность перемещений, допускают высокие скорости и ускорения перемещений. В соответствующем исполнении они обеспечивают высокую нагрузочную способность, жесткость и долговечность системы, точность установоч-

ных перемещений. Их основными недостатками являются сравнительно низкое демпфирование, повышенная чувствительность к загрязнению, а также высокая стоимость, которая во многих случаях является существенным фактором, ограничивающим их использование.

Комбинированные направляющие позволяют использовать преимущества направляющих и скольжения, и качения, в то же время они обладают и их недостатками. Часто такие направляющие на основных нагруженных гранях имеют трение скольжения, что обеспечивает хорошие показатели демпфирования колебаний, и трение качения (с преднатягом) на боковых гранях для устранения переориентации узлов при реверсах.

Однако такая конструкция направляющих ограничивает скорость и ускорение перемещения узлов в высокоскоростных станках.

Комбинированный тип имеет сравнительно меньшую область применения, чем первые два типа направляющих. Направляющие качения являются основным типом направляющих в наиболее прогрессивных современных высокоскоростных станках, их конструкция (в отличие от направляющих скольжения) непрерывно совершенствуется.

Начальная конструкция направляющих качения, применявшихся на координатно-расточных, шлифовальных и других обрабатывающих станках, претерпела с течением времени ряд усовершенствований: появились накладки из закаленной стали на поверхности базовых деталей из чугуна, подпружиненные ролики на обратных планках на подвижных узлах для создания преднатяга, направляющие с линейным сепаратором уступили место направляющим качения с применением роликовых (или шариковых) блоков – линейных опор качения (так называемые «танкетки»).

Внешний вид и конструкция одной из форм «танкетки» показан на рисунке 2.30.

Корпус «танкетки» крепится к подвижному узлу станка. Ролики опираются на рабочую дорожку корпуса и на направляющую неподвижного узла станка. «Танкетки» обычно устанавливаются по концам подвижного узла (а при необходимости – и в его средней части) и совершают возвратно-поступательное движение.

Их использование позволило значительно повысить скорость перемещения узлов (до 15...25 м/мин), обеспечить за счет предварительного натяга отсутствие зазора в системе направляющих. Системы роликовых направляющих обеспечивают возможность повышения скоростей быстрых перемещений узлов до 15...20 м/с с дискретностью перемещений до 0,001 мм. Однако точность станков на роликовых направляющих оказалась ограничена классом «П», и дальнейшее повышение точности станков (как и скоростей быстрых перемещений узлов) стало возможным только с применением более совершенных направляющих качения.

Дальнейшее внедрение направляющих с «танкетками» выявило серьезные технологические трудности.

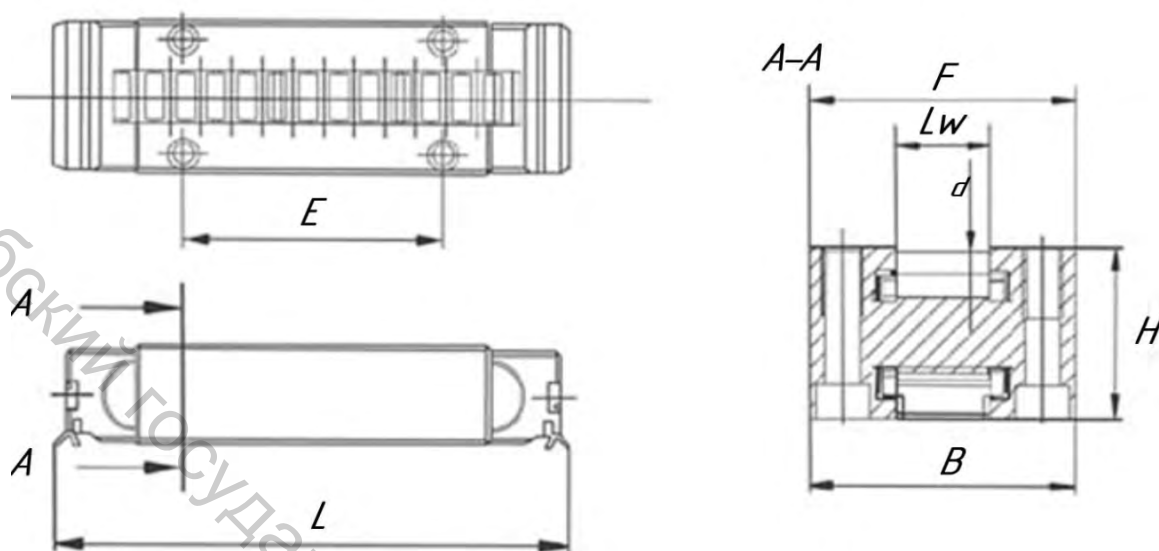


Рисунок 2.30 – Конструкция роликовой опоры качения

Допустимые нагрузки на одно тело качения по чугуны примерно в 30 (для шариков) и в 20 раз (для роликов) меньше, чем по закаленной стали. Соответственно, для обеспечения высокой нагрузочной способности и возможности создания необходимого предварительного натяга тела качения должны перемещаться не по поверхности станины, а по стальным закаленным ($HRC\ 58...62$) поверхностям специальных накладок или планок.

Направляющие планки (обычно прямоугольного сечения) для неподвижного узла должны быть точно (с допуском $10...20\ \mu\text{м}$) обработаны по всей длине по верхним и боковым плоскостям для обеспечения точности перемещений и сохранения преднатяга на всем пути подвижного узла.

Комплект «танкеток» должен быть отрегулирован проставками или клиньями для создания нужного преднатяга и точно выставлен, так как даже незначительные перекосы могут привести к заклиниванию в системе направляющих.

Изготовление и монтаж на неподвижном узле станка (станине, стойке и др.) высокоточных шлифованных и закаленных накладок, регулировка «танкеток» связаны с большими временными затратами и требуют привлечения высококвалифицированных специалистов.

Дальнейшим усовершенствованием направляющих качения стало появление их нового класса – рельсовых направляющих качения.

Принципиальным улучшением у таких направляющих по сравнению с описанными выше системами роликовых направляющих с «танкетками» является перемещение тел качения не непосредственно по по-

верхностям неподвижного узла станка, а по точно обработанным рельсам, устанавливаемым на неподвижном узле.

При этом тела качения (шарики) размещены в блоке качения (каретке), которая поставляется в комплекте с рельсом и с нужным заказчику заранее выполненным предварительным натягом.

Рельсы (обычно два, реже – больше) устанавливаются на неподвижном узле станка, причем точной обработки требуют только две верхние плоскости блока направляющих станины. Плоскость станины, на которые монтируются рельсы, выполняется с упорным буртом (возможно исполнение и без бурта).

Один рельс выставляется первым и является базовым, второй устанавливается «на параллельность» базовому или по упорному бурту, после чего закрепляется. Таким образом устраняются основные технологические трудности, о которых говорилось выше при рассмотрении систем направляющих с использованием «танкеток».

На каретки (обычно одна или две на одном рельсе, реже – больше) крепятся подвижные узлы станка. Рельсовые направляющие качения в настоящее время являются предпочтительным типом направляющих для наиболее производительных высокоскоростных обрабатывающих центров с ЧПУ, других типов станков особо высокой точности, высокоскоростных роботизированных систем, других машин и приборов.

Конструкции направляющих подвижных узлов в многооперационных станках отличаются большим разнообразием. Требования к направляющим определяются необходимостью повышения производительности станка и точности обработки, обусловленного повышением и улучшением следующих параметров: точности перемещения подвижного узла по заданной программой траектории и выхода в требуемую координату; плавности перемещения, особенно при малых подачах; жесткости, в том числе и динамической; демпфирующей способности; беззазорности и удобства регулировки; износостойкости и долговечности; простоты изготовления.

2.10 Компенсация систематических погрешностей в современных системах ЧПУ

Одной из основных задач, которую может решить система ЧПУ, является задача компенсации систематической составляющей погрешностей механической системы станка. Компенсация накопленной погрешности шага ходового винта, зазоров в приводе подачи, тепловых деформаций производится по определенным алгоритмам коррекции, которые отрабатываются системой ЧПУ. Таким образом достигается существенное повышение точности станка [46–51].

Для работы алгоритмов коррекции сначала производится ряд измерений погрешностей перемещения осей станка (например, при помощи лазерного интерферометра), далее по полученным данным производится заполнение внутренних таблиц системы ЧПУ, впоследствии эти данные используются алгоритмами коррекции для компенсации погрешностей.

Механическая часть привода подачи состоит из следующих элементов: двигатель, шарико-винтовая передача, подшипники и соединительный элемент, в качестве которого может использоваться, например, сильфонная муфта, или, если требуется увеличить крутящий момент двигателя, зубчатый или ременной редуктор. Каждый из этих элементов может быть выполнен с погрешностями изготовления (отклонения от прямолинейности, погрешности шага винта и т.п.). Также погрешности возникают во время сборки (несоосность соединяемых элементов, люфты (зазоры) в соединениях и т.п.). Все эти погрешности приводят к снижению точности перемещения исполнительного узла привода подачи и, соответственно, к снижению точности обрабатываемой детали. Использование системы управления позволяет «учесть» возникающие погрешности и компенсировать их значения.

Рассмотрим несколько типовых погрешностей, возникающих в механизмах приводов подачи.

Один из самых распространенных видов погрешностей – это зазоры или люфты в передаче.

Высокоточные ШВП имеют три класса преднатяга: люфтовой (без преднатяга), с преднатягом (незначительный преднатяг по четырем точкам контакта) и с прецизионным преднатягом (преднатяг с двумя точками контакта).

Преднатяг – внутренняя сила между гайкой и винтом, которая устраняет свободный осевой и радиальный люфт. Он обеспечивает повторяемость перемещений и повышенную жесткость системы. Преднатяг достигается либо с использованием двух гаек и натяжением их по отдельности, либо изменением длины окружности в одной отдельной гайке. При прецизионном преднатяге люфт между гайкой и винтом отсутствует. Преднатяг составляет порядка 10 % от величины динамической нагрузки. Обычно используются в приводах подачи, где требуется повторяемость и высокая жесткость, обеспечивающая перемещение больших нагрузок с минимальными отклонениями (рис. 2.31).

С незначительным преднатягом по четырем точкам контакта размер шариков несколько больше, чем размер канавок, что обеспечивает появление четырех точек контакта. Люфт между гайкой и винтом отсутствует. Преднатяг составляет порядка 5 % от величины динамической нагрузки. Применяется главным образом в приводах, где необходима повторяемость результатов (рис. 2.31).

В ШВП без преднатяга размер шариков меньше канавки, следовательно, появляется зазор между гайкой и винтом. Между винтом и гайкой возможен осевой люфт, что неблагоприятно сказывается на повторяемости. Нельзя контролировать момент сопротивления. Точность хода незначительна (рис. 2.31).

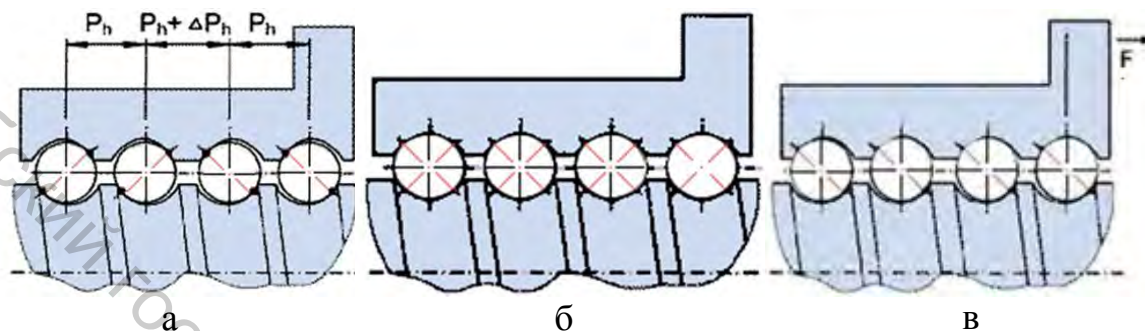


Рисунок 2.31 – Прецизионный преднатяг:

а – с двумя точками контакта, б – с четырьмя точками контакта,
в – без преднатяга

Наличие зазора в шарико-винтовой передаче приводит к тому, что в начале движения будет «мертвый» ход, до того как этот зазор будет выбран. Ситуация усугубляется тогда, когда необходимо часто менять направление перемещения по оси. В этом случае «мертвый» ход будет возникать каждый раз при смене направления перемещения вдоль оси. Поэтому очень распространенной является практика «оптимизации» перемещений по оси, когда подход к точке стараются выполнять всегда только с одной стороны.

Погрешность шага винта. Любые винтовые пары имеют погрешность шага, которая заключается в неравномерности шага винта от витка к витку. В итоге, наличие погрешности шага винта приводит к погрешности позиционирования. Для решения задачи компенсации данной погрешности применяют специальные таблицы погрешностей. При помощи лазерного интерферометра производится замер положения исполнительного органа станка через определенные расстояния. Ошибки в позиционировании, полученные при замере, заносятся в таблицу в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ читает из таблицы значение компенсации, соответствующее текущей позиции исполнительного органа, и добавляет его к необходимому перемещению. Для промежуточных точек используется значение погрешности, полученное методом интерполяции между двумя ближайшими точками измерений. Для большей точности может применяться двунаправленная компенсация, когда значения погрешностей замеряются интерферометром при перемещении оси как в одном, так и в другом направлении, и компенсируются также в разных направлениях. Точность позиционирования, обеспечиваемая системой ЧПУ, зависит от количества точек на

оси, для которых замеряется значения погрешности и от длины оси. В современных системах ЧПУ может быть занесено в память несколько сотен точек на каждую ось.

Отклонение от прямолинейности. В процессе изготовления любые направляющие будут иметь отклонения от прямолинейности, что будет приводить в процессе работы станка к перемещению по нескольким осям (двум) при заданном перемещении вдоль одной оси. Для компенсации данной погрешности при перемещении вдоль оси с определенной периодичностью при помощи индикаторов замеряется отклонение по двум другим осям. По измеренным отклонениям заполняется таблица в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ считывает значение компенсации и в соответствии с ним добавляет перемещение по двум другим осям.

Компенсация погрешностей системами ЧПУ. Наиболее распространенные системы числового программного управления компенсируют погрешности различных типов: компенсация погрешности шага ходового винта, компенсация люфтов, компенсация отклонений от прямолинейности, трехмерная компенсация положения инструмента, компенсация тепловых деформаций. Сравнительные данные о возможных компенсациях погрешностей для различных производителей СЧПУ представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнительные данные о возможных компенсациях погрешностей для различных производителей с ЧПУ

Вид погрешности	FANUC	HEIDENHAIN	SIEMENS
Погрешность люфта	+	+	+
Погрешность шага винта	+	+	+
Наклон (перекос)	+	+	+
Периодическая погрешность шага винта	+	+	+
Отклонение от прямолинейности	+	+	+
Объемная погрешность	+	-	+
Тепловые погрешности	+	+	+
Трение сцепления	-	+	-

Рассмотрим более подробно компенсацию *погрешности шага ходового винта на примере системы ЧПУ FANUC.*

При помощи лазерного интерферометра производится замер положения исполнительного органа станка через определенные расстояния. Ошибки в позиционировании, полученные при замере, заносятся в таблицу в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ читает из таблицы значение компенсации, соответствующее текущей позиции исполнительного органа, и добавляет его к необходимому перемещению. Для промежуточных точек используется значение погрешности, полученное методом интерполяции между двумя ближай-

шими точками измерений. Для большей точности может применяться двунаправленная компенсация, когда значения погрешностей замеряются интерферометром при перемещении оси как в одном, так и в другом направлении, и компенсируются также в разных направлениях. Точность позиционирования, обеспечиваемая системой ЧПУ, зависит от количества точек на оси, для которых замеряется значения погрешности, и от длины оси (рис. 2.34).

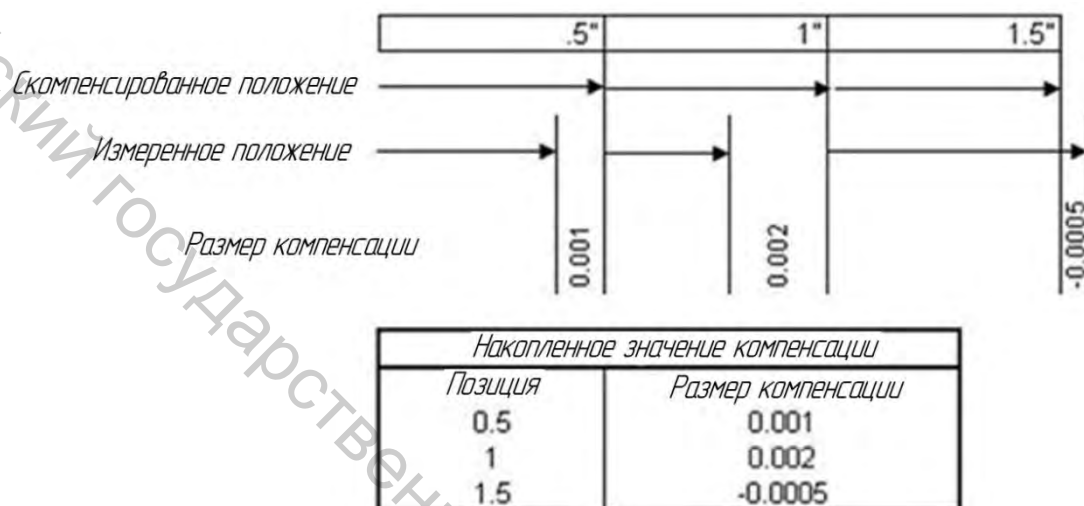


Рисунок 2.34 – Компенсация погрешности шага винта

Модуль компенсации геометрических и тепловых погрешностей в системе ЧПУ АксиОМА CTRL. Архитектура геометрической задачи системы ЧПУ типа PCNC предусматривает наличие интерпретатора, который на входе принимает управляющую программу и создает IPD-код для интерполятора, который, в свою очередь, генерирует команды управления для приводов и электроавтоматики.

Место модуля компенсации геометрических и тепловых погрешностей находится между буфером подготовленных кадров и интерполятором. Перед тем, как пойти на интерполятор, микрокоманды перемещения проходят через блок компенсации погрешностей, где происходит изменение координат перемещений в соответствии с собранными данными о геометрических погрешностях станка и тепловыми погрешностями станка.

Общая структура системы ЧПУ АксиОМА CTRL с модулем компенсации погрешности представлена на рисунке 2.35.

Решение задач компенсации геометрических и тепловых погрешностей на уровне ЧПУ обеспечивает высокую конкурентоспособность технологического оборудования, так как повышает точность и степень использования оборудования, в том числе токарно-фрезерных станков.

Также в процессе эксплуатации механическая система станка подвергается износу, однако при периодической проверке станка и обновлении таблиц, используемых алгоритмами коррекции системы ЧПУ, мож-

но добиться высокой точности перемещений в течение всего времени эксплуатации станка.

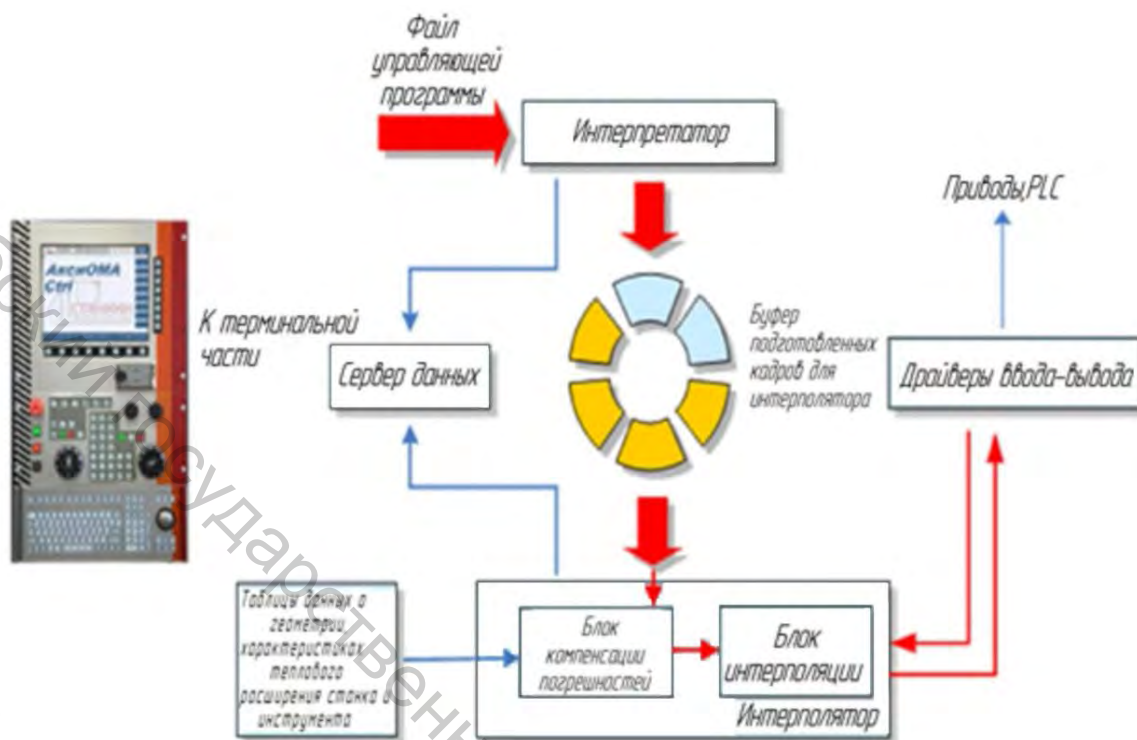


Рисунок 2.35 – Компенсация погрешности шага винта

2.11 Датчики линейных и угловых перемещений

Энкодер (преобразователь угловых перемещений) – это электронное устройство, позволяющее с необходимой точностью измерить различные параметры вращения какой-либо детали, как правило, вала электродвигателя или редуктора [52–54].

Измеряемыми параметрами могут быть: скорость вращения, угловое положение по отношению к нулевой метке, направление вращения. Фактически энкодер является датчиком обратной связи, на выходе которого цифровой сигнал меняется в зависимости от угла поворота. Этот сигнал обрабатывается и далее подается на устройство индикации или на привод.

Энкодеры широко применяются в промышленном оборудовании в ситуациях, когда необходима точная информация об объекте, который вращается или перемещается. Это может быть лента транспортера с какими-либо деталями или грузами, система измерения длины и проч. Энкодер позволяет цифровым способом узнать точную позицию детали или угол её поворота.

Существуют два вида энкодеров – *инкрементальный* и *абсолютный* (рис. 2.36).

Инкрементальный энкодер по конструкции проще абсолютного и используется в подавляющем большинстве случаев. Данное устройство можно представить как диск с прорезями, который просвечивается оптическим датчиком. При вращении диска датчик включается или выключается в зависимости от того, находится ли он над прорезью или нет. В результате на выходе энкодера формируется последовательность дискретных импульсов, частота которых зависит от разрешения устройства и частоты его вращения.

Основным минусом инкрементального энкодера является необходимость непрерывной обработки и анализа сигналов – для этого требуется контроллер и соответствующая программа. Кроме того, чтобы узнать положение инкрементального энкодера после подачи на него питания, необходимо провести инициализацию для поиска нуль-метки.

Абсолютный энкодер имеет более сложное устройство, но позволяет определить угол поворота в любой момент времени, даже в неподвижном состоянии механизма сразу после включения питания. На выходе абсолютного энкодера действует параллельный код Грея, разрядность которого определяет разрешение, а значит и точность показаний датчика.

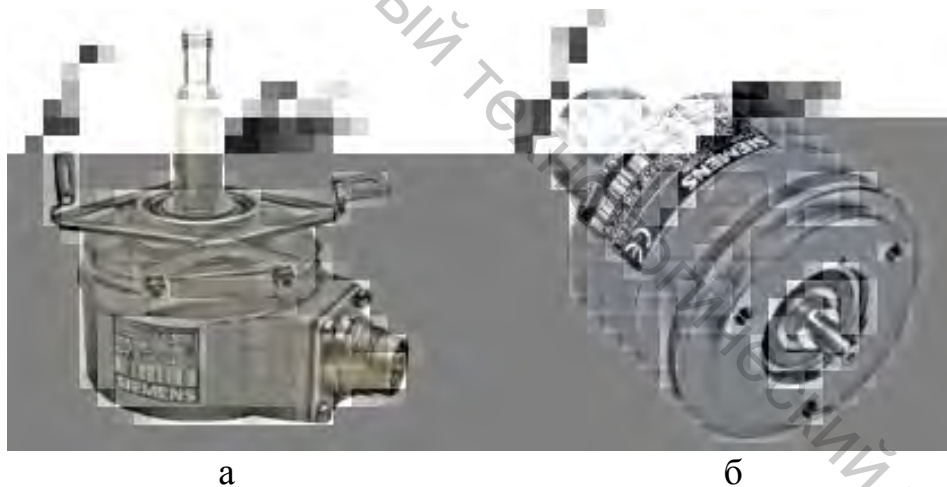


Рисунок 2.36 – Виды энкодеров:
а – инкрементальный, б – абсолютный

Абсолютные и инкрементные энкодеры широко используются в станкостроении. Энкодеры устанавливаются на приводы прокатных станков; на приводы координатных столов, продольно-резательных и поперечно-резательных (рубительных) машин, электрических задвижек, кранов, упаковочных агрегатов, лифтов; на приводах суппортов и подачи токарных станков, в современных системах автоматического складирования, в системах ЧПУ и др.

В подавляющем большинстве современных систем регулируемого привода, позиционирования и контроля углового положения используются инкрементные и абсолютные энкодеры. Определенный рынок в связи с некоторыми техническими особенностями остается за резольверами (в частности, из-за их толерантности к высоким и низким температурам: от -50°C и до $+150^{\circ}\text{C}$).

Принцип работы фотоимпульсных энкодеров – цифровой. Свет проходит от группы светодиодов к группе фотодиодов через прозрачный диск с нанесенными метками. Абсолютный энкодер имеет уникальную комбинацию меток для каждого углового положения, инкрементный – более прост: одинаковые метки равномерно распределены по всему радиусу диска.

Обычно энкодер имеет также т.н. «нулевую метку», одну – на полный оборот диска. Эта метка имеет калибровочную функцию и не всегда требуется для простых задач измерения скорости. При вращении диска, механически связанного с приводным валом, каждое прохождение метки через светодиодную пару генерирует импульс. Эти импульсы в дальнейшем обрабатываются с помощью электронных устройств (программируемых логических контроллеров, преобразователей постоянного и переменного тока для электродвигателей, счетчиков).

Абсолютные энкодеры иногда имеют встроенный редуктор, который позволяет датчику не только определять точное значение углового перемещения в пределах одного оборота вала, но и отсчитывать количество оборотов вала (обычно с дискретностью 12 бит, т.е. 4096 оборотов вала). Данные абсолютные энкодеры, которые называются «абсолютными многооборотными», часто используются в прецизионных червячных приводах подачи.

Основным же преимуществом абсолютного энкодера над инкрементным является функция сохранения текущего значения углового перемещения вне зависимости от того, подано питание на датчик или нет.

Питание датчиков в основном осуществляется постоянным током 5В или 24В.

Функциональными особенностями инкрементных и абсолютных энкодеров обусловлено различие между ними в цене. Из-за более сложной технологии нанесения меток на диск, а также из-за необходимости передавать большее количество данных (с соответствующим усложнением электроники) стоимость среднего абсолютного энкодера в 1,4–2 раза превышает стоимость инкрементного аналога.

Нельзя также не упомянуть широкую сферу применения энкодеров в современном сервоприводе. Но сервопривод является совершенно особым устройством, заслуживающим отдельной статьи. Отметим лишь, что в основном в сервоприводах крупнейших производителей используются абсолютные однооборотные энкодеры с разрешением 17 бит (131072 положения на оборот).

Основные параметры, необходимые для выбора датчиков угловых перемещений:

- количество импульсов на оборот (обычно от 1 до 5000), количество бит для абсолютных энкодеров (обычно 10, 12, 13, 25);
- вал или отверстие под вал (укажите также диаметр вала или отверстия);
- тип выходного сигнала (HTL, TTL, RS422, двоичный код и код Грея, SSI, Profibus DP, CAN...);
- напряжение питания;
- длина кабеля/тип разъема;
- дополнительные требования по крепежу (необходимость муфты, монтажного фланца, крепежной штанги и др.).

Необходимость точной центровки при установке датчиков – главное требование для обеспечения долговременной их службы. Исполнение энкодера с валом предусматривает установку прецизионной муфты, которая должна демпфировать три параметра: угловое отклонение, осевое биение и несоосность валов при установке. Жесткое соединение валов обычно не допускается, т.к. может привести к существенному сокращению срока службы, из-за износа подшипников. Энкодер с валом должен крепиться к специально изготовленному фланцу.

Исполнение датчика с полым ротором исключает использование муфты и фланца. Энкодер монтируется прямо на нерабочий конец вала двигателя и закрепляется от проворота за валом с помощью крепежной штанги, которая дает энкодеру необходимую подвижность для компенсации углового отклонения.

Нужно отметить, что из соображений удобства установки сейчас все большее распространение получают энкодеры с полым валом. Срок службы хорошего современного датчика при правильной установке и подключении, а также средней скорости вращения приводного вала 1500 об/мин, – должен составлять не менее 50000 часов, т.е. почти 6 лет. Установка энкодера не в соответствии с требованиями производителя может привести к значительному сокращению службы датчика из-за износа подшипников. Любые другие воздействия, выходящие за рамки спецификации, как, например, удары по корпусу, сильная вибрация, перегрев/переохлаждение, также могут повлиять на срок службы энкодера.

Любой датчик движения, вне зависимости от принципа действия, предназначен для преобразования линейного перемещения в цифровой или аналоговый сигнал, который затем поступает к электронному блоку измерения или срабатывания. От принципа действия зависит точность измерения. Часто нет необходимости в замере конкретной величины перемещения. Например, в охранных системах достаточно просто определить наличие перемещения в зоне контроля. Эти приборы получили название датчиков движения. От них не требуется высокая точность за-

мера величины. Поэтому дешевые емкостные, оптические или индукционные устройства здесь наиболее распространены.

В промышленно-производственных системах автоматического управления требуется измерение величины перемещения. Причем измерение (например, в станках с числовым программным управлением) должно быть проведено с высокой точностью и осуществляется или непрерывно, или дискретно – через определенные промежутки времени. В этом случае наибольшее распространение получили *магнитострикционные приборы*.

Датчики линейного перемещения имеют несколько классификационных уровней, но основным является принцип действия, который определяет функциональное назначение и область использования приборов. По принципу действия приборы контроля и измерения перемещений можно разделить на: емкостные, оптические (оптоэлектронные), индукционные, датчики магнитострикционного типа, ультразвуковые, резистивные, магниторезистивные и потенциометрические.

Простейший *емкостный датчик* (рис. 2.37) по своей конструкции напоминает конденсатор. При движении контролируемого объекта его емкость может изменяться путем изменения величины зазора между пластинами. Изменения взаимного положения пластин и, как следствие этого, увеличения (уменьшения) зоны взаимного перекрытия. Изменения диэлектрической проницаемости изолирующего слоя. При изменении емкости устройства эта величина может сама по себе служить сигналом, передаваемым к электронным блокам управления, а может включать генератор импульсов, которые более просто поддаются дальнейшей обработке. Наибольшее распространение емкостные устройства контроля перемещения нашли в качестве источника сигнала в системах контроля заполнения резервуаров жидким или порошкообразным продуктом; как прибор, контролирующий начало–окончание рабочего хода исполнительного органа робототехнических систем и автоматических станков и линий; для позиционирования различных объектов; как обычный конечный бесконтактный выключатель; в системах контроля и охранной сигнализации как «датчик присутствия». К их достоинствам, по сравнению с устройствами, использующими другой принцип действия, можно отнести: упрощенную технологию массового производства, с использованием недорогих, широко распространенных материалов; высокую чувствительность при малом энергопотреблении; компактные размеры и незначительный вес; долговечность, простоту и надежность эксплуатации; простоту адаптирования устройства к решению различных задач и возможность встраивания в любую конструкцию. Основными факторами, сдерживающими широкое применение в высокоточных системах управления, являются: относительно низкий коэффициент преобразования; необходимость тщательной экранировки

элементов датчика; повышение точности работы прибора на более высоких частотах по сравнению с промышленной частотой в 50,0 герц.

Сигнал в *индукционных датчиках* формируется за счет изменения индуктивности катушки. Приборы этого типа отличаются высокой точностью, при незначительных габаритах. Индукционные приборы контроля способны проводить измерения дистанционно, а по типу их подразделяют на простые и дифференциальные. Одно из конструктивных исполнений этих устройств представляет собой трансформатор, сердечник которого имеет возможность передвигаться. При перемещении сердечника индуктивность катушки меняется и это изменение является сигналом. Значение индуктивности изменяется пропорционально уровня перемещения сердечника. Если контроль перемещения осуществляется в отношении ферромагнитных объектов, то сердечник не требуется. Деталь, попадая в поле электромагнитного излучения катушки, меняет ее индуктивность и формирует управляющий сигнал. Контролирующие датчики индукционного типа нашли широкое применение в станках с программным управлением, бесконтактных системах охраны и для фактического измерения перемещения, с отчетом его значения по цифровой шкале или с выводом информации на экран жидкокристаллического дисплея.

Оптические и оптоэлектронные приборы контроля перемещений. Наибольшее распространение для контроля движения и измерения расстояния получили оптические триангуляторы, являющиеся по своей сути обычным оптическим (лазерным) дальномером. Для контроля малых изменений линейных величин применяются приборы с поляризационной решеткой. К достоинствам этой категории приборов можно отнести: реализацию бесконтактного контроля; высокую точность; практически мгновенно формирование управляющего сигнала (отсутствие времени задержки срабатывания). Недостатками высокоточных оптических датчиков считаются: значительная стоимость; критичность к условиям окружающей среды.



Рисунок 2.37 – Примеры датчиков:
а – емкостной, б – оптический, в – индукционный

Магнитострикция была обнаружена только в ферромагнитных материалах, таких как железо, никель, кобальт и их сплавах [54–56]. Основой принципа магнитострикции являются магнитомеханические свойства этих материалов. Например, если ферромагнетик находится в области магнитного поля, то оно вызывает микроскопическую деформацию его структуры, что приводит к изменению физических размеров ферромагнетика. Такое поведение объясняется существованием бесчисленного количества маленьких элементарных магнитов, из которых состоит ферромагнитный материал. Они будут стремиться установиться параллельно друг другу в пределах ограниченных пространственных областей, уже без внешнего магнитного поля. В этих так называемых доменах все элементарные магниты направлены одинаково. Но первоначальное распределение доменов хаотично и снаружи ферромагнитное тело кажется немагнитным. При приложении магнитного поля домены выстраиваются по направлению этого поля и выравниваются параллельно друг другу. Таким образом получаются собственные магнитные поля, которые могут превосходить внешнее магнитное поле в сотни раз.

Например, если стержень из ферромагнитного сплава поместить в магнитное поле, параллельное его оси, то стержень испытает механическую деформацию и получит линейное удлинение. На рисунке 2.38 а показана иллюстрация магнитных доменов в ферромагнитном стержне (1 – без внешнего магнитного поля, 2 – после приложения внешнего магнитного поля). В реальности удлинение посредством магнитострикционного эффекта очень мало.

Магнитострикционный эффект обуславливается совокупностью магнитных и механических свойств ферромагнитных материалов, соответственно, его можно оптимизировать посредством создания специальных сплавов и управлять с помощью направленного действия внешнего магнитного поля (рис. 2.38 б).

Мировыми лидерами в разработке и производстве магнитострикционных датчиков линейных перемещений являются компании *Balluff* (датчики перемещения под маркой *Micropulse*) и *MTS Sensors* (датчики *Temposonics*). В промышленных измерительных системах *Micropulse* и *Temposonics* используется магнитострикционный эффект, который называется эффект Видемана. Он описывает механическую деформацию (скручивание) длинного, тонкого ферромагнитного стержня, который находится под воздействием двух магнитных полей: внешнего и внутреннего, создаваемого проводником, по которому протекает электрический ток. В датчиках линейных перемещений *Balluff Micropulse* внешнее магнитное поле создается позиционным магнитом, которое при пересечении с concentрическим магнитным полем, создаваемым электрическим током, вызывает механическую деформацию в небольшой области измерительного элемента в форме стержня. Так же в датчиках *Micropulse* используется так называемый магнитоупругий эффект (или

эффект Виллари). Он связан с изменением магнитных свойств ферромагнетика, например, намагниченности ферромагнитного бруска, которое вызывается продольной деформацией.

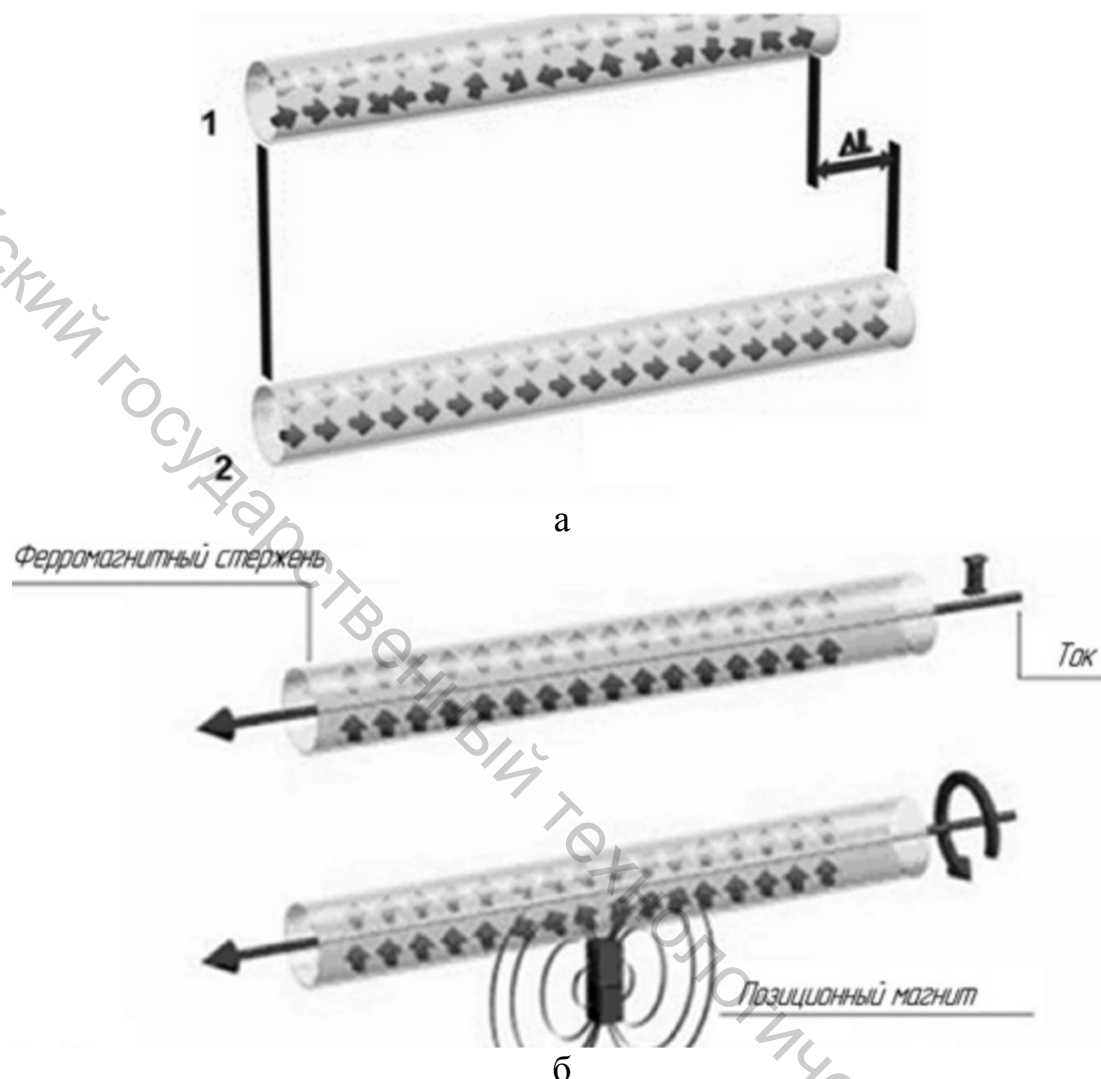


Рисунок 2.38 – Иллюстрация магнитострикционного эффекта

Чтобы превратить изложенные выше физические основы в надежно работающую измерительную систему, была предложена конструкция датчика, представленная на рисунке 2.39. Датчик линейных перемещений Micropulse состоит из 5 основных частей:

- измерительный элемент (волновод);
- электроника датчика;
- позиционер в виде постоянного магнита;
- преобразователь торсионного импульса;
- демпфирующая часть (на конце стержня, в которой гасится вторая часть торсионного импульса).

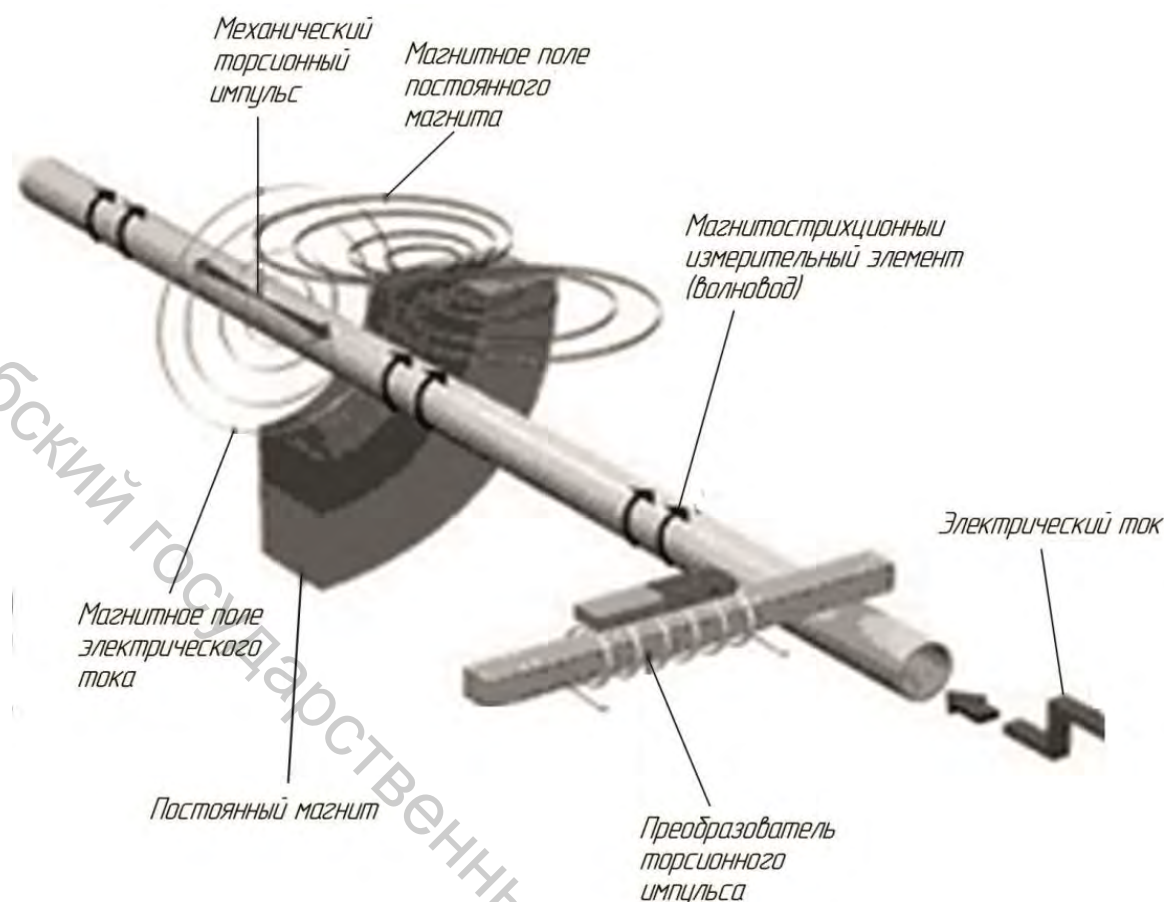


Рисунок 2.39 – Принцип работы датчика

«Стержнем» измерительной системы является ферромагнитный измерительный элемент, использующийся как волновод, по которому распространяется торсионная ультразвуковая волна до преобразователя импульсов. Измеряемая позиция определяется положением постоянного магнита, который окружает волновод. Этот магнит создает магнитное поле в волноводе и связан с объектом измерения. Здесь нужно подчеркнуть, что между позиционером (магнитом) и измерительным элементом (волноводом) полностью отсутствует механическая связь. Это гарантирует очень долгий срок службы датчиков Баллуфф Micropulse (MTS Temposonics) на основе этого принципа измерения. Волновод в сенсорах линейных перемещений Micropulse имеет наружный диаметр 0,7 мм, а внутренний – 0,5 мм. Медный проводник проходит по всей длине волновода.

Измерительный процесс инициируется коротким импульсом тока, который посылается из электронной части сенсора по медному проводнику. При перемещении импульса возникает радиальное магнитное поле вокруг волновода. При пересечении с магнитным полем постоянного магнита-позиционера, возникает, согласно эффекту Видемана, пластическая деформация магнитострикционного волновода, которая является высокочастотным процессом, вследствие скорости токового импуль-

са. Из-за этого возникает ультразвуковая торсионная волна, которая распространяется от места возникновения в оба конца волновода, однако в одном из концов она полностью гасится и, таким образом, помехи и искажения сигнала исключаются. Скорость распространения этой волны в волноводе составляет 2830 м/с, и на нее практически не оказывают никакого влияния внешние факторы (загрязнения, температура, удары и т.д.). Детектирование и обработка торсионного импульса происходит на другом конце волновода в специальном преобразователе. Преобразователь торсионных импульсов состоит из расположенной поперек волновода и жестко связанной с ним полосы из магнитострикционного металла, детектирующей катушки индуктивности и одного неподвижного постоянного магнита.

В преобразователе торсионного импульса сверхзвуковая волна вызывает изменение намагниченности металлической полосы согласно эффекту Виллари, уже упоминавшемуся. Следующее из этого временное изменение поля постоянного магнита индуцирует электрический ток катушке индуктивности. Этот возникающий электрический сигнал окончательно обрабатывается электроникой датчика. Точное определение позиции получается измерением времени между стартом токового импульса и времени возникновения ответного электрического сигнала, которое определяется в преобразователе торсионных импульсов при детектировании ультразвуковой волны.

При кажущейся внешней сложности принципа измерения, на котором созданы датчики линейных перемещений Balluff Micropulse, очевидно несколько преимуществ, которыми они обладают: измерять расстояние можно с наивысшей точностью; металлические магнитострикционные материалы обладают долговременными и очень стабильными параметрами; благодаря специальному дизайну и конструкции датчика вся измерительная система надежно защищена от внешних воздействий, например, от вибрации станков. Из суммы этих преимуществ получаем высокоточные датчики перемещения Balluff Micropulse, обладающие высочайшей повторяемостью измерений и очень большой надежностью.

Воплощение магнитострикционного принципа в измерительную систему, удовлетворяющую суровым требованиям промышленного производства, ставит высокие требования к возможностям и компетенции производителя датчиков. Инженеры Balluff обладают фундаментальными физическими знаниями по магнитострикционным материалам, накопленными за десятилетия лабораторных опытов. Например, были детально исследованы различные варианты схемы преобразователя торсионных импульсов, которые представлены на рисунке 2.40. При этом оказалось, что оптимальная конструкция преобразователя должна быть такой, как на варианте 3. Именно так получается наиболее уверенный и точный сигнал, так как регистрируется только торсионная часть

механической волны, а продольные колебания не оказывают влияния на результат измерения. Применение торсионных волн и регистрирующей системы, которая реагирует только на торсионную (скручивающую) волну, позволяет не бояться влияния вибрации на процесс измерения, так как торсионный импульс нельзя вызвать внешней механической вибрацией. Для того, чтобы все физические процессы принципа измерения могли протекать без влияния со стороны внешних воздействий, производитель использует специальные механическую конструкцию корпуса и электронную схему при обработке сигнала. Причем в каждом поколении магнитострикционных датчиков Balluff конструкция и схема совершенствуются и развиваются, находясь на самом современном уровне.

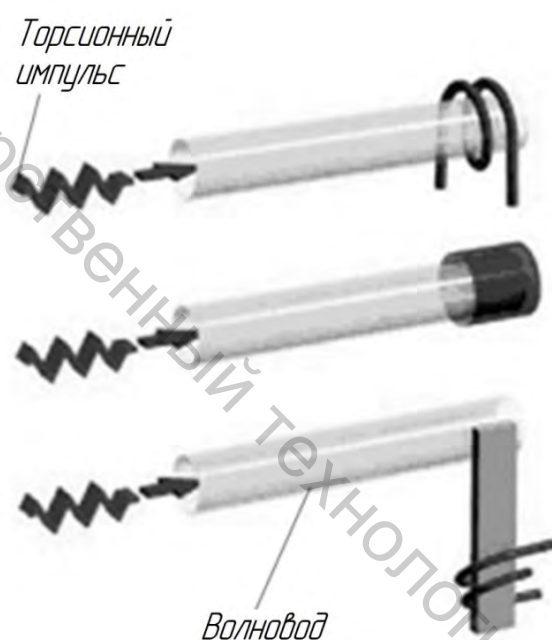


Рисунок 2.40 – Варианты конструкции преобразователя

2.12 Системы управления станками

В современных станках ручное управление часто сочетается с цифровой индикацией информации (или отображением ее на дисплее), поступающей от датчиков положения исполнительных органов [57–58].

Автоматическое управление заключается в том, что решение об исполнении элементов рабочего цикла принимает СУ без участия оператора. Она же выдает команды на включение и выключение исполнительных органов станка и задание их режимов работы.

По функциональному назначению автоматическое управление можно разделить следующим образом:

1. Управление неизменяемыми повторяющимися циклами обработки. Например, управление агрегатным станком, выполняющим фрезерные, сверлильные, расточные и резбонарезные операции путем осуществления цикловых движений многошпиндельных силовых головок.

2. Управление изменяемыми автоматическими циклами (цикловое программное управление), которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т.д.). Примерами таких СУ являются системы управления копировальных станков: токарных, фрезерных, многошпиндельных токарных автоматов и др.

3. Числовое программное управление (ЧПУ), при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации. На ранних этапах развития ЧПУ эту информацию задавали в аналоговой форме (в виде сдвига фазы некоторого напряжения по отношению к опорному напряжению), в последнее время эти системы управления являются исключительно дискретными, и ее обработка в процессе работы осуществляется цифровыми методами. Системами ЧПУ оснащаются современные станки всех технологических групп.

Системы управления технологическими циклами обработки традиционно строились на базе либо логических переключающих схем, либо электромеханических кулачковых командоаппаратов, нажимающих в нужной последовательности электрические контакты, подающие соответствующие команды в электрические исполнительные цепи. Задающий кулачковый вал такого командоаппарата может вращаться либо с постоянной частотой (синхронно с движением главного привода), либо в старт-стопном режиме, когда вращение включается лишь по сигналу о выполнении заданных перемещений. Для перепрограммирования схем коммутации исполнительных электрических цепей широко применялись коммутационные панели со вставными штекерами. В настоящее время управление технологическими циклами практически повсеместно осуществляется с помощью программируемых логических контроллеров, реализуемых на основе принципов цифровых электронных вычислительных устройств.

Системы управления на основе моделей аналогов можно разделить на две группы. К первой относятся так называемые СУ прямого действия незамкнутого типа. В них моделью-аналогом перемещения исполнительного органа является профиль копира, например, силового кулака, перемещающего этот орган посредством кинематической цепи, СУ вертикальных многошпиндельных токарных автоматов с заданием программы от кулаков барабанного типа.

Ко второй группе относятся копировальные СУ замкнутого типа. Для них характерно наличие двух потоков информации и промежуточной (между копиром и исполнительным органом) следящей системы,

обычно гидравлического типа. Прямой поток информации от копира поступает в следящую систему, где сравнивается с обратным потоком, поступающим по контуру обратной связи от датчиков станка и характеризующим фактическое положение исполнительного органа. Следящая система обеспечивает минимальное рассогласование между заданным (от копира) и фактическим положением исполнительного органа. Примером являются СУ, широко распространенные на токарных гидрокопировальных автоматах для обработки фасонных валиков, где модель-аналог, задающая программу, имеет вид плоского копира, соответствующего (в ряде случаев – в определенном масштабе) осевому сечению изготавливаемой детали.

Системы ЧПУ представляют собой наиболее динамично развивающуюся группу СУ, которая приобрела в настоящее время приоритетное значение и практически вытесняет другие типы систем автоматического управления.

По техническому назначению и функциональным возможностям системы ЧПУ делятся на следующие группы:

- позиционные, в которых задают только координаты конечных точек положения исполнительных органов после выполнения ими тех или иных элементов рабочего цикла;
- контурные, или непрерывные, которые управляют движением исполнительного органа по заданной криволинейной траектории;
- универсальные (комбинированные), в которых осуществляется программирование как перемещений при позиционировании, так и движения исполнительных органов по траектории, а также смены инструментов и загрузки-выгрузки заготовок.

Примером применения систем ЧПУ первой группы являются сверлильные, расточные, координатно-сверлильные и координатно-расточные станки. Примером второй группы служат системы ЧПУ различных токарных, фрезерных и шлифовальных станков. К третьей группе относятся системы ЧПУ различных многоцелевых токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков (известных также как «обрабатывающие центры»). К этой же группе можно отнести системы ЧПУ, получившие название «блок-центры» или «агрегат-центры». На таких станках по программе осуществляется не только смена отдельных инструментов и инструментальных комплектов, но и поиск и смена сверлильно-расточно-резьбонарезных шпиндельных головок из магазина. Подобные станки сочетают производительность агрегатных станков с гибкостью станков с ЧПУ.

По способу подготовки и ввода управляющей программы (УП) системы ЧПУ делятся на так называемые оперативные системы (в этом случае УП готовится и редактируется непосредственно на станке в процессе обработки первой детали из партии или имитации ее обработки) и системы, для которых УП может выполняться либо с помощью средств

вычислительной техники, входящих в состав системы ЧПУ данного станка, либо вне ее (вручную или с помощью системы автоматизированного проектирования).

Системы ЧПУ отдельных станков должны обеспечивать работу в автоматическом, наладочном и стоп-стартовом режимах.

При работе в наладочном режиме осуществляются отдельные элементы рабочего цикла непосредственно по командам наладчика оператора, который сам определяет их необходимость и целесообразную последовательность выполнения. В стоп-стартовом режиме УП отрабатывается по кадрам с остановкой после каждого кадра. Для продолжения обработки УП необходима подача команды оператором.

В автоматическом режиме УП после пуска отрабатывается до конца. Для обработки каждого кадра в систему ЧПУ должна поступать следующая информация: признаки перемещения исполнительных органов по тем или иным осям координат, кодовое значение подачи, кодовое значение частоты вращения шпинделя, признаки разгона и торможения исполнительных органов, признаки их быстрого хода, признаки направления движения по дуге, координаты начальных и конечных перемещений по осям, технологические и вспомогательные команды и некоторые другие данные.

Для формирования импульсных воздействий на приводы подач в системе ЧПУ выполняется *интерполяция*. Ее функция состоит в том, чтобы на основании значений координат в начале и конце программируемого отрезка траектории движения исполнительного органа определить значения координат для всех его промежуточных положений внутри этого отрезка. Наиболее распространены два вида интерполяции – линейная и круговая, а среди методов ее реализации – метод оценочной функции.

Линейная интерполяция состоит в аппроксимации отрезка траектории, не совпадающего с направлениями осей координат, ломаной линией, отрезки которой параллельны этим осям. Задача состоит в том, чтобы во время паузы во время очередного элементарного движения вдоль одной из осей определить направление следующего элементарного движения таким образом, чтобы отклонение от заданного отрезка траектории было минимальным.

Кроме интерполяции, для систем ЧПУ характерны функции управления разгоном, торможением, быстрыми ходами; задания скоростей подач и частоты вращения шпинделей; управления сменой инструментов и заготовок; визуализации информации и ведения диалога с оператором, а в ряде случаев подготовки, хранения и редактирования УП, диагностирования станка и самодиагностирования, выполнения элементов адаптивного управления и др.

Кроме рассмотренных выше СУ отдельными станками, в настоящее время существуют системы, объединяющие в технологически еди-

ные комплексы группы станков и другого оборудования, которые могут быть конструктивно различными.

Существует два типа таких систем. К первому относятся СУ автоматических линий (АЛ), ориентированных на выпуск изделий одного наименования либо за весь период эксплуатации (непереналаживаемые АЛ), либо за период между двумя остановками на переналадку (переналаживаемые АЛ). Ко второму относятся СУ с многономенклатурным производством с одновременным запуском нескольких наименований изделий в обработку, которая осуществляется на гибких автоматизированных технологических комплексах на базе станков с ЧПУ (так называемых гибких производственных системах – ГПС).

Наиболее законченными, с эксплуатационной и функциональной точек зрения, являются автоматизированные системы управления (АСУ) той разновидности гибких комплексов, которую принято называть гибкими автоматизированными участками (ГАУ). Эти системы в составе компьютеризированного интегрированного производства могут рассматриваться как абоненты нижнего уровня (АСУП). АСУП и АСУ ГАУ обмениваются управляющими директивами через взаимодоступную информационную базу.

Для АСУ ГАУ из АСУП поступают следующие сведения: информация о потребности участка сборки в деталях, изготавливаемых на данном ГАУ; графики выпуска деталей отдельными ГАУ; план по номенклатуре деталей для всех ГАУ; сличительная ведомость по ГАУ, технологическим потокам и т.д.; число деталей для каждого ГАУ, потока, необходимое для выполнения производственной программы.

Для АСУП из АСУ ГАУ поступает следующая информация: сведения о загрузке оборудования по периодам планирования; данные о приеме-сдаче деталей, о браке, потерях и дефиците деталей на складе, об остатке деталей на начало месяца, о незавершенном производстве по отдельным ГАУ; данные о движении деталей между участками и складами за месяц; ежедневная сводка о сдаче продукции всеми ГАУ; сводка о невыполненных плановых заданиях по всем ГАУ, потокам и т.д.

Если АСУП на предприятии отсутствует, обмен указанными данными осуществляется между АСУ ГАУ и традиционными планово-управляющими и смежными службами предприятия.

АСУ ГАУ представляет собой иерархическую трехуровневую систему. На ее высшем, оперативно-организационном, уровне осуществляются оперативно-календарное планирование, учет хода производства и автоматизированная технологическая подготовка производства, включая подготовку УП для станков с ЧПУ. На среднем, оперативно-диспетчерском, уровне реализуется координация функционирования рабочих позиций и управления материальными потоками. Наконец, на низшем, оперативно-технологическом, уровне обеспечиваются программное управление отдельными единицами производственного обо-

рудования, исполнительными устройствами, средствами автоматизации и взаимоувязка из производственных циклов.

Для описания АСУ ГАУ, наряду с функциональной структурой, представляющей собой совокупность функций и взаимосвязей между ними, используют и другие виды структур: техническую, организационную, алгоритмическую, программную и информационную.

В АСУ ГАУ, различающихся по уровню автоматизации, могут быть фактически реализованы различные наборы функций. Безусловно, необходим лишь минимальный набор функций, связанных с обеспечением нормальной работы оборудования; ряд других функций, повышающих степень автоматизации и относящихся главным образом к подготовке производства, во многих случаях может выполняться вне ГАУ.

2.13 Вопросы для самоконтроля

1. Опишите основные принципы высокоскоростной обработки.
2. Перечислите области применения высокоскоростной обработки.
3. Каковы особенности режущего и вспомогательного инструмента для высокоскоростной обработки?
4. Опишите мероприятия для снижения мощности холостого хода быстроходных станков.
5. Какие технические требования должен обеспечивать высокоскоростной шпиндель?
6. Перечислите основные задачи, подлежащие решению при конструировании высокоскоростного шпинделя.
7. Какие достоинства и недостатки имеет высокоскоростной шпиндель с ременной передачей?
8. Каковы особенности конструкций мотор-шпинделей?
9. Опишите решения для защиты подшипников и высокоскоростного шпинделя в целом.
10. Охарактеризуйте системы автоматической смены инструмента высокоскоростного шпинделя.
11. Что обеспечивает использование устройств автоматизированного отвода стружки на металлорежущих станках?
12. Дайте определение понятиям статической и динамической жесткости.
13. Какие Вам известны методы борьбы с вибрациями при обработке на станках?
14. На какие группы делятся современные СОЖ?
15. Опишите способы подвода СОЖ в зону резания.
16. Изобразите схемы подачи СОЖ при шлифовании.

17. Дайте характеристику газообразным охлаждающим средам и твердым смазкам.

18. От чего зависит выбор способа бесступенчатого регулирования скоростей движений при конструировании станка?

19. Каковы недостатки традиционных приводов линейных перемещений?

20. Назовите разновидности (типы) линейных электродвигателей.

21. Каковы преимущества применения линейных двигателей перед схемами с серводвигателями?

22. Как устроен линейный двигатель?

23. Каково критическое место линейных двигателей?

24. Какие типы направляющих применяются в современных станках?

25. Каким образом осуществляется компенсация систематических погрешностей в станках?

26. Опишите область применения и принцип работы энкодеров.

27. Как классифицируются датчики линейных перемещений по принципу действия?

28. Как классифицируются системы управления станками по функциональному назначению?

29. Каким образом осуществляется управление станком в случае применения системы управления изменяемыми автоматическими циклами?

30. Приведите примеры применения позиционных, контурных и универсальных систем ЧПУ.

31. Что представляет собой АСУ ГАУ?

3 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МНОГОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Инструментальные магазины

В современных обрабатывающих центрах закладывается возможность одновременного размещения большого числа (до 200 единиц), разнообразных по конструкции (расточных головок, фрез, свёрл и т.п.) и по назначению (режущих и контрольно-измерительных) инструментов [59–66].

Инструменты размещаются в револьверных головках (магазинах) и инструментальных магазинах поворотного (дисковые и барабанные), цепного и стеллажного типов.

В револьверной головке (РГ) шпиндель и накопитель инструментов находятся в одном механизме. Смена инструментов в РГ происходит быстро и просто. Револьверные головки нашли широкое применение в обрабатывающих центрах токарного типа. В обрабатывающих центрах фрезерно-сверлильно-расточной группы они не нашли широкого применения по следующим причинам:

- малая ёмкость (вместимость не более 6–8 инструментов);
- невысокая жёсткость конструкции, снижающей точность обработки;
- значительные габариты шпиндельной бабки с РГ;
- ограниченность вертикального хода инструмента в рабочей позиции.

Дисковые магазины (рис. 3.1 а) служат для размещения сравнительно небольшого числа инструментов, обычно не более 30. Барабанные отличаются от дисковых способом размещения инструментов и конструктивным исполнением.

Магазин поворотного типа (рис. 3.2) конструктивно схож с револьверной головкой и представляет собой диск или барабан, на периферии которых в специальных гнездах размещаются инструменты. Отличие – в более плотной упаковке (большей вместимости) инструментов (до 30 и более) и в *раздельном исполнении от шпинделя станка*.

Цепные (ленточные, гусеничные) магазины имеют большую ёмкость (60...100 инструментов и более) и могут быть вертикальными (рис. 3.1 б), горизонтальными (рис. 3.1 в), наклонными, прямоугольными, треугольными, квадратными (рис. 3.1 г) и более сложной (рис. 3.1 д, е) формы. Это обеспечивает компактность и возможность легкого доступа к магазину для загрузки инструментов.

Используются также многоярусные дисковые и барабанные магазины большой емкости (рис. 3.1 ж), имеющие, однако, значительные габариты и сложную конструкцию.

Магазин цепного типа конструктивно представляет собой цепной транспортёр (рис. 3.3), шаг которого определяется диаметром инструментов, а его длина – ёмкостью накопителя. Вместимость магазина может достигать 60 и более инструментов.

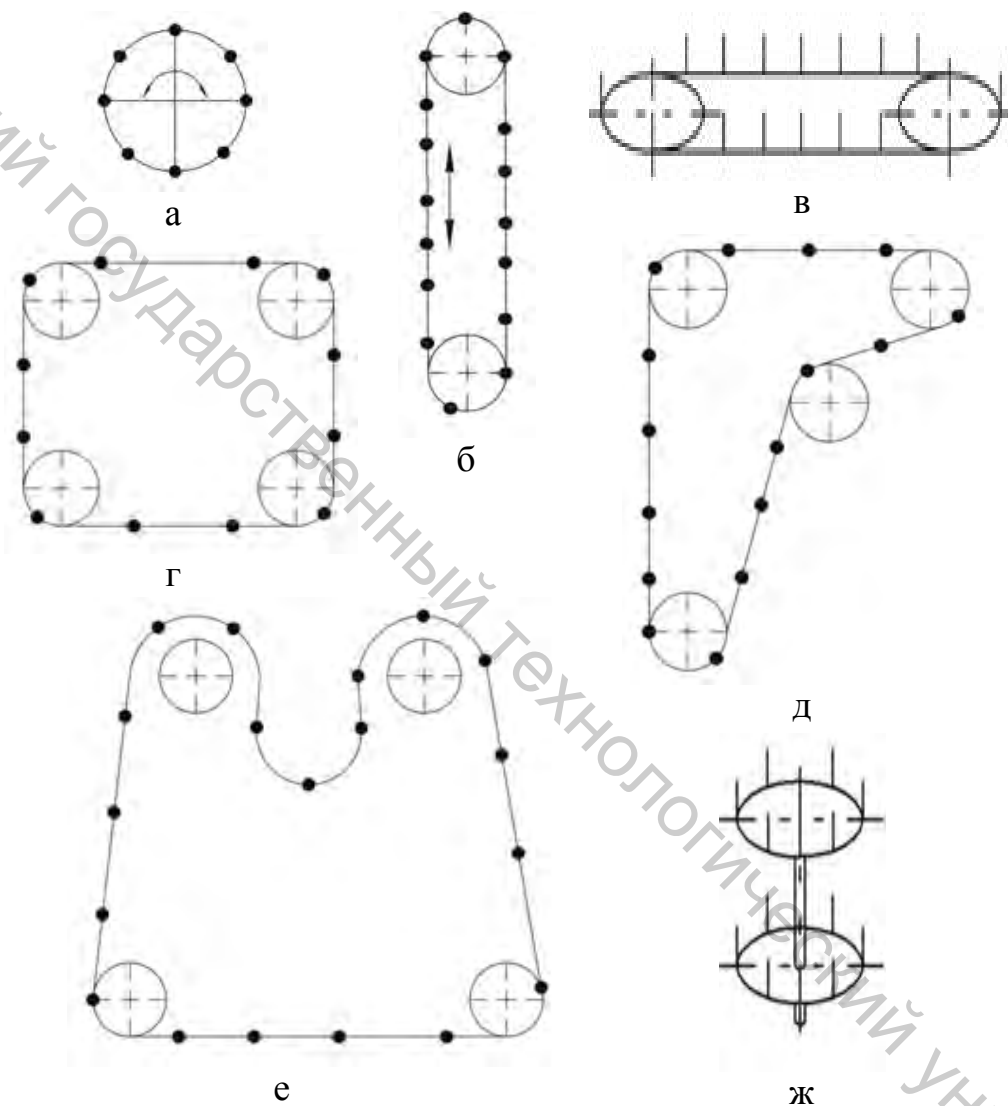


Рисунок 3.1 – Типы инструментальных магазинов

Магазин стеллажного (или кассетного) типа (рис. 3.4) представляет собой вертикальную или горизонтальную плиту с рядами гнезд под инструмент. Данная конструкция обеспечивает самую плотную упаковку, но усложняет поиск инструмента. В первых двух типах магазинов поиск осуществлялся одним движением, в третьем – двумя.

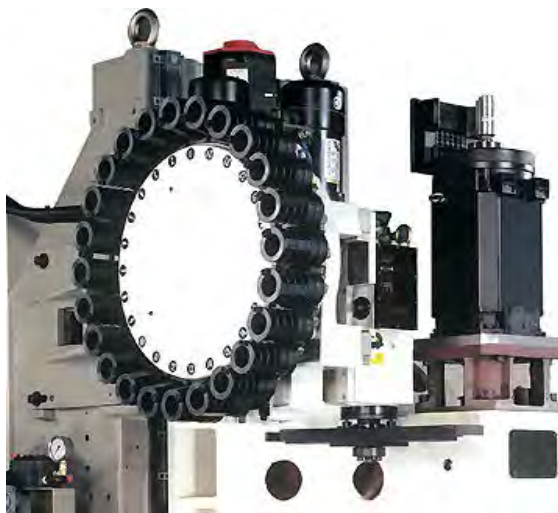


Рисунок 3.2 – Магазины поворотного типа

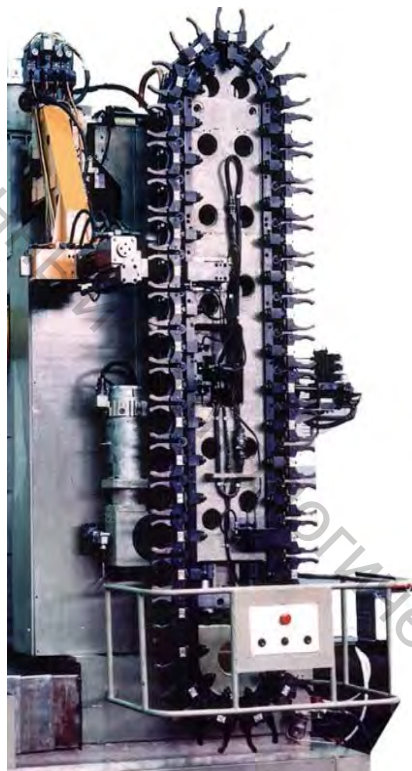


Рисунок 3.3 – Магазины цепного типа

Иногда применяются комбинированные накопители инструментов, обычно инструментальный магазин применяется в сочетании с револьверной головкой.

На рисунке 3.5 приведена конструкция дискового инструментального магазина многоцелевого станка с расположением инструмента на его периферии.

Корпус 3 магазина установлен на шарикоподшипниках 2 оси 1. На этой же оси смонтирована плита 4 бесконтактными конечными выключателями 5 и 6, которые при проходе через них поводков 7, закрепленных на вращающемся корпусе магазина, подают команду на установку вращения магазина в нужной позиции по команде от устройства ЧПУ. Хвостовики с инструментами расположены в гнездах 9 магазина, их выпадение предотвращается специальной скобой, а поворот – фиксатором 8. Поворот инструментального магазина осуществляется гидромотором 13 через зубчатые колеса 12, 11, и 10 (с внутренним зацеплением).

Фрагмент конструкции цепного магазина приведен на рисунке 3.6. Гнезда 1, 2 и т.д., в которых устанавливается инструмент, закреплены на цепи 3 магазина, натяжение которой производится винтами 4 и 5. Фиксация инструмента 8 в инструментоносителях осуществляется поворотным фиксатором 7 от подпружиненного упора 6.

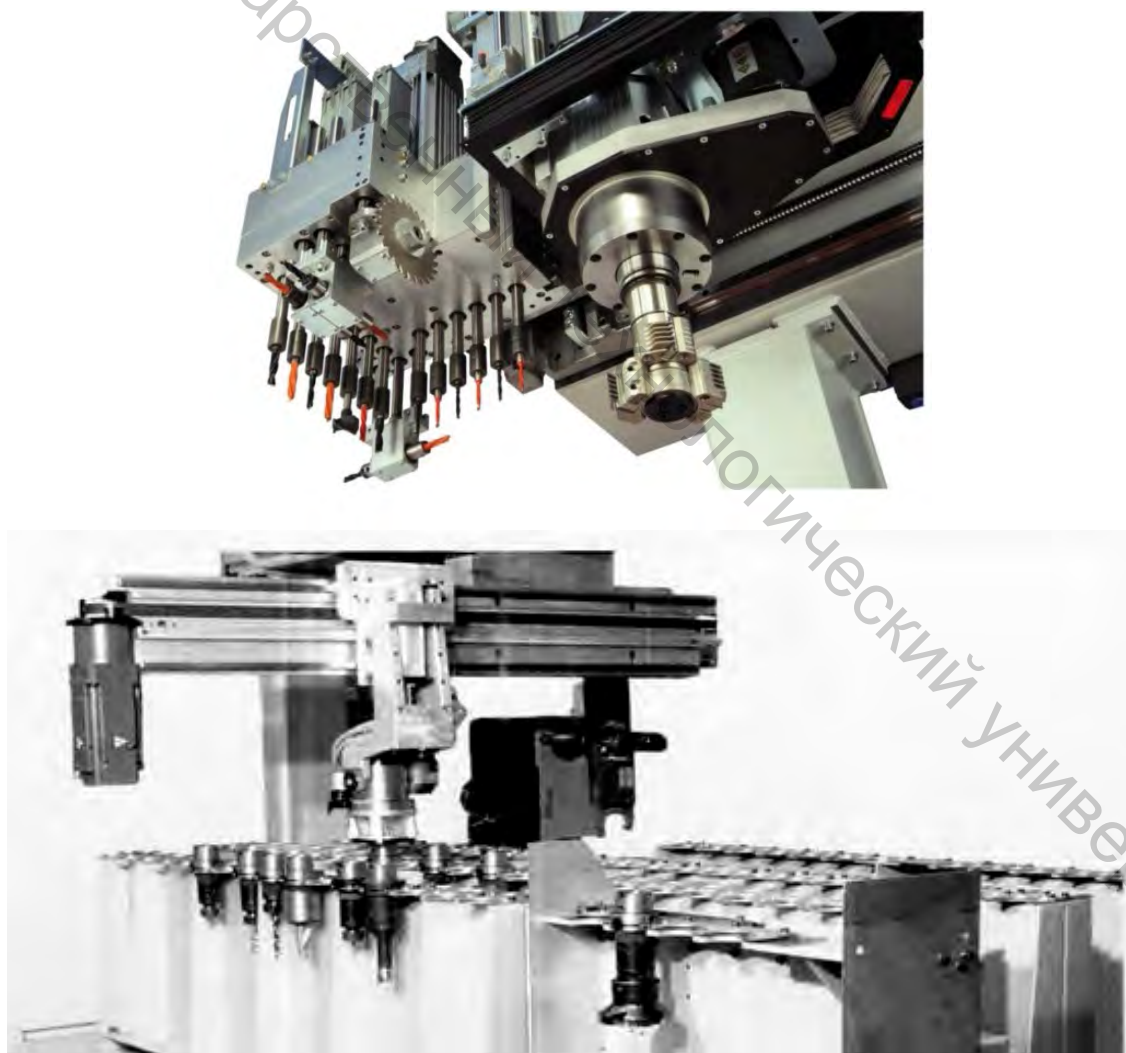


Рисунок 3.4 – Магазины стеллажного типа

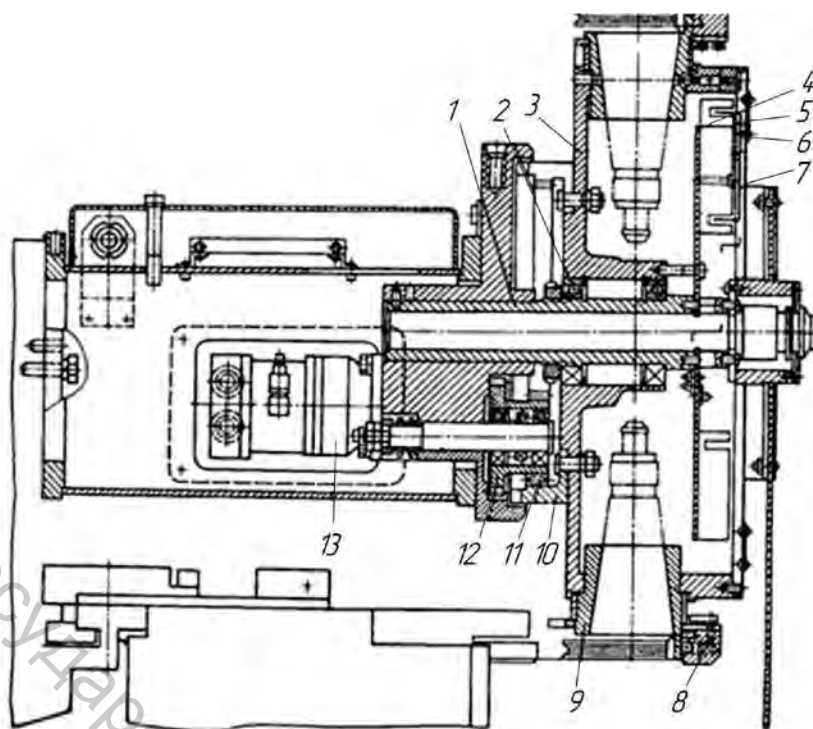


Рисунок 3.5 – Конструкция дискового инструментального магазина многоцелевого станка

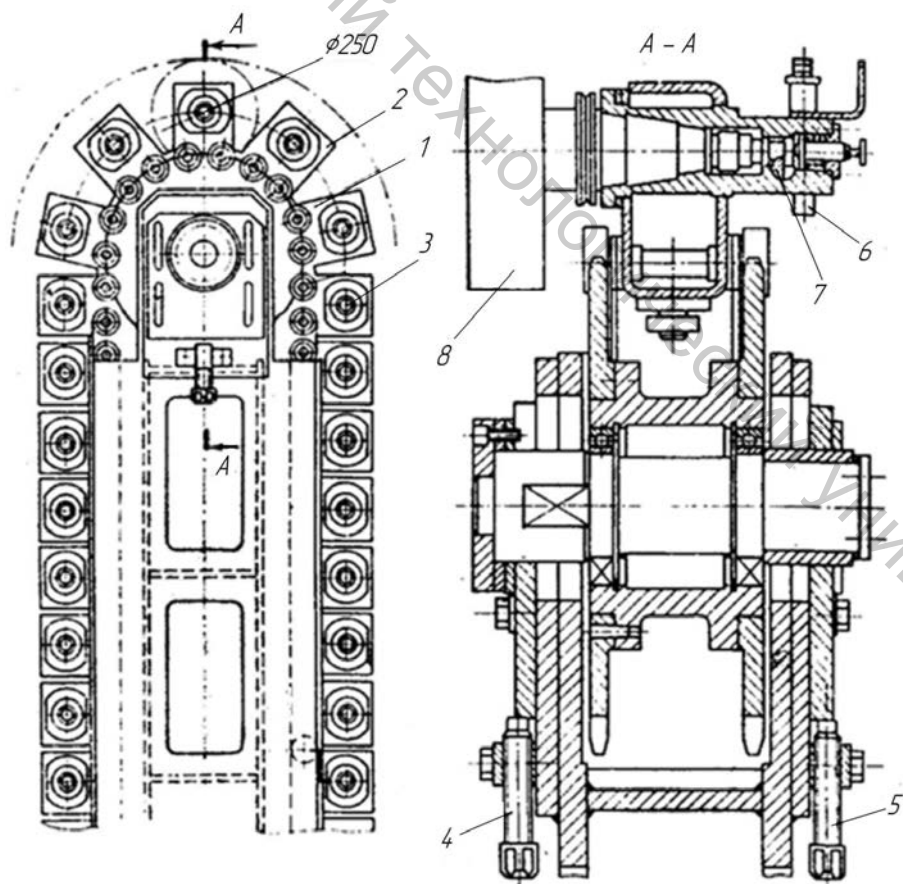


Рисунок 3.6 – Конструкция инструментального магазина цепного типа

3.2 Револьверные головки

Револьверная головка – специальное устройство, в котором устанавливаются различные режущие инструменты: сверла, зенкеры, развертки, метчики и др. (рис. 3.7). Револьверная головка является важным составным элементом токарно-револьверных автоматов и полуавтоматов (устанавливается на продольном суппорте станка), а также обрабатывающих центров токарной группы. Применение револьверной головки на указанных станках позволяет выполнять обработку заготовок (или каких-либо деталей) сложной формы и одновременно значительно уменьшить вспомогательное время (т.е. повысить производительность труда).

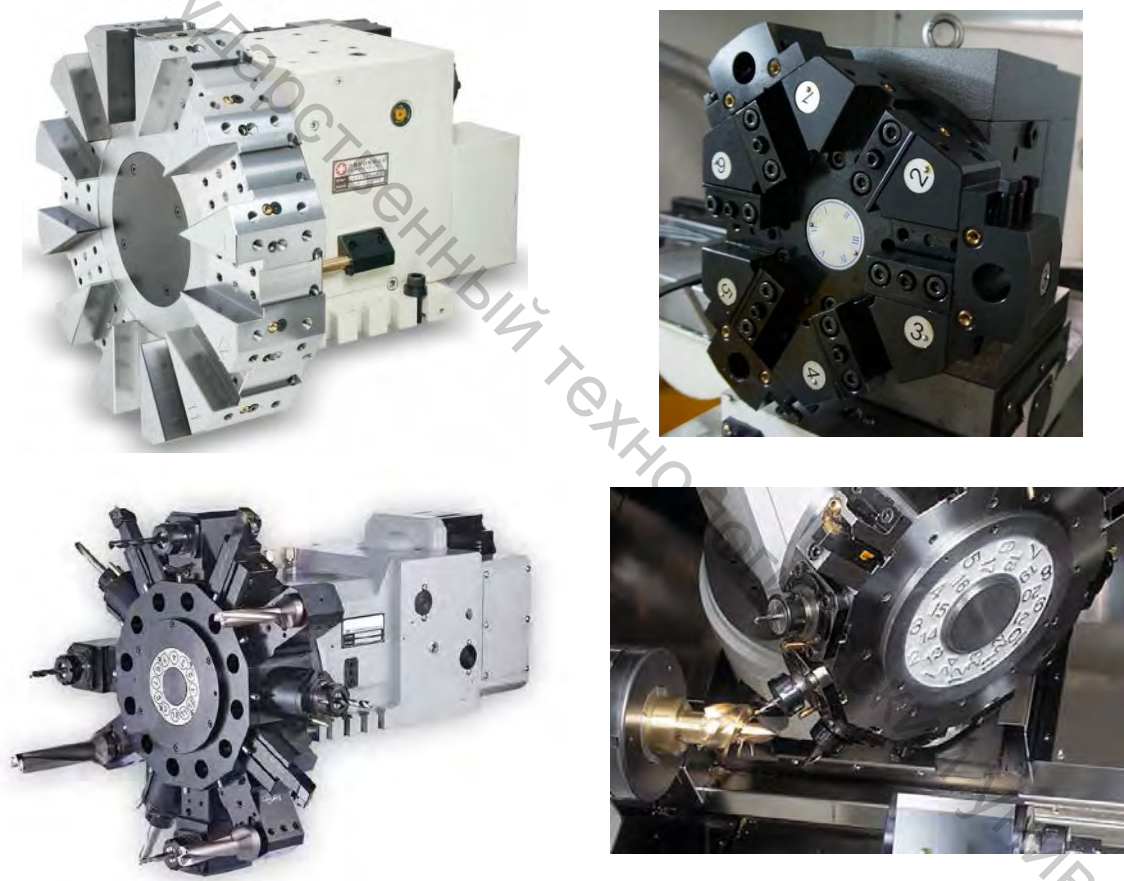


Рисунок 3.7 – Револьверные головки

Револьверная головка, имея вертикальную, горизонтальную и в ряде случаев (т.е. модификаций) наклонную ось вращения, периодически поворачивается в соответствии с последовательностью технологического процесса и фиксируется относительно продольного суппорта. Кроме того, через ось револьверной головки подводится к обрабатываемой заготовке (или детали) смазочно-охлаждающая жидкость с целью

улучшения режима резания. Револьверные головки широко применяются в станочных автоматических линиях машиностроительных предприятий.

В настоящее время в промышленности используются следующие модификации револьверных головок:

- с горизонтальной осью вращения;
- с вертикальной осью вращения;
- с наклонной осью вращения;
- комбинированные.

Главным элементом револьверного инструментального накопителя, на котором размещаются держатели инструментов, является планшайба. Она приводится в движение сервоприводом, поворачивающим её на заданный угол в зависимости от программы ЧПУ. В момент поворота к заготовке подводится инструмент, при помощи которого должна быть проведена запланированная операция.

План-шайба на приводном валу закрепляется чрезвычайно жёстко, для чего применяются специальные подшипники, изготавливаемые из стали повышенной прочности. Этим обеспечивается высокая точность позиционирования режущих приспособлений, обрабатывающих заготовку.

Большинство револьверных головок оснащается шаговым электродвигателем, поворачивающим план-шайбу с минимальными погрешностями. Величина поворота контролируется чувствительными датчиками. При достижении заданного угла они передают команду на остановку сервомотора, и револьверная головка останавливается, фиксируя инструмент в требуемом положении.

В некоторых модификациях станков с ЧПУ отдельный электродвигатель не предусмотрен, и магазин приводится в движение приводом, связанным с главным мотором. Такая кинематическая схема дешевле в реализации, хотя является громоздкой и более инерционной. Этим объясняется, почему такие конструкции всё реже применяются изготовителями станков. Пусть введение в состав машины отдельного шагового сервомотора и повышает цену оборудования, но обеспечивает на порядок лучшие производственные показатели.

Кроме указанных датчиков положения, револьверные головки иногда оснащаются следующей автоматикой:

- автоматический загрузчик инструментов;
- контроллер износа режущих кромок;
- устройство управления подачей СОЖ;
- схема аварийного отключения (например, при поломке инструмента).

Изначально револьверные инструментальные магазины выпускались только в составе станков и не поставлялись отдельно. Сегодня некоторые производители освоили производство независимых универ-

сальных накопителей инструментов и поставляют их на предприятия для модернизации устаревшего оборудования.

Таким образом, использование револьверных головок зачастую избавляет заводы от покупки дорогостоящих новых металлообрабатывающих станков. Для того чтобы достичь нормальных производственных показателей, достаточно лишь модернизировать существующий станочный парк, внедрив, к примеру, инструментальные накопители инструментов револьверного типа.

3.3 Инструментальные головки

В современных обрабатывающих центрах применяют различные виды инструментальных головок, смена которых осуществляется автоматически от устройства ЧПУ: одно- и многоинструментальные с осями инструментов, параллельными оси шпинделя; угловые с фиксированным или изменяемым положением оси инструмента относительно оси шпинделя; план-суппортные; специального назначения [67–68].

Многоинструментальные (многошпиндельные) головки применяют в агрегатных станках, на автоматических линиях, а также в универсальном оборудовании сверлильной группы (рис. 3.8). При малой серийности производства такие головки в многооперационных станках использовать неэффективно из-за сложности проектирования и изготовления, высокой их стоимости. При увеличении серийности становится целесообразным все или часть отверстий в корпусных заготовках обрабатывать многоинструментальными головками на многооперационных станках.



Рисунок 3.8 – Многошпиндельная сверлильная головка

Применяют головки с расположением инструментов в ряд, по определенному контуру, с различным расположением. При большом вылете шпинделя или инструмента используют подвесные кондуктор-

ные плиты, в которых для точной ориентации по отношению к приспособлению имеются базовые втулки, а на корпусе – базовые штыри.

Одноинструментальные головки, как правило, предназначены для обработки в особых условиях, например при значительном вылете и больших режимах резания. Для повышения жесткости расточной оправки и виброустойчивости при обработке ее монтируют в консольных втулках.

Использование угловых головок значительно расширяет технологические возможности многооперационных станков, так как появляется возможность обрабатывать пятую плоскость заготовки или плоскости, расположенные под различными углами (рис. 3.9). При этом, если применяют более простые головки с фиксированным положением оси шпинделя, различные по угловому положению поверхности обрабатываются комплектом соответствующих угловых головок, в результате увеличиваются размеры конструкции станка и время обработки. В связи с этим используют более сложные угловые головки с настраиваемым положением (поворотом) рабочего шпинделя. Следует заметить, что для осевой подачи инструмента при неперпендикулярном положении рабочего шпинделя головки относительно шпинделя станка требуется производить согласованное перемещение двух рабочих органов станка. Дополнительным достоинством угловых головок с управляемым от устройства ЧПУ положением рабочего шпинделя является возможность обработки пространственно сложных поверхностей, что широко используют, например, при производстве изделий типа гребных винтов и гидравлических турбин.



Рисунок 3.9 – Угловые фрезерные головки

Плансуппортные головки имеют суппорт, установленный в направляющих прямолинейного перемещения (рис. 3.10). В суппорте закреплены резец или оправка с инструментом. При вращении планшайбы суппорт может перемещаться в радиальном направлении, в том числе и по программе, с помощью зубчато-реечной передачи. Радиальная подача инструмента может использоваться для протачивания канавок, обработки круговых пазов, подрезания «обратных» торцов, нареза-

ния резьбы, получения сложных фасонных поверхностей, обработки одним инструментом различных по размеру отверстий и т.д.

С помощью головки специального назначения может подаваться СОЖ, например, через сверло или трепанирующую головку.

Большинство сменных инструментальных головок имеют значительные габаритные размеры и массу, требуют жесткого крепления на станке. Для базирования корпуса головки на торце шпиндельной бабки станка применяют прямолинейные направляющие и фиксаторы, а также цилиндрические и конические посадочные элементы. Головки закрепляются в четырех точках с помощью гидроцилиндров.

Простейшим способом хранения и смены головок является использование инструментального магазина и автооператора многооперационного станка. При этом практически не требуется никакого дополнительного оборудования, достигаются универсальность и гибкость смены. Следует лишь обеспечить подачу многошпиндельных оправок в шпиндель в строго ориентированном положении по отношению к шпиндельной бабке станка. Этот способ оправдан при использовании небольших головок, так как головки больших габаритных размеров перекрывают соседние гнезда магазина, а из-за значительной массы перегружается барабан или цепь (особенно при горизонтальных осях оправок), возникают большие переменные по величине и направлению нагрузки на привод магазина и его отдельные элементы.



Рисунок 3.10 – Плансуппортные расточные головки

С учетом отмеченных недостатков, а также того обстоятельства, что сменные головки нужны для обработки ограниченного числа поверхностей, а большинство операций выполняется одиночными инструментами, целесообразно все сменные головки устанавливать неподвижными и размещать независимо от основного магазина. Когда же возникает потребность в соответствующей головке, тем или иным способом ее подают на станок. Такую смену головок в настоящее время наиболее широко применяют в многооперационных станках.

3.4 Многорезцовые и многошпиндельные станки

Для увеличения производительности в массовом производстве находят применение многорезцовые и многошпиндельные токарные, многошпиндельные сверильно-фрезерно-расточные, многошпиндельные протяжные и т.п. станки.

Многошпиндельные станки, относящиеся к токарной группе, необходимы для выполнения сложнейших технологических операций в условиях серийного производства. Заготовки, которые можно обрабатывать на таких станках, могут иметь форму труб, шестигранных, квадратных и круглых прутков, фасонного профиля и др. Отличается подобная техника высокой жесткостью своей конструкции и мощным приводом, что позволяет выполнять с ее помощью обработку с высокой производительностью.

Что важно, такая сложная и функциональная техника обслуживается точно так же, как и станок обычной модели. Перечень технологических операций, которые можно выполнять на подобном агрегате, достаточно обширен: растачивание, черновое и фасонное обтачивание, нарезание и накатывание резьбы и др.

Так высокопроизводительные 6- и 8-шпиндельные токарные станки-автоматы с ЧПУ обладают цанговым зажимом прутков и автоматическим подающим устройством. Прутковые автоматы METRA серии CNX, работающие по принципу токарных станков продольного точения, позволяют с высокой точностью обрабатывать детали диаметром до $\varnothing 55$ мм и длиной до 380 мм (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Токарный станок METRA серия CNX

Многошпиндельные сверильные станки применяют в массовом производстве для обработки большого количества деталей со значительным количеством отверстий (рис. 3.12). В одном станке может быть до 30 шпинделей. В зависимости от конструкции станка шпиндели мо-

гут работать от индивидуальных электродвигателей или от общего электродвигателя.



Рисунок 3.12 – Многошпиндельные сверлильные станки

Схема работы многорезцового токарного полуавтомата приведена на рисунке 3.13. Заготовку 2 обрабатывают несколько одновременно работающих резцов, установленных на продольном 12 и поперечном 3 суппортах. Одновременное участие в работе большого числа резцов, каждый из которых обрабатывает свой участок заготовки, позволяет получить детали заданных форм и размеров путем простейших и коротких циклов работы суппортов и, следовательно, значительно сократить время обработки.

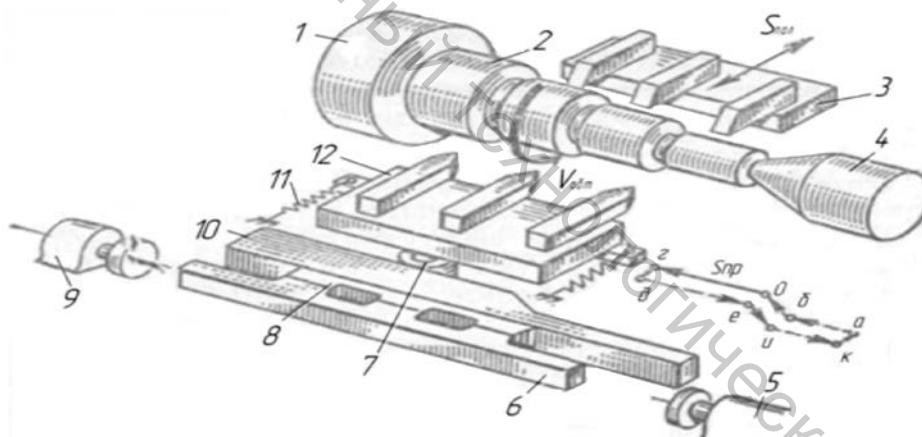


Рисунок 3.13 – Схема работы многорезцового полуавтомата

Многорезцовые токарные полуавтоматы имеют полуавтоматический цикл работы. Съем детали, установку заготовки, ее зажим в патроне или в центрах передней 1 и задней 4 бабок, а также пуск полуавтомата производят вручную. Подвод суппортов с резцами, обработка заготовки, возврат суппортов в исходное положение и остановка полуавтомата производятся автоматически.

Продольный суппорт 12 в многорезцовом полуавтомате перемещается вместе с планками 6 и 8 относительно неподвижной линейки 10. При этом ролик 7 суппорта перекачивается по рабочей поверхности линейки 10 и постоянно поджимается к ней пружинами 11. Цикл работы продольного суппорта следующий: быстрый подвод суппорта к обраба-

тываемой заготовке (участок $a-b$); врезание резцов при перемещении ролика 7 по конусной поверхности линейки 10 (участок $b-v$); обтачивание заготовки при рабочей подаче (участок $v-z$); отскок суппорта назад в поперечном направлении (участок $z-b$); быстрый отход в исходное положение на продольной подаче (участки $d-e$, $e-u$, $u-k$) и перемещение суппорта вперед в первоначальное положение (участок $k-a$).

Отскок суппорта в конце обработки (примерно на 1 мм) и возврат его в первоначальное положение в конце отхода назад (участки траектории $z-d$ и $k-a$) осуществляются с помощью планок 6 и 8. Обе планки перемещаются вместе с суппортом, при этом планка 6 может перемещаться относительно суппорта в продольном направлении. В начале работы суппорта они установлены относительно друг друга так, что соприкасаются выступами (рис. 3.13).

В конце обтачивания планка 6 наезжает на упор 9 и смещается относительно планки 8 вправо, в результате чего ее выступы устанавливаются напротив впадин планки 8. Суппорт 12 вместе с роликом 7, линейкой 10 и планкой 8 под действием пружин 11 отходит назад на глубину впадины планки 8. В результате этого резцы при отходе суппорта назад не касаются обработанной поверхности.

После возвращения продольного суппорта в исходное положение планка 6 наезжает на второй упор 5 и смещается влево в первоначальное положение, когда ее выступы устанавливаются напротив выступов планки 8. В результате суппорт с резцами, линейка 10 и планка 8 устанавливаются в первоначальное положение (точка a).

3.5 Вопросы для самоконтроля

1. Какие Вам известны типы инструментальных магазинов?
2. Изобразите схему револьверной инструментальной головки?
3. Изобразите схему инструментального поворотного магазина.
4. В чем отличие револьверных головок (магазинов) и инструментальных магазинов поворотного (дисковые) и барабанного типа?
5. Перечислите виды цепных инструментальных магазинов.
6. Какие модификации револьверных головок используются в настоящее время в промышленности?
7. Каковы особенности оснащения револьверных головок?
8. Что собой представляет инструментальная головка?
9. Перечислите недостатки сменных инструментальных головок.
10. Для чего применяются токарные и сверлильные многошпиндельные станки?
11. Опишите принцип работы токарного многорезцового полуавтомата.

4 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ВРЕМЕНИ НА ПЕРЕНАЛАДКУ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

4.1 Автоматизация рабочего цикла станков

Эффективным способом повышения производительности является комплексная автоматизация технологических и вспомогательных процессов.

Автоматическое изготовление деталей на станках означает автоматическое выполнение основных (процесс резания) и вспомогательных (загрузка–выгрузка заготовок, замена режущего инструмента, контроль) переходов, определяющих замкнутый цикл работы станка [70].

Автоматизация основных и вспомогательных переходов (см. главу 2) осуществляется применением систем путевого управления и программируемых контроллеров. Автоматизация рабочего цикла означает применение гибкой автоматизации при выполнении основных и вспомогательных переходов. Проблема решается с помощью станков с ЧПУ, многоцелевых станков, ГПМ, входящих в ГПС, а также применением специальных систем, обеспечивающих реализацию гибкой безлюдной технологии. Такими системами являются:

- система автоматической установки и съема заготовок;
- спутники;
- система автоматической смены РИ;
- САУ режимами обработки;
- системы автоматического контроля на рабочем месте;
- автоматическая транспортно-складская система.

4.2 Устройства для быстрой смены режущего инструмента

Устройства автоматической смены инструментов (АСИ) являются одним из неотъемлемых средств автоматизации процесса обработки. АСИ позволяет сокращать вспомогательное время, связанное с заменой инструмента, а также автоматически производить замену затупившегося инструмента. В общем случае АСИ содержат накопители инструментов (многопозиционные резцедержатели, револьверные головки, инструментальные магазины); автооператоры (манипуляторы) с захватными устройствами для съема и установки инструмента в шпиндель

станка; транспортирующие и зажимные устройства, объединенные общей системой управления [70–73].

Требования к устройствам для автоматической смены инструмента сводятся к необходимости постоянного сокращения величин координатных движений различных узлов устройств АСИ при смене инструмента, достижению максимального совмещения времени смены инструмента с временем работы станка, сокращению или исключению координатных установок по осям при смене инструмента с целью достижения высокой соосности при обработке отверстий разноразмерным инструментом; исключению влияния массы инструментов на точность станка, обеспечению удобного обслуживания магазина во время работы станка и безопасного наблюдения за процессом обработки, уменьшению загрязнения магазина и площади, занимаемой устройством АСИ; обеспечению возможности увеличения вместимости магазина без существенных изменений узлов станка и независимого исполнения устройства АСИ как отдельного быстросъемного и легкозаменяемого модуля.

АСИ укрупненно можно разделить на *три группы: с инструментом, постоянно закрепленным в шпиндельных узлах, установленных в гнездах многопозиционной револьверной головки, со сменой инструмента в шпинделе станка и комбинированные*. Первая группа АСИ находит наиболее широкое применение на многооперационных токарных станках. Необходимые инструменты устанавливаются в револьверную головку в последовательности, соответствующей технологическому процессу. Смена инструмента по созданной программе производится поворотом и фиксацией головки или линейным перемещением головки (в случаях, когда в одной позиции установлено несколько инструментов). При таком решении отпадает необходимость в наличии специальных автооператоров и транспортных устройств.

Автооператоры, предназначенные для смены инструмента в шпинделе станка, *по количеству захватов* подразделяются на одно-, двух- и многозахватные. Захват инструментальных оправок осуществляется в радиальном направлении за шейку оправок механизмами захвата с подпружиненным зажимом клещевого или тисочного типа.

Конструкции однозахватных автооператоров предусматривают возможность поворота относительно оси, параллельной или перпендикулярной к оси шпинделя, а также поступательного перемещения в плоскости, перпендикулярной к оси шпинделя.

Независимо от типа АСИ для автоматической смены и закрепления в шпинделе станка различных по функциональному назначению и размерам режущих инструментов их устанавливают вне станка в стандартных специальных инструментальных оправках. На большинстве станков используют оправки с коническим хвостовиком с конусностью 7:24, что позволяет легко (при отсутствии самоторможения) извлекать их при смене из шпинделя и гнезд магазина. В шпинделе станка оправка

(рис. 4.1 а) при зажиме затягивается с помощью ввернутого в нее хвостовика 1. На цилиндрическом фланце 2 выполняется кольцевая канавка 4 треугольной или прямоугольной формы, с помощью которой оправка захватывается губками автооператора.

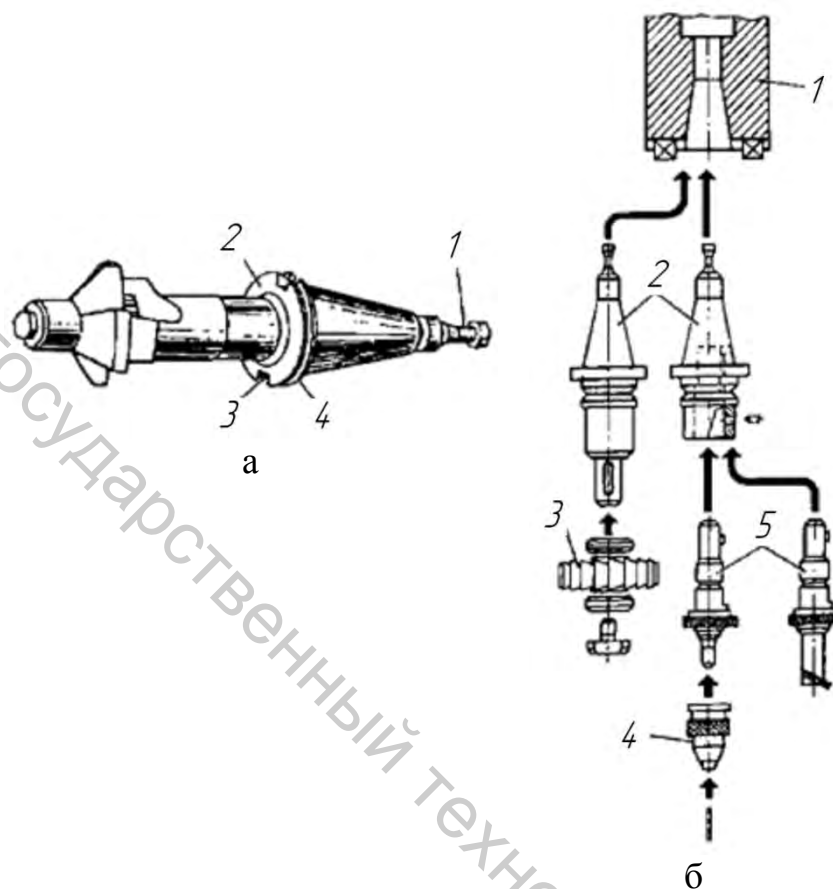


Рисунок 4.1 – Схема построения инструментального комплекта для многоцелевых станков:

а – инструментальная оправка с коническим хвостовиком, б – общая схема комплекта

Передача крутящего момента от шпинделя на оправку осуществляется торцовыми шпонками с помощью радиальных пазов 3. Наличие пазов на оправке требует предварительной ориентации оправок при их установке в накопителе, а также ориентированного углового положения шпинделя станка при смене инструмента. Для сокращения номенклатуры оправок разработаны унифицированные инструментальные комплекты вспомогательного инструмента МС.

Схема построения такого комплекта показана на рисунке 4.1 б. Комплект состоит из различных основных оправок 2, закрепляемых в шпинделе станка 1, переходных втулок или оправок 5, различных патронов 4, что позволяет закреплять режущий инструмент 3 различного типа и размера. Необходимость замены режущего инструмента вместе со вспомогательным создает свои проблемы, так как увеличиваются га-

бариты и вес накопителей-магазинов. При значительной массе оправок возрастают требования к зажимным устройствам захватов автооператоров, ограничиваются скорости транспортирования. Поэтому разрабатываются системы инструментальной оснастки, позволяющие для смены инструмента менять лишь инструментальные головки, а вспомогательные оправки закреплять постоянно в шпинделе станка.

Инструментальные магазины могут быть расположены непосредственно на подвижной шпиндельной бабке, неподвижно на стойке в верхней ее части или сбоку, автономно рядом со станком на отдельной стойке.

В качестве примера рассмотрим схему устройства для автоматической смены инструмента с помощью автооператора, применяемого для станков средних размеров с горизонтальной осью шпинделя (рис. 4.2 а). Инструментальный магазин 1 располагается сверху на стойке станка. Тогда смена инструмента в шпинделе 3 происходит в крайнем верхнем положении шпиндельной бабки 4 с помощью двухзахватного автооператора 2, совершающего по командам ЧПУ необходимый цикл движений. Ходом снизу вверх автооператор захватывает инструментальную оправку в гнезде магазина и движением вперед вытаскивает ее.

Далее следует смещение автооператора вниз и возврат вдоль оси в исходную позицию.

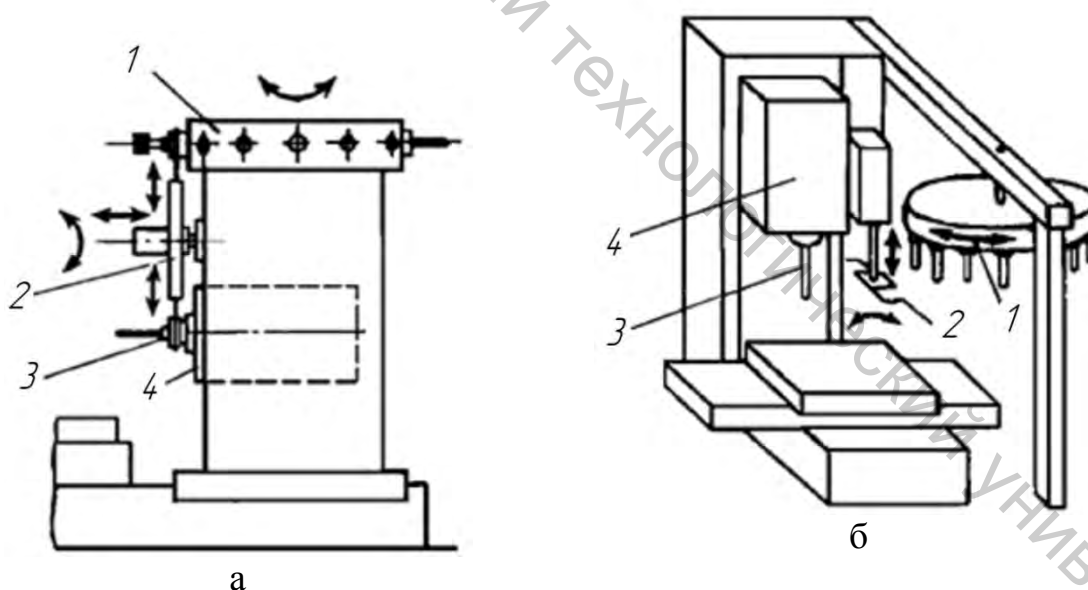


Рисунок 4.2 – Схемы устройств автоматической смены инструмента с автооператорами:

а – для станков с горизонтальной осью шпинделя, б – для станков с вертикальной осью шпинделя

Шпиндельная бабка поднимается в позицию смены инструмента, при этом оправка отработавшего инструмента зажимается нижним за-

хватом автооператора. Автооператор совершает ход вперед вдоль оси, извлекая сменяемую оправку из шпинделя, поворотом на 180° совмещает с отверстием шпинделя новую оправку с инструментом и ходом назад вставляет ее в шпиндель. После чего шпиндельная бабка смещается в рабочую позицию, а автооператор перемещается вверх для возврата отработавшего инструмента в магазин. Поворот магазина для поиска очередного инструмента происходит при отводе автооператора в нижнюю позицию. Несовмещенное время, идущее непосредственно на смену инструмента АСИ такого типа, в станке ИР-500 МФ4 составляет 6 с, однако общее время на смену (от «стружки до стружки») может составлять 16...21 с в зависимости от положения, которое занимает шпиндельная бабка после окончания предыдущего рабочего хода.

В станке с вертикальной осью шпинделя (см. рис. 4.2 б) автооператор 2, поворачиваясь своими захватами, захватывает инструментальные оправки в шпинделе 3 станка и в магазине 1. При ходе вниз автооператор извлекает их из шпинделя и магазина, поворачивается на 180° , меняя оправки местами, и ходом вверх устанавливает новые оправки в шпиндель и магазин; затем автооператор поворачивается в среднее нейтральное положение, позволяющее шпиндельной бабке 4 переместиться к обрабатываемой детали, а магазину – поворачиваться для поиска следующего по циклу инструмента.

Последовательность смены инструмента на станке с вертикальной компоновкой шпинделя приведена на рисунке 4.3.

На рисунке 4.4 показана конструкция автооператора механизма автоматической смены инструмента.

Двухзахватная рука 1 может поворачиваться вместе со шлицевым валом 7, установленным на подшипниках в корпусе 6, и перемещаться относительно него в осевом направлении. Поворот осуществляется гидроцилиндрами 2 и 3, соответственно, на 180° и 90° через зубчатые рейки на штоках гидроцилиндров и повышающие зубчатые передачи 4. Осевое перемещение руки 1 относительно вала 7 осуществляется гидроцилиндром 10, шток которого жестко соединен с вилкой 8, входящей в кольцевой паз во фланце руки.

При осевом перемещении руки вперед вместе с ней движется тяга 9, которая перемещает шестерню 5, расцепляя ее с зубчатым колесом привода поворота на угол 90° и присоединяя к аналогичному механизму привода поворота на 180° . При возврате руки в осевом направлении подпружиненный плунжер 11 смещается вперед, сжимая пружину, и освобождает фиксатор 12 зажимного устройства, который расфиксирует хвостовик с инструментом.

Для захвата автооператором хвостовиков с инструментами применяют захватные устройства различных типов.

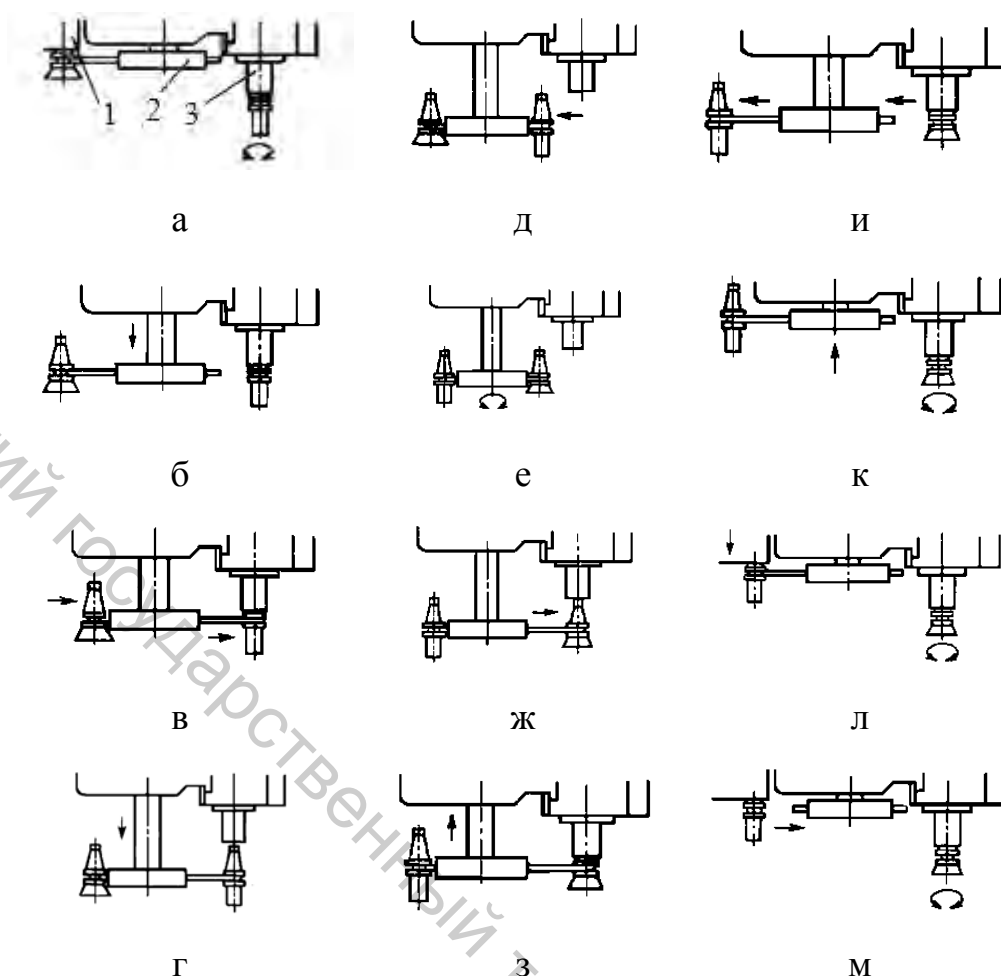


Рисунок 4.3 – Последовательность смены инструмента на станке с вертикальной компоновкой шпинделя:

а, б – захват автооператором нового инструмента и вывод его из гнезда магазина; в, д – захват автооператором использованного инструмента и вывод его из посадочного отверстия шпинделя; е – поворот автооператора на 180° ; ж, з – установка нового инструмента в шпиндель станка, и, л – установка использованного инструмента в магазин, м – установка автооператора в исходное состояние

На рисунке 4.5 показаны конструкции захватных устройств клещевого типа и типа охватывающей скобы с фиксирующим устройством.

В первом устройстве (рис. 4.5 а) захват хвостовика 8 производится сменными зажимными губками 1 трапецеидального профиля, установленными на рычагах 2. Оси качания 7 рычагов 2 закреплены в корпусе 6. Зажим губками 1 хвостовика 8 производится с помощью серег 3, установленных на рычагах 2, и втулки 4 с пружиной 5 при отходе втулки 4 и штока гидро- или пневмоцилиндра назад (на рисунке не показаны). Разжим хвостовика осуществляется гидро- или пневмоцилиндром при перемещении штока и втулки 4 вперед.

В другом устройстве (рис. 4.5 б) захват хвостовика 7 с инструментом производится скобой 1 с V-образным профилем, закрепленной на

руке 3, а также поворачивающимся относительно руки фиксатором 6, установленным на рычаге 2 и имеющим такой же поперечный профиль, как у скобы 1.

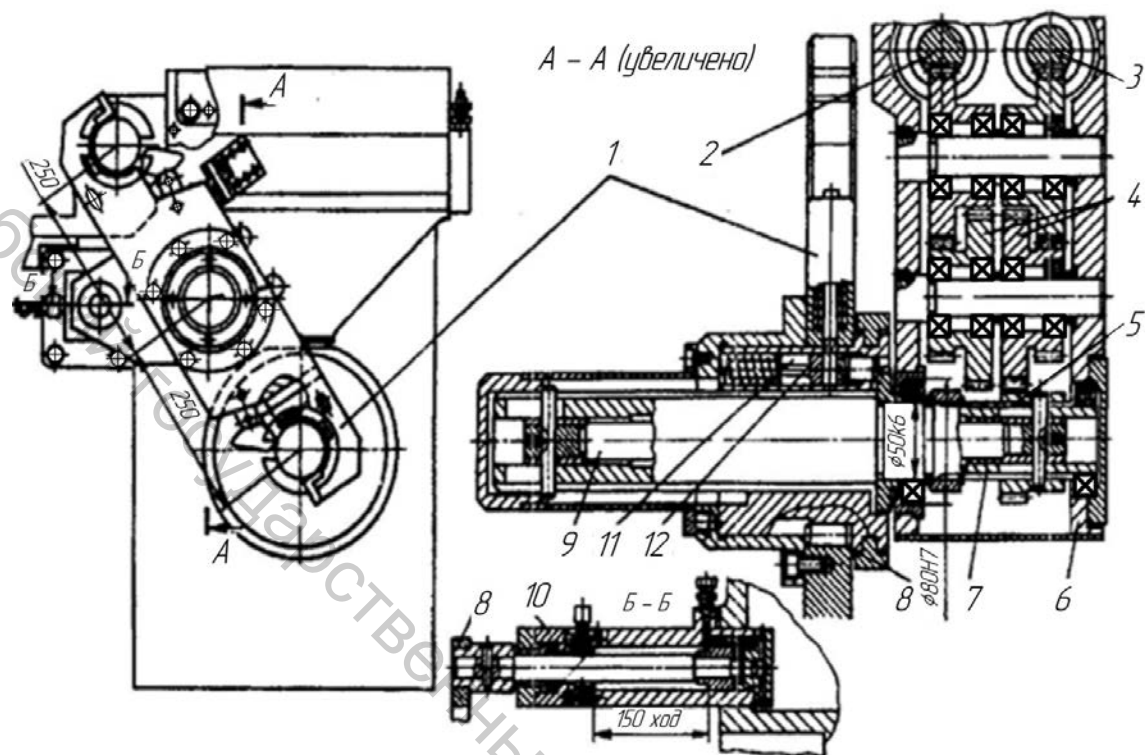


Рисунок 4.4 – Конструкция автооператора механизма автоматической смены инструмента

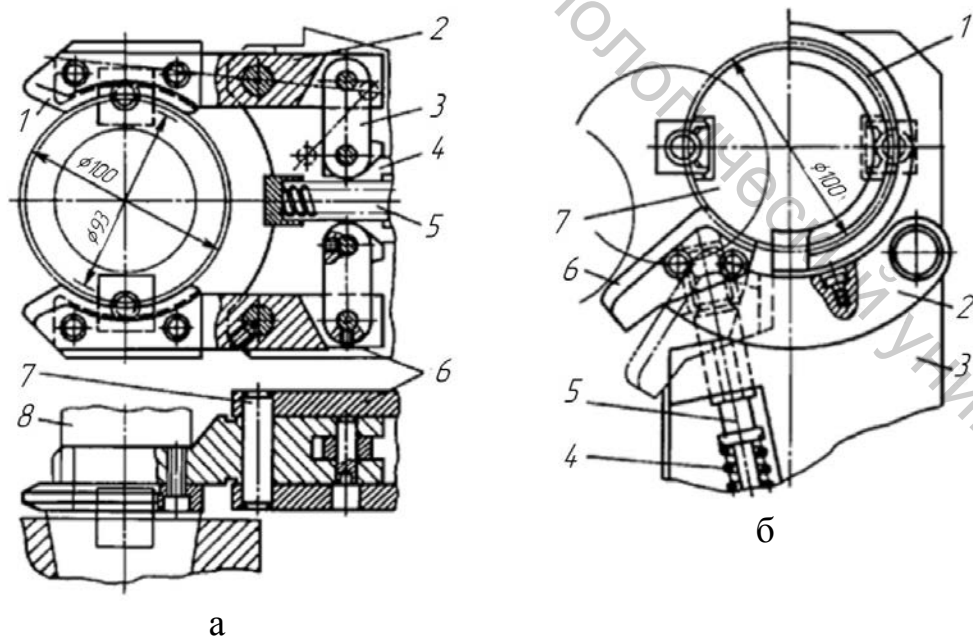


Рисунок 4.5 – Конструкции захватных устройств автооператора:
а – клещевого типа, б – типа охватывающей скобы с фиксирующим устройством

При зажиме хвостовика фиксатор прижимается к нему стержнем 5 под действием пружины 4. Отжим хвостовика осуществляется в подводе корпуса руки к торцу шпинделя станка или к инструментальному магазину, когда стержень 5 утапливается в специальный паз на упоре механизма выдвижения руки.

В рассмотренных АСИ смена инструмента производится только в одном определенном положении шпиндельной бабки, что увеличивает время на смену инструмента и снижает точность обработки соосных отверстий. Этого недостатка не имеет АСИ для тяжелых станков с дисковым (рис. 4.6 а) или цепным (рис. 4.6 б) магазином. Автооператор 4 может перемещаться вверх и вниз по стойке станка, отслеживая положение шпиндельной бабки 2, его захваты 5 выдвигаются из корпуса для защемления инструментальных оправок в магазине 3 и шпинделе 1 станка.

Ходом автооператора вдоль оси, параллельной оси шпинделя (перпендикулярно чертежу), происходит извлечение оправок из шпинделя станка и магазина и установка новых оправок.

Замена отработавшего инструмента на новый происходит поворотом автооператора. Вращение магазина для поиска инструмента, захват и извлечение оправки из магазина, перемещение автооператора в позицию смены к шпиндельной бабке совмещаются с машинным временем; не совмещенными остаются только захват и извлечение из шпинделя оправки с отработавшим инструментом, поворот автооператора, введение оправки в шпиндель и ее освобождение от захвата.

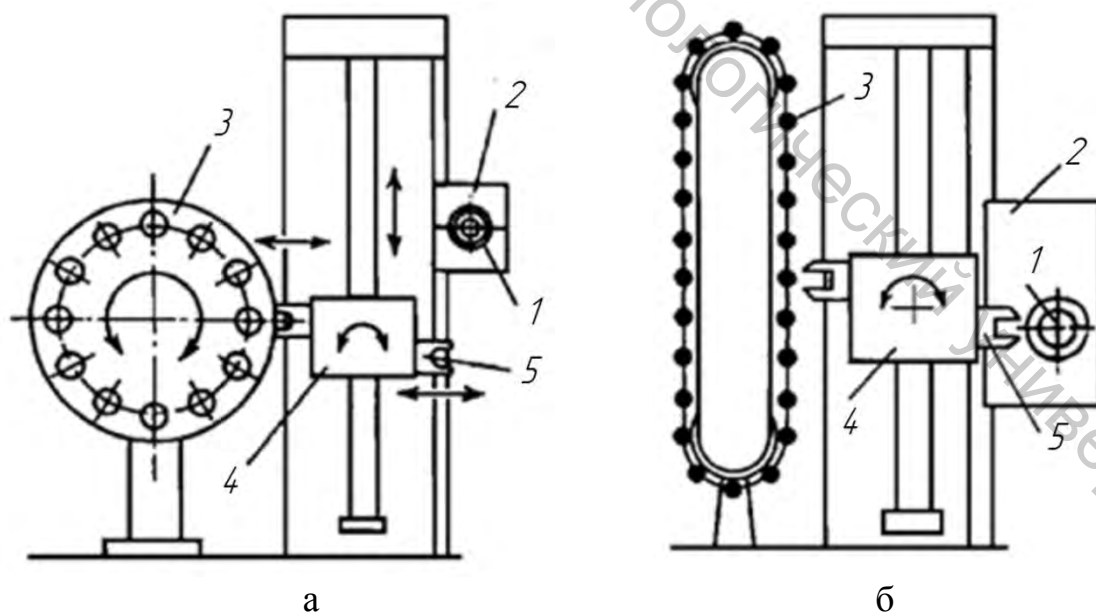


Рисунок 4.6 –Устройства автоматической смены инструмента с автооператором:

а – с дисковым магазином, б – с цепным магазином

Автоматический поиск инструмента. Для программирования автоматической смены инструмента применяются три метода. Если при обработке заготовки каждый инструмент используется только один раз и в строгой очередности, то инструментальные оправки в магазине можно установить в последовательности, соответствующей технологическому процессу, и при каждой смене инструмента смещать магазин на один шаг. Но, как правило, каждый из инструментов может применяться несколько раз, а последовательность их работы при изготовлении разных деталей изменяется. Поэтому автоматический поиск инструмента осуществляют с применением либо кодирования инструментальной оправки, либо кодирования гнезда магазина.

В первом случае (рис. 4.7) на оправке 1 устанавливаются сменные кодовые кольца 3, разделенные промежуточными кольцами 2. При перемещении магазина кодовые кольца воздействуют на конечные выключатели. При наличии нужной комбинации устройство ЧПУ обеспечивает остановку магазина в позиции, при которой необходимый инструмент находится в позиции перегрузки. Кроме кодовых колец могут применяться кодовые гребенки или штифты.

В последнее время используется система с магнитным кодовым носителем, вмонтированным в оправку, и бесконтактным датчиком считывания кода. При кодировании инструментальных оправок отработавший инструмент возвращается не в прежнее гнездо, а в гнездо той оправки, которая перегружается в шпиндель, что сокращает общую длительность цикла смены инструмента. При таком методе инструмент можно располагать в любом гнезде магазина, что исключает возможность ошибок при его загрузке. Однако этот метод имеет следующие недостатки: существенно усложняется конструкция инструментальных оправок; исключается возможность применения инструмента, диаметр которого превышает шаг между гнездами магазина; так как соседние гнезда могут быть заняты другими инструментами, усложняется поиск нужного инструмента.

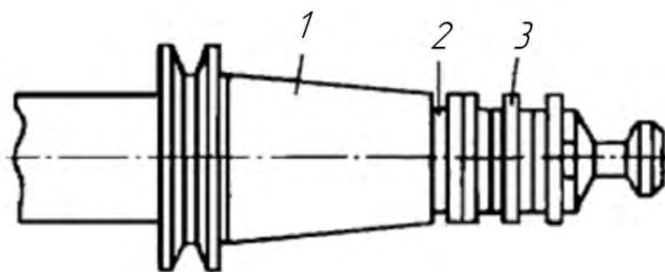


Рисунок 4.7 – Инструментальная оправка с кодовыми кольцами

При кодировании гнезд магазина каждому гнезду присваивается свой номер, который вводится в нужном месте в программу работы станка. Поэтому инструмент (вместе с оправкой), взятый из определен-

ного гнезда, должен после использования обязательно возвращаться в прежнее гнездо. Поиск нужного гнезда осуществляется с помощью различных датчиков, кинематически связанных с валом магазина (кодовые барабаны в сочетании с микропереключателями либо датчики типа вращающихся трансформаторов при следящем приводе перемещения магазина).

При кодировании гнезд магазина упрощаются инструментальные оправки и появляется возможность оставлять пустыми гнезда, расположенные рядом с теми, в которых находится крупногабаритный инструмент, что расширяет технологические возможности станка. Однако в этом случае усложняется цикл смены инструментов, так как поиск осуществляется дважды: один раз для сменяющего инструмента, второй – для отработавшего.

Для исключения этого недостатка в конструкцию механизма вводят дополнительные узлы, позволяющие совместить время поиска нужного инструмента и пустого гнезда для отработавшего инструмента со временем выполнения рабочих операций. АСИ такого вида представлена на рисунке 4.8.

Инструментальный магазин 5 оснащается добавочным однозахватным автооператором 4, который после поиска нужного инструмента, смещаясь в радиальном направлении, захватывает оправку (схема I). Затем осевым движением автооператор извлекает оправку из гнезда магазина (схема II), перемещает ее до совмещения с гнездом 6 позиции ожидания (схема III), обратным осевым движением вставляет оправку в гнездо позиции ожидания (схема IV) и после фиксации оправки автооператор 4 возвращается в исходное положение. После окончания очередного рабочего перехода шпиндельная бабка 1 поднимается в позицию смены инструмента, и основной автооператор 2 поворачивается, захватывая сменяемые оправки (схема V), извлекает их из шпинделя 3 и гнезда позиции ожидания (схема VI), меняет оправки местами (схема VII). Шпиндельная бабка перемещается в рабочую позицию и начинается следующий рабочий переход, во время которого поворотом магазина осуществляется поиск гнезда для отработавшего инструмента. Дополнительный автооператор переносит его в нужное гнездо магазина из гнезда позиции ожидания.

Для повышения производительности МС по сравнению с обычными одноинструментальными станками широко используются сменные инструментальные шпиндельные головки, обработка которыми совмещается с обработкой инструментом, установленным в основном шпинделе.

В серийном и массовом производстве целесообразно использование специализированных МС со сменными шпиндельными коробками, в которых инструмент настроен на обработку ряда поверхностей конкретной детали.

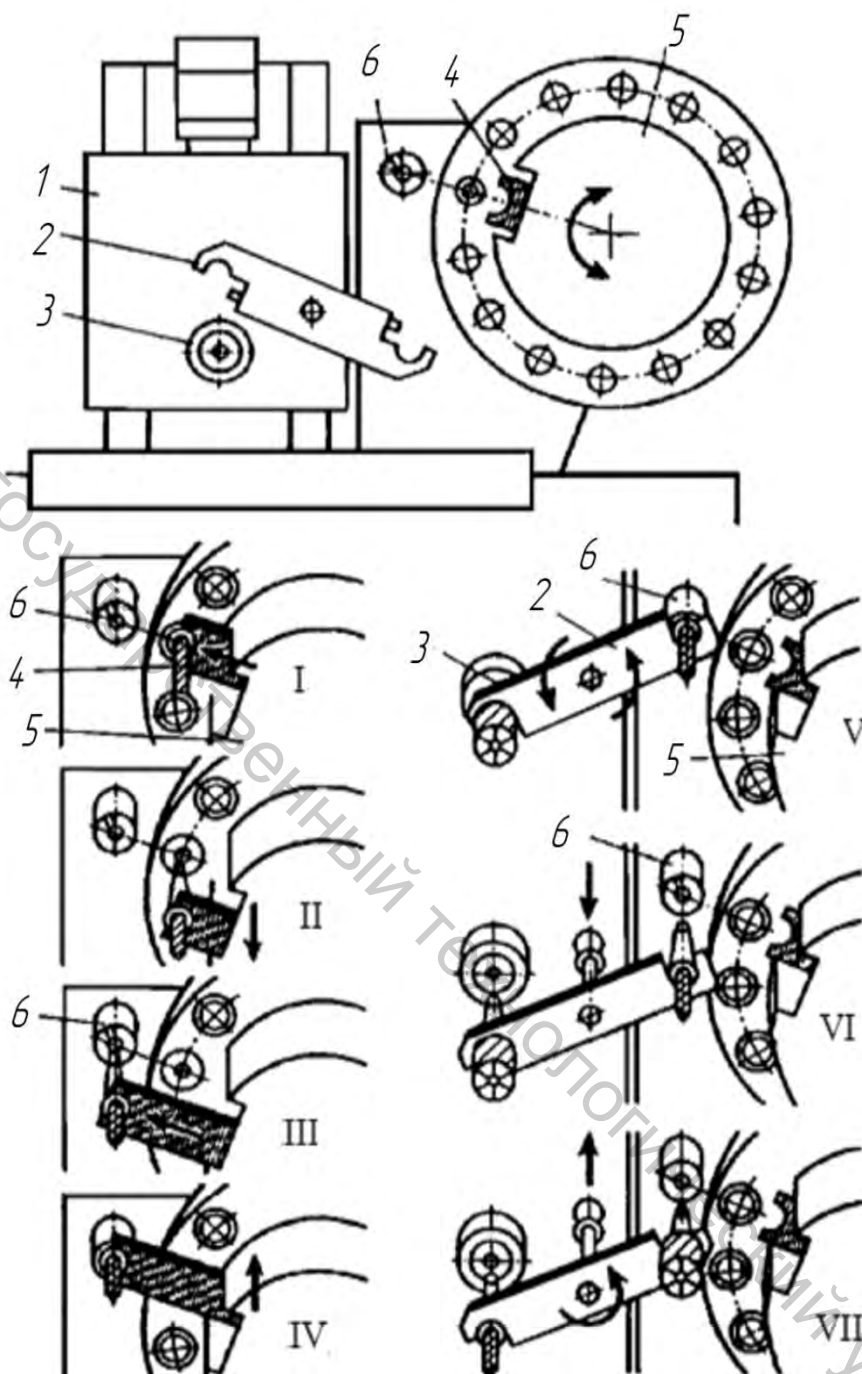


Рисунок 4.8 – Устройство автоматической смены инструмента в позиции ожидания

При большом числе многошпиндельных головок их устанавливают в поворотных магазинах 1 и 2, откуда они переставляются в рабочую позицию 3 (рис. 4.9 а), или в линейном магазине 4 (рис. 4.9 б). В последнем случае замена головок 1 и 3 производится поворотным автооператором 2.

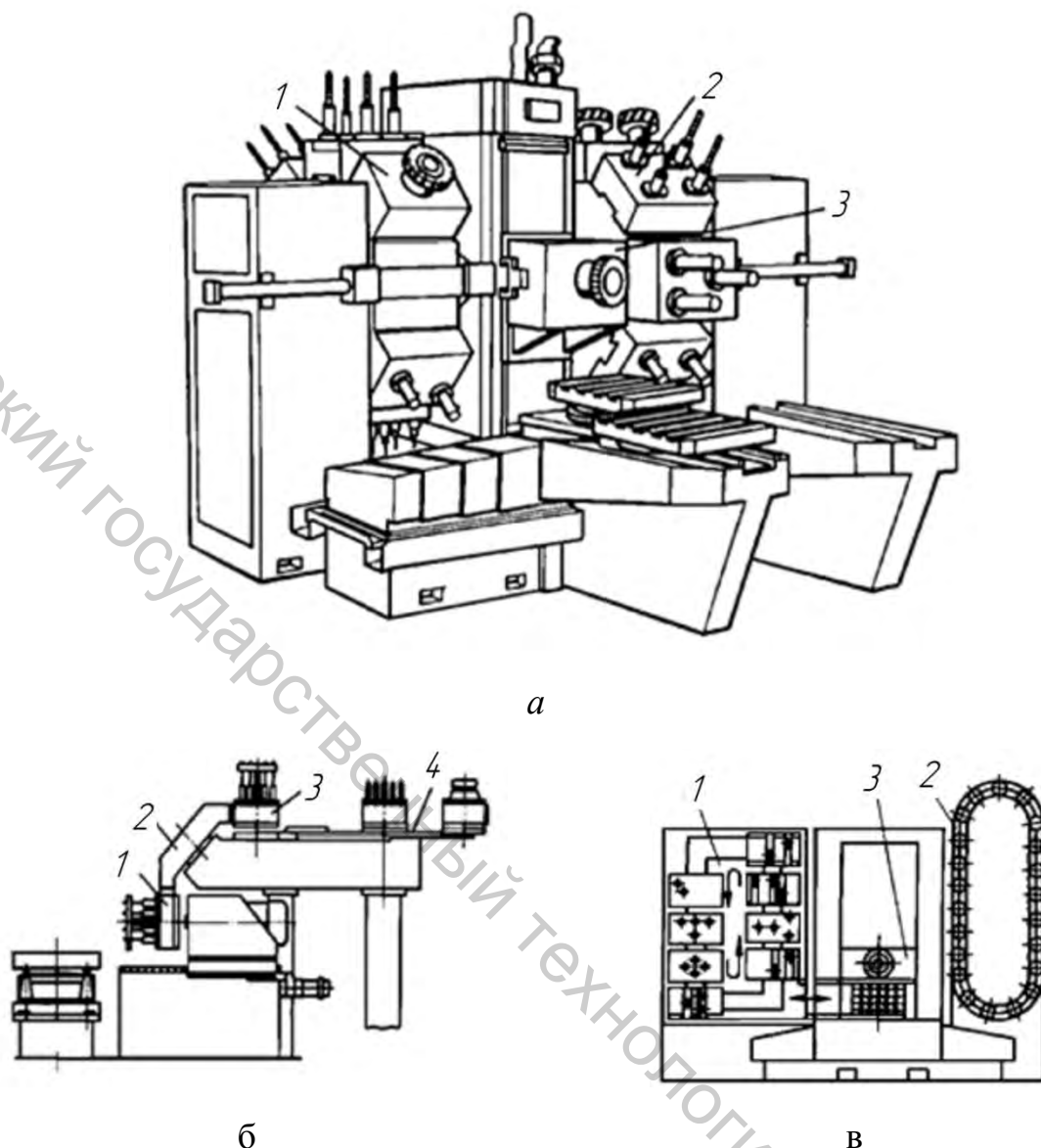


Рисунок 4.9 – Компоновки станков со сменными
многоинструментальными головками:

а – с двумя восьмипозиционными поворотными магазинами головок,
б – с линейным магазином головок, в – с магазином головок и цепным
магазином единичных инструментов

На рисунке 4.9 в показан вариант многоцелевого станка, имеющего два магазина: линейный 1 – для многошпиндельных головок и цепной 2 – для единичных инструментов, устанавливаемых в шпиндель 3. Хотя в этом случае конструкция станка усложняется, его технологические возможности по сравнению с другими вариантами значительно расширяются, и достигается высокая производительность обработки.

В многооперационных шлифовальных станках (рис. 4.10) смена абразивного инструмента требует больших затрат времени. Фирмой *Schaut* с целью уменьшения вспомогательного времени разработано

специальное многофункциональное устройство для замены инструмента с двумя автооператорами.

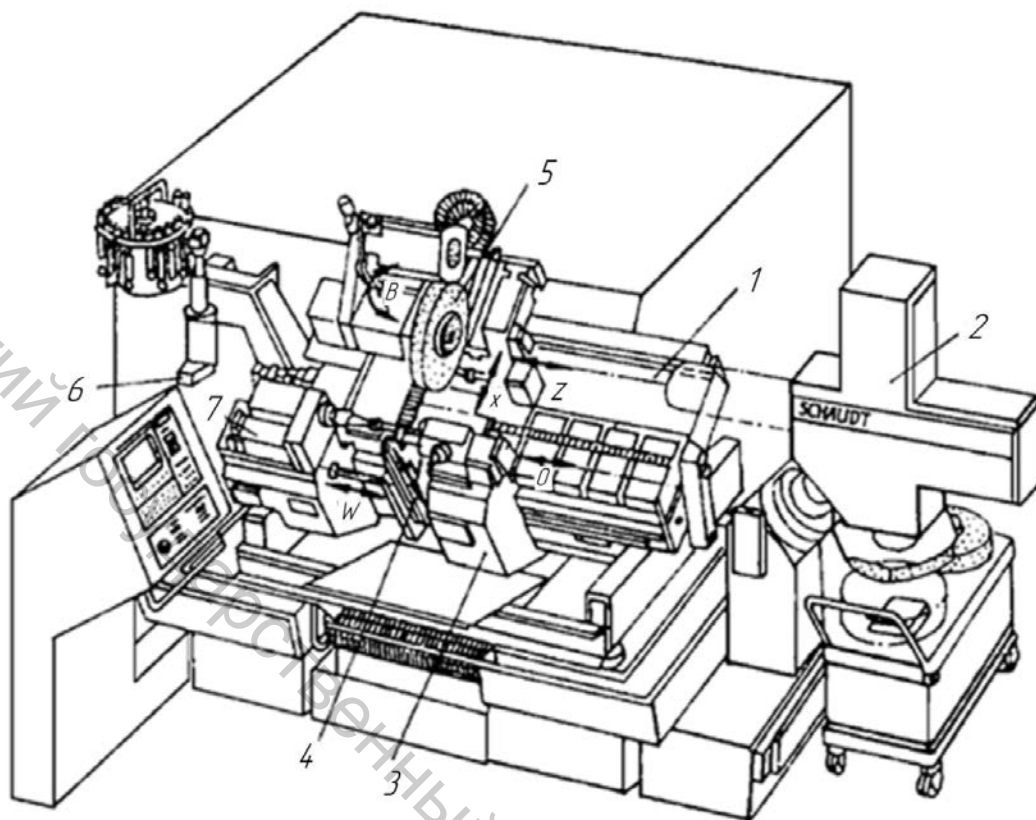


Рисунок 4.10 – Компонировка многооперационного шлифовального станка для наружного, внутреннего и профильного шлифования со сменными шлифовальными блоками

Замена инструмента для наружного шлифования производится автооператором 2 при правом крайнем положении шлифовальной головки 5, которая устанавливается в крайнем правом положении на наклонной станине 1. Смена инструмента для внутреннего шлифования осуществляется другим автооператором 6, обрабатываемая деталь закрепляется в передней 7 и задней 3 бабках. Для уменьшения влияния деформации длинных деталей на точность обработки на станине станка предусматривается специальный люнет и устройство для контроля размеров.

4.3 Механизированные приспособления для быстрого изменения положения заготовки

Наличие поворотного стола на станках существенно расширяет диапазон их применения. Конструкция данного узла определяет жёсткость агрегата, а, следовательно, и точность производимых на нём операций [74–75].

Рассматриваемый узел представляет собой тщательно отшлифованную поверхность, где имеются так называемые Т-образные пазы, предназначенные для позиционирования обрабатываемой детали. Пазы размещаются либо по дуге окружности, либо в продольном направлении (реже – в поперечном). Соответственно этому различают круглые и прямоугольные поворотные столы.

С наличием такого узла снятие металла (при фрезеровании, строгании и иным подобным операциям) может производиться сразу по пяти координатам, причём с одновременным поворотом заготовки на любой требуемый угол. Функциональность особенно повышается, если горизонтальный поворотный стол установлен на станке, оснащённом системой ЧПУ. В этом случае допустимо высокоточное оформление таких сложных переходов, как получение спиральных канавок, круглых радиусных переходов и других элементов контура повышенной сложности.

Поворотный стол может быть спроектирован и изготовлен в следующих вариантах: круглый, вертикально наклоняемый, горизонтальный поворотный стол.

Ручной поворотный стол металлорежущего станка обычно состоит из:

- массивного призматического корпуса;
- механизма перемещения (чаще – червячной передачи, конструкция которой обеспечивает точную установку заготовки относительно фрезерной головки станка);
- планшайбы – детали с Т-образными пазами и устройством для точной установки обрабатываемого изделия (рис. 4.11).



Рисунок 4.11 – Примеры ручных поворотных столов

В зависимости от технологического назначения данные узлы могут комплектоваться и иными приспособлениями.

Технологические характеристики, которые следует принимать во внимание при выборе их подходящего исполнения:

- угол поворота, град – до 360° ;
- точность наклона, град – не более 0,08;

– форма посадочного отверстия для соединения с основным столом станка – конус Морзе;

– размеры и количество Т-образных пазов (устанавливаются согласно индивидуальному заказу, но обычно составляют 12 мм по ширине и 6 шт. – по количеству);

– диаметр (для круглых исполнений) выбирается из размерного ряда 160, 250, 400, 630, 1000, 1250, 1600 и 2500 мм; более крупные узлы изготавливаются по спецзаказам, и под станки определённых моделей, в том числе – и с ЧПУ.

Относительно вариантов с ручным управлением дополнительно устанавливаются требования к червячному механизму – передаточное отношение, точность градуировки лимба и делительной окружности, а также модуль червяка и расстояние между геометрическим центром опорной плоскости и механизмом управления.

Для вертикальных и универсальных поворотных столов станков с ЧПУ предел вертикальной регулировки их относительного положения должен быть $0 \dots 90 \pm 5^\circ$.

Для обеспечения точности поворота используются специальные ограничивающие винты, которые устанавливаются на вертикальных торцах планшайбы. Перемещение производится включением микромуфты, которая при работающей фрезерной головке блокируется.

Поворотный стол для металлорежущих станков с ЧПУ дополнительно оснащают сельсинными электродвигателями (часто – шаговыми), что даёт возможность обрабатывать все перемещения в соответствии с поступающими управляющими командами. Наиболее часто встречаются такие конструкции для выполнения синхронного поворота стола станка с последующим перемещением по одной или нескольким координатам.

Точность отработки управляющих команд при минимальных потерях мощности сельсинного привода возможна тогда, когда необходимые перемещения выполняются при помощи радиально-аксиальных подшипников. Они нечувствительны к изгибающим моментам и поперечным силам, возникающим во время обработки массивных деталей.

Наклонные узлы имеют подобное строение, но дополнительно оснащаются устройствами ручного либо автоматического поворота планшайбы на фиксированный или плавающий угол (в последнем случае станок должен быть оснащён системой ЧПУ).

Поворотные ручные столы имеют механическую систему отсчёта, с применением измерительных лимбов. В современных конструкциях для станков с ЧПУ применяется цифровая система контроля, с индикацией координат на дисплейном устройстве.

На рисунке 4.12 приведены примеры современных поворотных столов для станков с ЧПУ.



а



б



в



г



д



е



ж



з

Рисунок 4.12 – Современные поворотные столы для станков с ЧПУ:
а – CNC поворотный стол (4 координаты), б – двухопорный поворотный стол с установочной плитой и вспомогательной задней опорой (горизонтальная ось), в – наклонно-поворотный стол (5 осей), г – система автоматической смены палет, д – наклонноповоротный стол (гидравлический механизм фиксации), е – однопалетный поворотный стол (вертикальная ось), ж – 4-осный мультишпиндельный поворотный стол, з – 5-осный мультишпиндельный поворотный стол

4.4 Устройства для установки и снятия заготовки

Автоматизация вспомогательных операций смены заготовок на станках с ЧПУ создает предпосылки для внедрения трудосберегающей (безлюдной) технологии в механообрабатывающем производстве, а также повышает эффективность за счет сокращения простоев станков между отдельными рабочими циклами. Из-за многообразия компоновочных схем станков и способов их загрузки, а также типов изготавливаемых деталей конструкции устройств для автоматической смены заготовок могут быть различными [76].

В автоматизированных станочных системах данные устройства, как правило, включают в состав гибкого производственного модуля для соединения его с транспортными и накопительными устройствами. При этом выбор конструкции загрузочного устройства к станку зависит от принятой схемы транспортно-накопительной системы. В то же время загрузочные устройства целесообразно механически отделить от станка для его виброизоляции. Конструктивная автономность устройств автоматической смены заготовок создает возможность их проектирования в виде достаточно универсальных манипуляционных механизмов, имеющих собственные приводы и средства электро-, гидро- или пневмоавтоматики.

Автоматические загрузочные устройства для заготовок типа тел вращения, обрабатываемых на многоинструментальных токарных или шлифовальных станках с ЧПУ, могут быть выполнены в виде манипуляторов с поворотным или рычажным захватным механизмом (рис. 4.13 и 4.14).

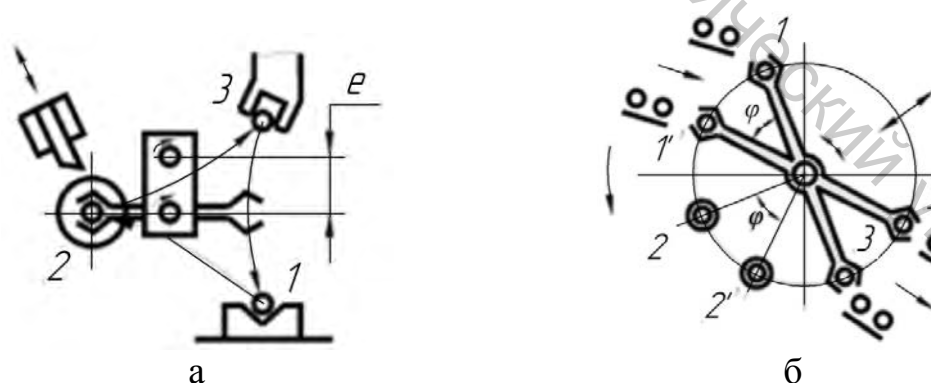


Рисунок 4.13 – Манипуляторы с поворотным и рычажным захватным механизмом:
а – гипоциклоидная, б – круговая траектории

Конструктивной особенностью приведенных на рисунках 4.13 а и 4.13 б поворотного загрузочного устройства является обеспечение ги-

поциклоидной траектории движения заготовки за счет одновременного вращения захватного устройства вокруг своей оси и поворота головки со схватом относительно параллельной оси, смещенной на величину эксцентриситета e . В этом случае при достижении конечных положений (позиций 1, 2, 3) скорость перемещения заготовки автоматически снижается, что повышает обеспечение точности ее позиционирования. Кроме того, при гипоциклоидной траектории движения центра схвата исключается возможность столкновения заготовки с резцедержателем станка, зажимными и транспортными устройствами, а также уменьшается время общего цикла обслуживания станка.

Для параллельного обслуживания двух рабочих позиций (например, в двухшпиндельном станке) загрузочное устройство выполняют двуруким не изменяющимся относительно положением рук на поворотном устройстве, определяемым углом φ между одноименными позициями 1 и 1', 2 и 2' и т.д.

Поворотные загрузочные устройства можно монтировать на консоли, жестко закрепленной на каретке, которая перемещается над станком по направляющим траверсы. Такая конструкция загрузочного устройства отличается компактностью и предназначена для обслуживания нескольких позиций, расположенных вдоль оси траверсы в рабочей зоне манипулятора. В других конструкциях загрузочных устройств их поворотная часть, несущая схваты, установлена неподвижно, например, на корпусе магазина-накопителя заготовок, образуя единый магазинный загрузочный механизм. Данный механизм для загрузки заготовок может передвигаться вдоль оси станка, освобождая рабочее пространство для обслуживания и наладки.

Рычажные загрузочные устройства предназначены для манипулирования тяжелыми заготовками типа валов (массой до 50 кг и длиной до 3 м), а также для загрузки средних по размерам заготовок фланцевого типа.

Рычажные устройства выдвижного типа выполнены в виде штока со схватом, совершающим возвратно-поступательное движение. Поворотные рычажные устройства представляют собой механическую руку с двумя или тремя степенями подвижности и захватным устройством (рис. 4.14).

Для рычажных устройств характерно двурукое исполнение: два манипулятора, которые установлены на общей каретке, перемещаемой по направляющим траверсы, совершают возвратно-поступательные движения, всегда находясь в противоположных позициях. При этом один манипулятор оперирует заготовками, а другой – деталями. Для одновременного манипулирования заготовкой и деталью манипулятор может быть двухзахватным с дополнительным поворотным движением головки относительно оси руки на угол 180°.

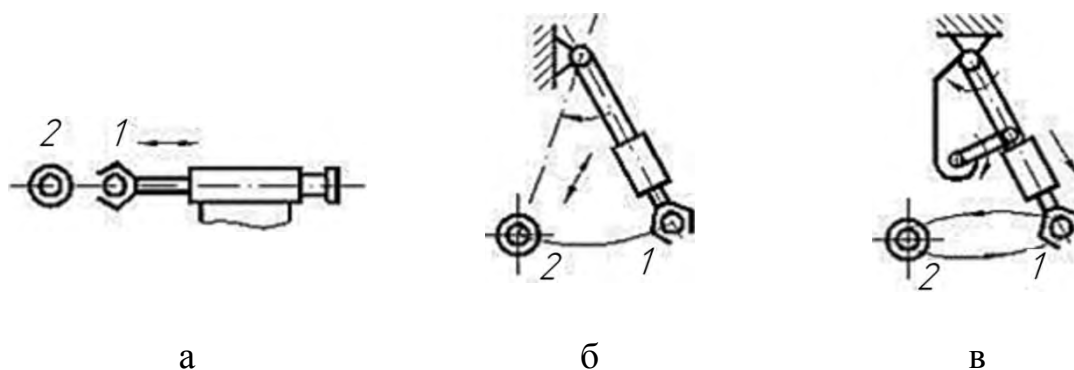


Рисунок 4.14 – Рычажные загрузочные устройства:
а – прямолинейная, б – круговая, в – эллиптическая траектории

Автоматическая смена заготовок призматического типа, обрабатываемых на многооперационных станках с ЧПУ, может быть осуществлена двумя принципиально различными способами: с использованием многопозиционных рабочих столов станка, имеющих возвратно-поступательное или поворотное делительное движение, или автономных загрузочных устройств, установленных рядом со станком.

При первом способе загрузки на столе станка устанавливают несколько приспособлений-спутников таким образом, чтобы во время обработки заготовки на рабочей позиции на других вспомогательных позициях были возможны снятие обработанной детали или установка очередных заготовок.

В большинстве многооперационных станков используют различные схемы автоматической смены столов-спутников с автономными одно-, двух- или многоместными загрузочными устройствами (рис. 4.15–4.17). Применение сменных столов-спутников, на которых заготовки предварительно закрепляются, а затем переносятся в рабочую позицию либо переустанавливаются при многопозиционной обработке, контролируются и передаются на межстаночные транспортные средства, даст возможность автоматически сменять заготовки любой формы и обеспечивать их постоянное базирование в процессе обработки.

Одноместные загрузочные устройства располагают вдоль продольной оси станка по обе стороны его стола (рис. 4.15 а). Цикл смены заготовки включает в себя прямолинейное перемещение стола станка к свободному загрузочному устройству для переустановки на него стола-спутника с обработанной деталью, а затем к другому загрузочному устройству, на котором находится стол-спутник с очередной заготовкой. Для сокращения времени смены заготовки можно использовать дополнительные подвижные каретки, которые при смене стола-спутника одновременно подводятся с двух сторон к зафиксированному в центральной позиции столу станка. Однако в этом случае конструкция загрузочного устройства усложняется.

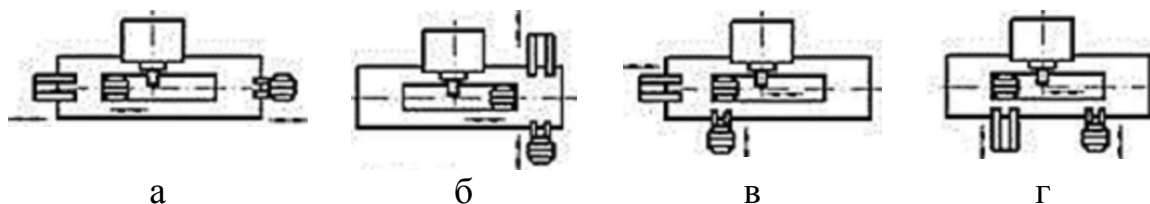


Рисунок 4.15 – Одноместные загрузочные устройства:
а – продольная, б – Т-образная, в – Г-образная, г – П-образная схемы

При Т-образной схеме перемещений столов-спутников (рис. 4.15 б) два одноместных загрузочных устройства установлены поперечно по обе стороны стола станка в его крайнем положении, что позволяет произвести смену заготовки при одном продольном перемещении стола в позицию загрузки, а для поперечных перемещений столов-спутников использовать общий привод.

Г-образная схема перемещений столов-спутников (рис. 4.15 в) предполагает размещение двух одноместных загрузочных устройств под прямым углом друг к другу в одном из крайних положений стола.

Широкое применение находит П-образная схема перемещений столов-спутников (рис. 4.15 г), расположенных на двух одноместных загрузочных устройствах, которые установлены перпендикулярно к оси стола станка, симметрично относительно его центра.

Двухместные загрузочные устройства в отличие от одноместных имеют две платформы с направляющими для установки на них столов-спутников. При этом платформы имеют собственный общий привод, обеспечивающий либо маятниковый цикл движений вдоль продольной оси станка (рис. 4.16 а), либо поворотное движение на угол 180° относительно вертикальной оси (рис. 4.16 б).

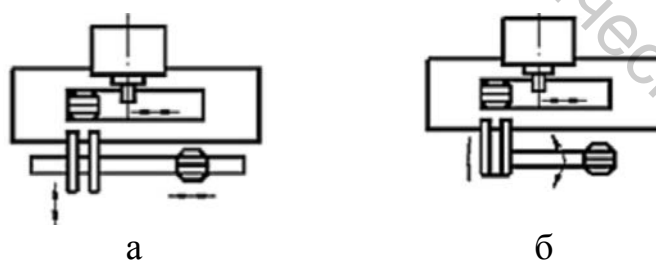


Рисунок 4.16 – Двухместные загрузочные устройства:
а – поперечная, б – поперечная с поворотом схемы

Для обеспечения работы станка без вмешательства оператора применяют многоместные загрузочные устройства (рис. 4.17).

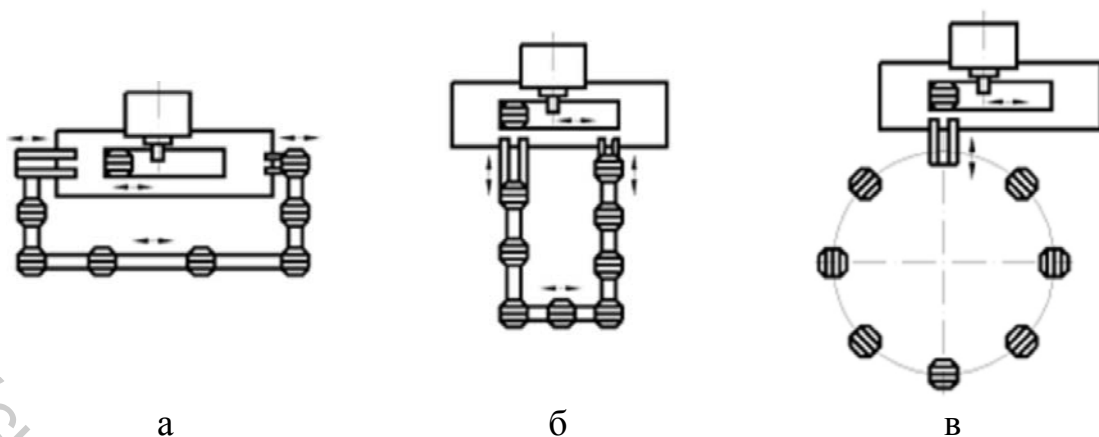


Рисунок 4.17 – Схемы многоместных загрузочных устройств:
а – продольная двухсторонняя, б – поперечная с параллельным перемещением транспортера, в – поперечная с кольцевым движением транспортера

Схема, показанная на рисунке 4.17 а, соответствует загрузке станка заготовками, установленными на столах спутниках, с платформ, которые расположены вдоль продольной оси станка с двух противоположных сторон. Многоместное загрузочное устройство, показанное на рисунке 4.17 б, обеспечивает параллельное перемещение столов-спутников, перпендикулярно оси стола станка. Многоместные загрузочные устройства можно строить по типу карусельного транспортирующего механизма с поперечным движением стола-спутника в перегрузочной позиции (рис. 4.17 в).

На рисунке 4.18 приведено загрузочное устройство токарного станка с ЧПУ.



Рисунок 4.18 – Загрузочное устройство для токарного станка

4.5 Промышленные роботы и автооператоры

В наше время производство все больше автоматизируется с целью его усовершенствования, именно в этих целях востребованы промышленные роботы, как составная часть автоматизированного производства.

Промышленный робот – автономное устройство, состоящее из механического манипулятора и перепрограммируемой системы управления, которое применяется для перемещения объектов в пространстве в различных производственных процессах. Промышленные роботы являются важными компонентами автоматизированных гибких производственных систем (ГПС), которые позволяют увеличить производительность труда. В составе робота есть механическая часть и система управления этой механической частью, которая в свою очередь получает сигналы от сенсорной части. Механическая часть робота делится на манипуляционную систему и систему передвижения:

Манипулятор – это механизм для управления пространственным положением орудий и объектов труда.

Манипуляторы включают в себя подвижные звенья двух типов:

- звенья, обеспечивающие поступательные движения;
- звенья, обеспечивающие угловые перемещения.

Сочетание и взаимное расположение звеньев определяет степень подвижности, а также область действия манипуляционной системы робота.

Для обеспечения движения в звеньях могут использоваться электрические, гидравлический или пневматический привод.

Частью манипуляторов (хотя и необязательной) являются захватные устройства. Наиболее универсальные захватные устройства аналогичны руке человека – захват осуществляется с помощью механических «пальцев». Для захвата плоских предметов используются захватные устройства с пневматической присоской. Для захвата же множества однотипных деталей (что обычно и происходит при применении роботов в промышленности) применяют специализированные конструкции. Вместо захватных устройств манипулятор может быть оснащен рабочим инструментом.

Внутри помещений, на промышленных объектах используются *передвижения роботов* вдоль монорельсов, по напольной колее и т.д. Для перемещения по наклонным, вертикальным плоскостям используются системы, аналогичные «шагающим» конструкциям, но с пневматическими присосками.

Управление роботом бывает нескольких типов:

1. Программное управление – самый простой тип системы управления, используется для управления манипуляторами на промышленных объектах. В таких роботах отсутствует сенсорная часть, все дей-

ствия жёстко фиксированы и регулярно повторяются. Для программирования таких роботов могут применяться среды программирования типа VxWorks/Eclipse или языки программирования, например, Forth, Оберон, Компонентный Паскаль, Си. В качестве аппаратного обеспечения обычно используются промышленные компьютеры в мобильном исполнении PC/104 режисе MicroPC. Может происходить с помощью ПК или программируемого логического контроллера.

2. Адаптивное управление – роботы с адаптивной системой управления оснащены сенсорной частью. Сигналы, передаваемые датчиками, анализируются и в зависимости от результатов принимается решение о дальнейших действиях, переходе к следующей стадии действий и т.д.

3. Основанное на методах искусственного интеллекта.

4. Управление человеком (например, дистанционное управление).

Современные роботы функционируют на основе принципов обратной связи, подчинённого управления и иерархичности системы управления роботом.

Иерархия системы управления роботом подразумевает деление системы управления на горизонтальные слои, управляющие общим поведением робота, расчётом необходимой траектории движения манипулятора, поведением отдельных его приводов, и слои, непосредственно осуществляющие управление двигателями приводов.

Подчинённое управление служит для построения системы управления приводом. Если необходимо построить систему управления приводом по положению (например, по углу поворота звена манипулятора), то система управления замыкается обратной связью по положению, а внутри системы управления по положению функционирует система управления по скорости со своей обратной связью по скорости, внутри которой существует контур управления по току со своей обратной связью. Современный робот оснащён не только обратными связями по положению, скорости и ускорениям звеньев.

При захвате деталей робот должен знать, удачно ли он захватил деталь. Если деталь хрупкая или её поверхность имеет высокую степень чистоты, строятся сложные системы с обратной связью по усилию, позволяющие роботу схватывать деталь, не повреждая её поверхность и не разрушая её. Управление роботом может осуществляться как человеком-оператором, так и системой управления промышленным предприятием (ERP-системой), согласующими действия робота с готовностью заготовок и станков с числовым программным управлением к выполнению технологических операций.

Классификация промышленных роботов:

1. По виду производства промышленные роботы делят на специальные, специализированные и универсальные.

Специальные промышленные роботы выполняют определенную технологическую операцию или вспомогательную модель оборудования.

Специализированные промышленные роботы выполняют операции одного вида, например, сварку, сборку, и обслуживают определенную группу моделей оборудования.

Универсальные промышленные роботы являются наиболее усовершенствованными представителями промышленных роботов, служат для выполнения разных операций и функционируют с оборудованием различного назначения (разнородных операций).

2. По грузоподъемности разделяют промышленные роботы на сверхлегкие (грузоподъемность не более 1 кг), легкие (грузоподъемность от 1 до 10 кг), средние (грузоподъемность от 10 до 200 кг), тяжелые (грузоподъемность от 200 до 1000 кг) и сверхтяжелые (где грузоподъемность свыше 1000 кг).

3. По возможности передвижения промышленные роботы подразделяют на стационарные и подвесные.

Стационарные имеют ориентирующие и транспортирующие движения.

Транспортирующие промышленные роботы дополнительно к этим двум движениям (ориентирующим и транспортирующим) имеют и координатные перемещения.

4. По числу степеней подвижности промышленные роботы выпускают роботы с 2, 3, 4 и более степеней подвижности.

5. По способу установки промышленные роботы делят на встроенные (хотя встроенные промышленные роботы и считаются компактными в плане габаритов, но при этом они обслуживают только один станок), подвесные (возможность обслуживания до 2 станков) и напольные (возможность обслуживания до 2 и более станков, но при этом они имеют более сложные задачи, например, обеспечить смену инструмента).

6. По виду привода промышленные роботы подразделяют на роботы с электрическим, гидравлическим, пневматическим и комбинированным приводом.

7. По виду управления промышленные роботы различают:

- роботы с программным управлением (цикловым, числовым, позиционным и контурным);

- роботы с адаптивным управлением (промышленные роботы с адаптивным управлением имеют измерительные устройства и устройства для восприятия внешней среды, управляющая программа или УП в этом случае не должна содержать всю необходимую информацию).

8. По способу программирования различают промышленные роботы, программируемые обучением (по методу обучения оператор, управляя промышленным роботом, приводит его захватное устройство

или ЗУ из одного конечного положения в другое через серию точек, которые фиксируются в запоминающем устройстве промышленного робота и при обработке следующих деталей захватное устройство будет двигаться по этим точкам) и аналитические (путем расчета программ).

Различают следующие *движения* в промышленных роботах:

1. Транспортирующие движения служат для перемещения ЗУ в различные точки рабочего транспорта.
2. Ориентирующие движения передают захватному устройству (ЗУ) необходимое положение в заданной точке рабочей зоны.
3. Координатные движения обеспечивают перемещения ПР между отдельными производственными позициями. Рабочие движения промышленных роботов направлены на удержание объекта и перемещения его в заданных направлениях. Система координат ПР определяет компоновочную схему ПР и форму рабочей зоны: прямоугольная плоская, прямоугольная пространственная, полярная, цилиндрическая, сферическая.

Технические характеристики промышленных роботов:

1. Грузоподъемность промышленного робота определяется наибольшей массой изделия (например, детали, инструмента или приспособления), которым он может манипулировать в пределах рабочей зоны.
2. Число степеней подвижности промышленного робота определяется общим числом поступательных и вращательных движений манипулятора, без учета движений зажима-разжима его захвата. Большинство промышленных роботов в машиностроении имеет до пяти степеней подвижности.
3. Рабочая зона определяет пространство, в котором может перемещаться захват манипулятора. Обычно оно характеризуется наибольшими перемещениями захватного устройства вдоль и вокруг каждой оси координат.

Мобильность промышленного робота определяется его способностью совершать разные по характеру движения: перестановочные (транспортные) перемещения между рабочими позициями, находящимися на расстоянии, большем, чем размеры рабочей зоны манипулятора; установочные перемещения в пределах рабочей зоны, определяемой конструкцией и размерами манипулятора; ориентирующие перемещения захвата, определяемые конструкцией и размерами кисти – конечного звена манипулятора. Промышленные роботы могут быть стационарными, не имеющими перестановочных перемещений, и передвижными, обеспечивающими все названные виды движений.

Целесообразность использования промышленных роботов обусловлена следующим факторами:

- достаточно быстрая окупаемость;

- исключение влияния человеческого фактора на конвейерных производствах, а также при проведении монотонных работ, требующих высокой точности;
- повышение точности выполнения технологических операций и, как следствие, улучшение качества;
- возможность использования технологического оборудования в три смены, даже 365 дней в году;
- рациональность использования производственных помещений;
- исключение воздействия вредных факторов на персонал на производствах с повышенной опасностью.

Рабочий процесс автооператоров более сложен: они выполняют как загрузку, так и разгрузку машины, а иногда и операции дополнительного транспортирования.

4.6 Контршпиндель

Зачастую для изготовления детали требуется ее обработка с обеих сторон. Для этой цели станки оснащаются контршпинделями (рис. 4.19) и механизмом подачи прутка. Подобная комбинация позволяет осуществлять безлюдное производство деталей [80–81].

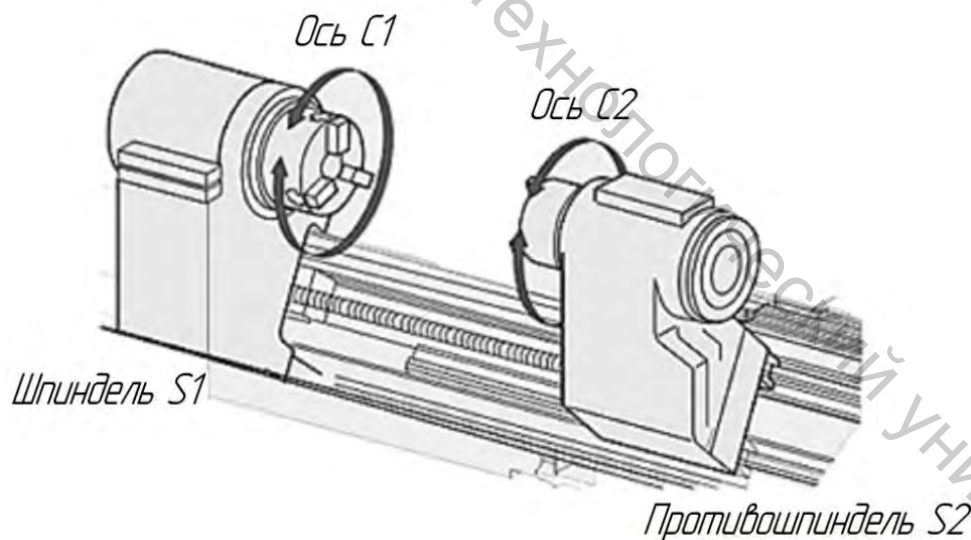


Рисунок 4.19 – Схема станка с контршпинделем

Установка контршпинделя *S2* с полной осью *C2* позволяет вести обработку детали с обратной стороны без дополнительной перестановки детали, следовательно, сэкономить время, необходимое на полную обработку детали. Эта возможность позволяет обрабатывать детали повышенной сложности и точности.

Контршпиндель можно использовать как для одновременной обработки двух заготовок, так и для «перехвата» детали с целью обработки той ее части, которая была зафиксирована в основном шпинделе. Таким образом, при наличии второго шпинделя деталь любой сложности можно изготовить на одном станке. Система управления позволяет синхронизировать вращение обоих шпинделей, поэтому «перехват» можно осуществить прямо на ходу, не останавливая двигатель. Благодаря этому повышается производительность станка.

4.7 Устройства для автоматического активного контроля обрабатываемой детали

По воздействию на технологический процесс автоматические средства контроля параметров деталей можно разделить на две группы:

- пассивные, осуществляющие лишь рассортировку деталей по результатам контроля;
- активные, которые при определенном изменении контролируемой величины автоматически изменяют ход технологического процесса и обеспечивают заданную точность обработки [82–83].

Активному контролю могут подвергаться линейные и угловые размеры деталей, формы поверхностей деталей, взаимное расположение линий и поверхностей в пространстве, параметры шероховатости и т.п. Активный контроль является одним из наиболее прогрессивных методов контроля. Его осуществляют главным образом в массовом и крупносерийном производстве.

Под автоматическими устройствами для контроля понимаются устройства, которые без вмешательства человека выполняют всю совокупность движений, необходимых для выяснения действительных параметров деталей, производят измерения в процессе обработки, сортируют детали по величине их отклонений от номинальных размеров и управляют режимом работы основного технологического оборудования.

По способу воздействия на исполнительные органы станка известны устройства активного контроля трех типов: 1) автооператоры – устройства, изменяющие или прекращающие процесс обработки в момент выхода действительного размера изделия за поле допуска; 2) автоподналадчики – устройства, которые, воздействуя на механизм наладки станка, изменяют расположение рабочих органов станка относительно обрабатываемой поверхности изделия и не позволяют размерам последующего обрабатываемого изделия выходить за определенные границы; 3) автоблокировщики – защитные устройства, служащие для контроля изделия до и после обработки на данном станке. Автоблокировщики либо не допускают попадания на станок изделий, у которых размер,

форма или расположение поверхностей отличаются от требуемых, либо останавливают станок в случае поломки режущего инструмента или выхода контролируемого параметра изделия за установленные пределы.

По использованию сигнала приборы активного контроля разделяют на командные (сигнал поступает в систему автоматического управления станком), показывающие, сигнальные и сигнально-показывающие (позволяют оператору использовать информацию прибора для ручного управления станком). Командные приборы могут иметь отсчётные или сигнальные устройства.

По принципу действия приборы активного контроля могут быть механические (например, с использованием индикатора часового типа), пневматические, индуктивные и ёмкостные.

Для активного автоматического контроля размеров широкое распространение получили приборы с рычажными и безрычажными элементами. Рычажные устройства имеют особо важное значение в приборах, предназначенных для активного контроля деталей малых размеров. Рычаги могут быть небольшими и легкими, а результаты измерения контролируемой детали можно вывести за пределы рабочей зоны станка. При обработке деталей малых размеров рабочая зона бывает очень загруженной, что мешает помещать чувствительные головки (датчики) активных устройств в непосредственной близости от обрабатываемой детали. Для увеличения надежности и срока службы рычажного прибора его измерительный наконечник, соприкасающийся с обрабатываемой деталью, оснащается насадкой из твердого сплава.

Наибольшее распространение средства активного контроля получили на станках шлифовальной группы, где необходимо обеспечить высокую точность обработки при относительно низкой размерной стойкости инструмента (шлифовальных кругов). В последние годы активный контроль начинают широко применять на токарных, фрезерных, сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ.

На рисунке 4.20 показана принципиальная схема односторонней коррекции уровня размерной настройки при бесцентровом шлифовании колец подшипников. Прошлифованные кольца, двигаясь сплошным потоком, поступают на позицию измерения и контролируются измерительным устройством (ИУ). Результаты измерения (в виде уровней напряжения) поступают в счетно-логическое устройство (СЛУ), которое по определенному алгоритму вырабатывает команду, передаваемую исполнительному устройству (ИСУ) или приводу, который обеспечивает выполнение данной команды, т.е. изменяет позицию бабки шлифовального круга.

Применение тех или других измерительных устройств зависит главным образом от следующих основных факторов: точности измеряемых деталей, их формы и размеров, числа контролируемых параметров, требуемой производительности и экономичности. Так как каждый ме-

тод измерения сопровождается собственными погрешностями, при выборе измерительных средств пользуются соотношением между величиной допуска на изготовление детали и погрешностью метода измерения. Рекомендуется допускать погрешность метода измерения не более допуска контролируемой детали.

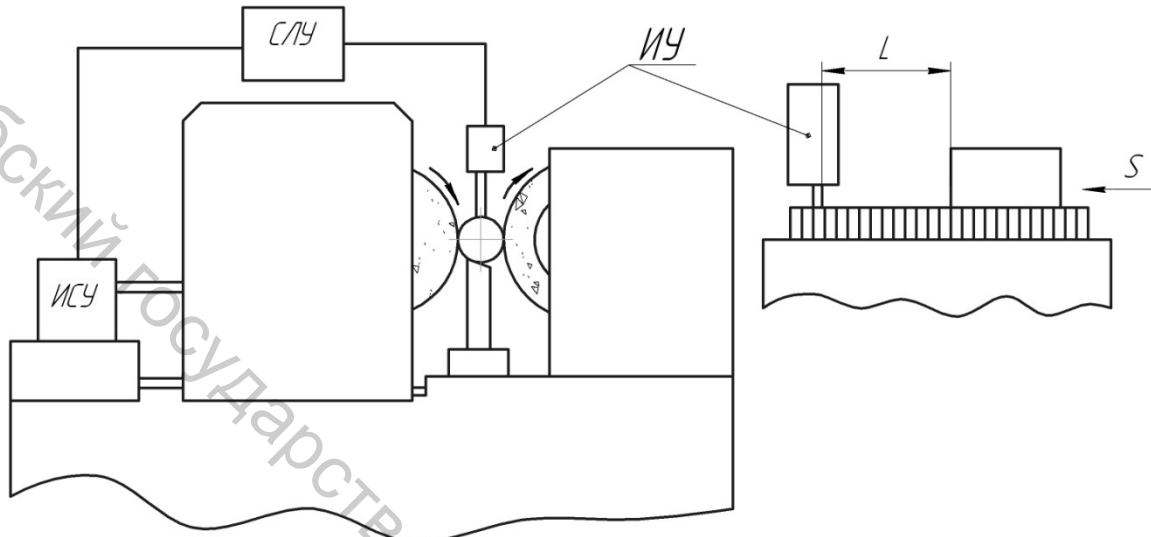


Рисунок 4.20 – Схема односторонней коррекции уровня размерной настройки

Измерительные приборы, в том числе и измерительные контрольные устройства, делятся на устройства, основанные на прямом методе измерения, косвенном и комбинированном. При прямом методе измерения наконечник контрольного устройства все время находится в контакте с поверхностью изготавливаемой детали и непосредственно контролирует ее размер. При достижении заданного размера контрольное устройство автоматически подает сигнал об окончании обработки или необходимости изменения ее режима. Контрольные устройства, основанные на косвенном методе измерения, не имеют непосредственного соприкосновения с поверхностью изготавливаемой детали, так как окончание процесса обработки определяется здесь не моментом достижения деталью заданного размера, а величиной перемещения рабочего органа станка, несущего режущий инструмент, до упора. При комбинированном методе измерения контролируются одновременно положение режущего инструмента и размер обрабатываемой поверхности.

На рисунке 4.21 показан подналадчик для круглошлифовальных бесцентровых, токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ, обрабатывающих центров. Его назначение – контроль внутренних и наружных размеров деталей после их обработки на станках с выдачей в систему управления станками информации о необходимой подналадке оборудования.



Рисунок 4.21 – Подналадчики для круглошлифовальных бесцентровых, токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков

На рисунке 4.22 показан микропроцессорный прибор для контроля деталей с непрерывной поверхностью.



Рисунок 4.22 – Прибор для контроля деталей с непрерывной поверхностью

4.8 Измерения на станках с ЧПУ с помощью системы датчиков и щупов

Появление станков с ЧПУ серьезно изменило подход к вопросу контроля инструмента, заготовки и детали при подготовке и в процессе обработки. Сами этапы выполнения работ остались неизменными:

- измерение и установка заготовки с заданным ориентированием ее относительно осей станка (привязка заготовки);
- измерение и установка инструмента в рабочий орган станка, а также его привязка;
- предварительная обработка детали;
- промежуточный контроль состояния и размеров инструмента;
- промежуточный контроль размеров детали;
- ввод корректив по результатам промежуточного контроля;
- окончательная обработка с учетом корректив;
- измерение размеров готовой детали с выводом о ее соответствии требованиям чертежа [87–99].

Для станков с ЧПУ привязка инструмента производится не к детали (по первой стружке), а к системе координат станка. К ней же привязывается заготовка. Это позволяет разделить две процедуры привязки и сделать их независимыми. Для станков с ЧПУ доля времени на вспомогательные операции (измерение, привязка, контроль) при «ручном» их исполнении становится непомерно большой в общем цикле изготовления детали. Это связано с высоким уровнем автоматизации и большей производительностью непосредственного процесса обработки. Весь процесс обработки происходит, что называется за «закрытыми дверями». Для промежуточного контроля станок необходимо останавливать. Кроме того, поломка инструмента остается незамеченной, и станок продолжает обработку огрызком резца или фрезы.

Все это привело к появлению автоматизированных систем привязки и контроля инструмента и детали, которые интегрированы, как правило, с системой ЧПУ станка. Сердцем такой системы является комплект датчиков и щупов, которые обеспечивают измерения, а также комплект программного обеспечения, который обеспечивает интеграцию с системой ЧПУ и предлагает ряд разнообразных возможностей (рис. 4.23).

Рассмотрим возможности подобных систем на примере продукции известнейшей в этой области компании *Renishaw*. Большинство клиентов *Renishaw* применяет датчики для привязки заготовки к системе координат станка и для осуществления перехода в рабочую систему координат в системе ЧПУ станка. Все измерения выполняются в автоматическом режиме, включая обновление коррекции в системе ЧПУ станка, что позволяет исключить влияние человеческого фактора и необходимость в постоянном присутствии оператора. Другое широко распространение применение датчиков *Renishaw* – распределение припусков перед началом финишной обработки. По окончании черновой обработки выполняются измерения, результаты которых загружаются в систему ЧПУ. Затем на основании результатов измерений происходит автоматическая корректировка программы финишной обработки станка.



Рисунок 4.23 – Датчики и щупы для станков с ЧПУ

В основе системы находятся два элемента:

- датчик для измерения и контроля инструмента;
- датчик (щуп) для контроля детали.

Между датчиками и системой ЧПУ станка, на котором используется эти датчики, должна быть установлена связь. Сигнал срабатывания датчика должен попадать в систему ЧПУ станка, чтобы зарегистрировать момент касания заготовки или инструмента щупом датчика. Кроме того, между системой ЧПУ и датчиком должна существовать обратная связь, чтобы устройство ЧПУ станка могло управлять работой датчика. Эта связь может быть оптической, индуктивной, радиочастотной или проводной (рис. 4.24). Щупы для контроля детали находятся в инструментальном магазине станка и устанавливаются в шпиндель сменщиком инструмента.

Датчики контроля инструмента устанавливаются, как правило, на рабочем столе станка и соединены с ЧПУ проводной связью.

Этапы и возможности измерений:

1. *Привязка к системе координат станка.* Датчик позволяет определить положение заготовки, обновляя автоматически значения рабочих смещений и обеспечивая правильность обработки детали с первого раза.

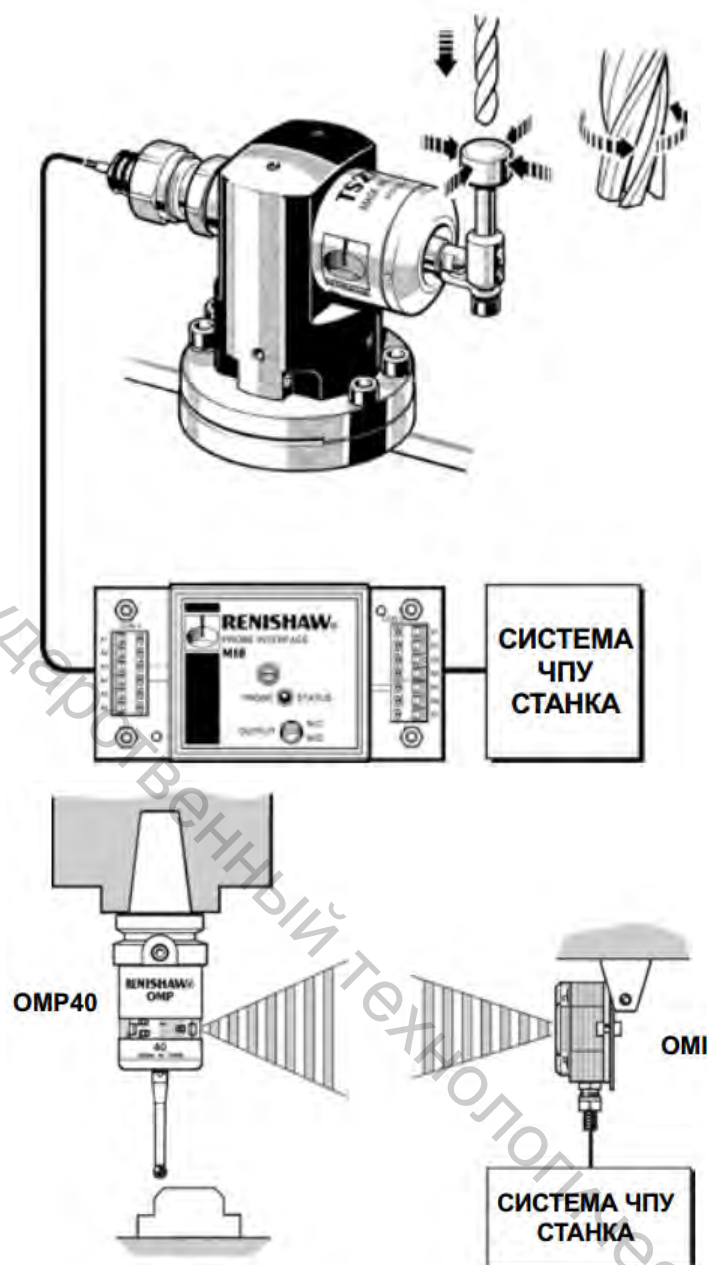


Рисунок 4.24 – Система контроля

Датчик также может быть использован для:

- идентификации заготовок при использовании гибких производственных систем;
- определения положения заготовки, а также обнаружения ее неправильной загрузки с целью исключения брака;
- распределения припусков на обработку с тем, чтобы быстро и безопасно подвести режущий инструмент к заготовке.

2. *Контроль первой детали.* При изготовлении партии одинаковых изделий контроль первой детали непосредственно на станке позволяет:

- снизить время простоя станка, связанное с ожиданием результатов проверки на дополнительном устройстве вне станка;

– производить автоматическую коррекцию любых ошибок.

3. *Контроль внутри технологического процесса.* Измерение параметров деталей после предварительной обработки с тем, чтобы:

- обеспечить необходимую точность финишной обработки;
- выявить ошибки, прежде чем они приведут к появлению бракованного изделия.

Периодичность измерений определяется стоимостью изготавливаемой детали и степенью уверенности в неизменности характеристик станка на протяжении всего процесса обработки.

Проверять основные параметры изделия в процессе автоматической обработки обычно приходится при изготовлении дорогостоящих деталей.

4. *Окончательный контроль.* Контроль детали на соответствие заданным допускам по окончании обработки позволяет:

- убедиться в том, что изготовленное изделие соответствует заданным техническим требованиям;
- получать размеры обработанных изделий для статистического мониторинга процесса обработки.

5. *Наладка инструмента.* Неподвижный или вращающийся инструмент подводится к щупу датчика и касается его наконечника:

- наладка по длине неподвижного инструмента (метчики, сверла и т.п.);
- наладка по длине вращающихся торцевых фрез и другого крупногабаритного режущего инструмента;
- наладка вращающегося инструмента (шпоночные фрезы, расточные оправки и т.п.) по диаметру.

6. *Контроль инструмента.* Контроль длины и диаметра режущего инструмента перед началом обработки, для того чтобы исключить ошибки при выборе инструмента.

7. *Определение поломки инструмента.* Быстрая проверка режущего инструмента на предмет поломки (изменения длины) после окончания обработки.

8. *Постпроцессоры Renishaw* обеспечивают совместимость программного обеспечения Productivity+™ с большинством систем ЧПУ.

4.9 Индуктивные и оптоэлектронные системы измерений

Индуктивные измерительные устройства, использующие преобразование измеряемой величины в изменение параметров катушки индуктивного датчика, применяются для измерения и контроля разнообразных параметров технологических процессов. Однако наиболее распространенными и совершенными с метрологической точки зрения яв-

ляются индуктивные измерительные устройства для линейных перемещений [85–86].

Индуктивные измерительные устройства для линейных измерений получают все более широкое распространение. Индуктивные измерительные устройства имеют высокую точность измерений, позволяют получить унифицированный электрический сигнал, пропорциональный результатам измерений, в аналоговой или цифровой форме для использования в автоматизированных системах управления; имеют возможность автоматического управления исполнительными объектами по результатам контроля, в том числе непосредственно в процессе выполнения технологической операции.

Большое распространение индуктивные измерительные устройства получили за рубежом, где они занимают ведущее место в производственных программах инструментальных фирм как по номенклатуре, так и по объему.

Характерной особенностью индуктивных измерительных устройств является то, что они выпускаются во многих вариантах (рис. 4.25) для решения разнообразных измерительных задач, например, в исполнении для визуального отсчета; с управляющими командами при их различном количестве; для контроля погрешности формы; с вычислением статистических характеристик из результатов измерений и т.д.



Рисунок 4.25 – Индуктивные измерительные устройства

В состав гаммы индуктивных измерительных устройств входит или отдельный самописец или индуктивный самопишущий прибор. Приборы имеют возможность использования в автоматизированных системах обработки информации. Значительное внимание уделяется приборам управляющего контроля в процессе обработки, которые выпускаются в нескольких модификациях. Все большее распространение получают приборы с цифровым отсчетом.

Наибольшую сложность при разработке индуктивного измерительного устройства представляет оптимизация конструкции индуктивного датчика. Применяемые для расчета последних выводы электромагнитной теории цепей не учитывают метрологическую сущность индук-

тивного датчика и не устанавливают в очевидной форме связь его конструктивных и метрологических характеристик. Это приводит к возможности осуществления для индуктивного датчика лишь приближенного проверочного расчета градуировочной характеристики при его известной конструкции.

На рисунках 4.26 а и б приведены схемы контактного датчика размера с катушкой индуктивности, имеющей ферромагнитный сердечник. Сердечник катушки разделен на две части – неподвижную, называемую собственно сердечником и несущую катушку индуктивности, и подвижную, закрепленную на измерительном стержне и называемую якорем. Изменение размера детали или ее перемещение приводит к перемещению якоря относительно сердечника и к изменению немагнитного зазора в магнитопроводе катушки. Последнее вызывает изменение индуктивности катушки и, следовательно, изменение ее полного сопротивления.

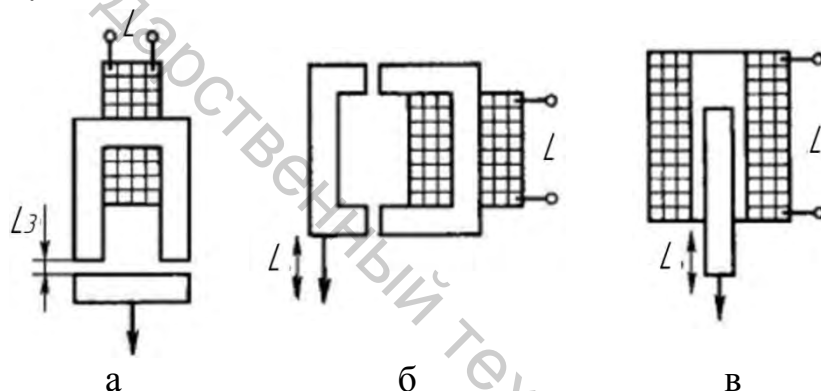


Рисунок 4.26 – Принципиальные схемы индуктивных датчиков

Можно построить и бесконтактный индуктивный датчик, используя схему, приведенную на рисунке 4.26 в. В этом случае якорем служит сама контролируемая деталь, и через нее замыкается магнитный поток, создаваемый катушкой в сердечнике. Изменение размера детали ведет к изменению зазора L_3 и к изменению индуктивности катушки L . По бесконтактной схеме можно контролировать как ферромагнитные, так и неферромагнитные металлические детали. В последнем случае датчик работает с использованием эффекта вихревых токов. Индуктивный датчик может быть построен по схеме с перемещением в магнитном поле катушки ферромагнитного разомкнутого сердечника. Такие датчики называют соленоидными.

Под *оптоэлектроникой* понимается область науки и техники, которая занимается изучением вопросов совместного использования оптики и электроники. Так как оптические элементы, такие как линзы и призмы должны всегда быть зафиксированы в пространстве при помощи механических частей, часто с высокой степенью точности, оптические приборы обычно состоят из изготовленных и собранных с высокой

точностью элементов. Оптические приборы также часто имеют встроенный компьютер. Оптоэлектроника предполагает знания в областях оптики, электроники и высокоточной механической обработки, а также в области компьютерных технологий и программирования.

Когерентные источники света (лазеры), когерентная оптика и оптоэлектронные преобразователи образуют основу датчиков класса *лазерных измерительных систем* [87–98].

Различные методы использования лазерных системных датчиков позволяют создавать лазерные измерительные системы для целей локализации, гироскопии, измерения как линейных, так и угловых перемещений, скоростей, ускорений и т.п. Практически во всех названных областях с помощью лазерных систем были получены возможности производить измерения с высокой чувствительностью, в некоторых случаях – с повышенной точностью.

Лазерные системы измерения геометрических параметров могут функционировать на различных принципах, реализующих те или иные свойства лазерного излучения, обусловленные его когерентностью. Монохроматичность используется для защиты от фонового излучения, направленность, благодаря концентрации энергии, позволяет проводить измерения на протяжённых трассах, пространственная и временная когерентности лежат в основе разнообразных интерференционных схем измерения.

Управление параметрами излучения как в пространственной (структурированные лазерные пучки), так и временной (длительность импульсов, частота электромагнитной волны) способствует дальнейшему расширению спектралестандартных бесконтактных методов измерения геометрических параметров изделий (рис. 4.27).

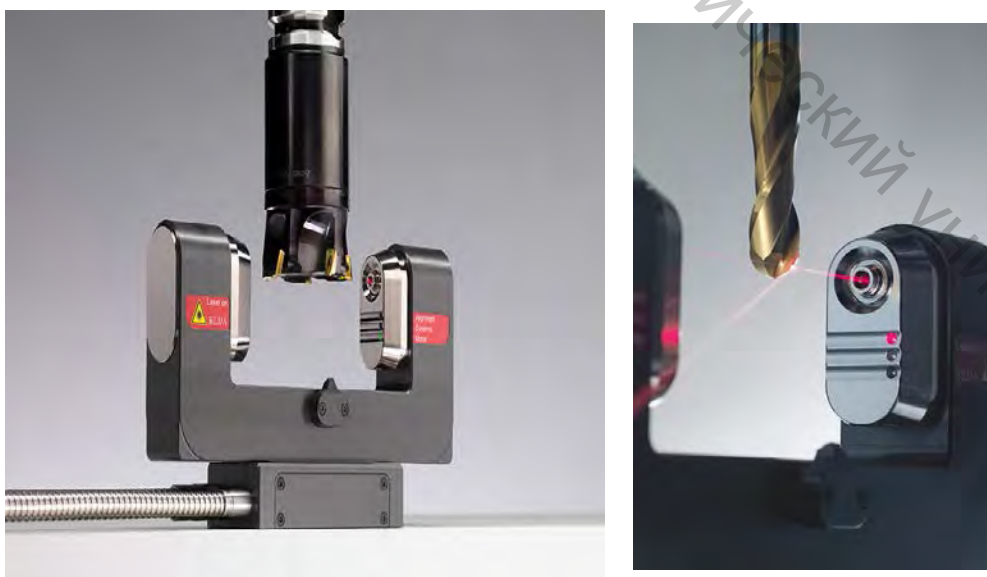


Рисунок 4.27 – Лазерная система измерения инструментов

Принцип работы *лазерного трекера* состоит в измерении двух углов и расстояния (рис. 4.28). Трекер посылает лазерный луч к световозвращающему отражателю, который приводится в соприкосновение с поверхностью измеряемого объекта. Луч, отражённый от цели, возвращается по тому же пути и принимается трекером в той самой точке, откуда он был испущен. Часть отражённого световозвращателем света поступает в измеритель расстояний, который вычисляет расстояние от трекера до рефлектора. Измеритель расстояний может быть двух типов: *интерферометр* (laser interferometers, IFM) или *измеритель абсолютных расстояний* (absolute distance meter, ADM). Лазерный трекер содержит два датчика угла поворота головки (энкодера). Эти устройства измеряют угловую ориентацию двух механических осей трекера: оси азимута и оси высоты. Углов, полученных от энкодера, и расстояния, полученного от измерителя расстояний, достаточно для точного определения положения центра ретрорефлектора. Поскольку центр ретрорефлектора находится всегда на фиксированном расстоянии от измеряемой поверхности, координаты измеряемых точек или поверхностей легко вычисляются.



Рисунок 4.28 – Лазерный трекер

Внутри интерферометра два луча интерферируют, следствием чего является циклическое изменение амплитуды электромагнитной волны всякий раз, когда ретрорефлектор приближается или удаляется от трекера на расстояние, равное половине длины волны ($\sim 0,316$ мкм). Электронная схема подсчитывает количество циклических изменений

интенсивности (известное как «счёт полос») для вычисления пройденного светом расстояния, которое складывается с расстоянием до опорной точки и является расстоянием относительным. В ADM используется та или иная разновидность фазовых измерений расстояния.

Для прецизионных измерений геометрических параметров с погрешностями, не превышающими длину волны используемого излучения, привлекаются разнообразные *интерферометры*. Современные тенденции в применении классических интерферометрических схем состоят в фиксации фотоприёмниками с последующим вводом пространственных распределений интенсивности в ПЭВМ и автоматизированной обработке зафиксированных цифровых изображений. Голографические интерферометрические системы, где, возможно, заменяются интерферометрическими. Преимущество последних заключается в прямой фиксации цифровых изображений (картин распределения) и исключении использования высокоразрешающих фотоматериалов и процессов их обработки.

Схема *триангуляционных измерений* представлена на рисунке 4.29. Смещение поверхности измеряемого объекта h проявляется в смещении положения энергетического центра лазерного пятна в поле зрения фотоприёмного устройства v , которое измеряется. Построенная по представленной схеме триангуляционная ЛСИГП, способна измерять лишь одну поступательную компоненту перемещений и работает по диффузной составляющей отражённого излучения. Основной вклад в относительную инструментальную погрешность вносит измерение координат энергетического центра пучка ($\Delta v/v$).

Триангуляционные датчики размеров, в частности белорусской фирмы ООО «РИФТЭК» (рис. 4.30), имеют относительную погрешность измерений 0,1 %, а разрешающую способность ещё на порядок ниже – 0,01 %, максимальную частоту обновления результатов измерения – 9,4 кГц, цифровой и аналоговый выходы. Таким образом, по погрешностям измерений триангуляционные датчики вполне сопоставимы с традиционными контактными измерительными инструментами типа линеек, штангенциркулей, микрометров, но по производительности и простоте сопряжения с ПЭВМ намного их превосходят.

Лазерные триангуляционные датчики серии LD3 предназначены для использования в системах автоматизации и бесконтактного измерения различных геометрических параметров: толщина, прямолинейность, внутренний и внешний диаметры, сканирование профиля изделий сложной формы, определение положения объектов. На базе датчиков могут быть построены системы автоматического управления различными процессами (следающие системы управления, правка изделий, прокат листовых материалов и др.). Помимо этого датчик имеет возможность подключения позиционирующих сигналов от станков для реализации 3D-сканирующих систем.

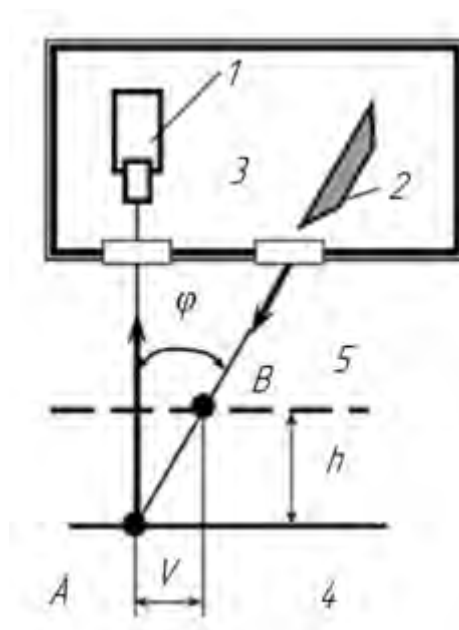


Рисунок 4.29 – Принцип триангуляционных лазерных систем измерения геометрических параметров:

1 – фотоприёмное устройство с многоэлементным фотоприёмником; 2 – лазер; 3 – триангуляционная ЛСИГП; 4 – начальное положение поверхности объекта; 5 – конечное положение поверхности объекта; А – начальное положение лазерного пятна на поверхности; В – конечное положение пятна на поверхности; h – смещение поверхности; v – смещение лазерного пятна на поверхности; φ – угол между оптическими осями фотоприёмного устройства и лазер



Рисунок 4.30 – Триангуляционные датчики ООО «РИФТЭК»

Среди методов, используемых в лазерных измерительных системах, особого внимания заслуживают методы *голографической интерферометрии*. Эти методы сочетают в себе такие достоинства, как бесконтактное и одновременное получение информации о состоянии всех точек наблюдаемой поверхности, использование в процессе измерения естественной меры длины световой волны, известной с метрологической точностью, высокое пространственное разрешение, определяемое разрешением оптических систем и в пределе соизмеримое с длиной волны, и др. Лазерные измерительные системы, основанные на использовании методов оптической голографии, называются голографическими измерительными системами (ГИС).

При создании ГИС, реализующих методы голографической интерферометрии, возникает ряд проблем как методического, так и аппаратного характера. К первым из них относятся выявление закономерностей, связывающих свойства интерферограмм с исследуемыми физическими явлениями, разработка новых методов определения исследуемых характеристик, создание простых и надежных методов обработки и расшифровки голографических интерферограмм, совершенствование методик их получения и разработка необходимого математического обеспечения. Существенной также является задача исследования метрологических характеристик как отдельных звеньев, так и ГИС в целом. К проблемам аппаратного характера относятся проектирование специальных источников когерентного излучения, голографических установок, обеспечивающих реализацию всех методов регистрации и восстановления голограмм, разработка устройств ввода изображений в ЭВМ, способных передать информацию с требуемой точностью, и т.п.

На рисунке 4.31 представлена схема ГИС, которая содержит стабилизированный по мощности и частоте ионный газовый лазер L , оптическую часть, содержащую универсальный голографический интерферометр, предназначенный для одновременного получения четырех голограмм исследуемого объекта с разных направлений и получения топографических интерферограмм объекта, а также оптическую установку для восстановления интерферограмм, сканирующее электронное устройство быстрого ввода, устройство расшифровки голографического изображения, ЭВМ с накопителями на магнитных дисках MD , устройство представления D и фоторегистрации полутоновой и графической информации.

С помощью такой ГИС могут эффективно решаться задачи регистрации голограмм, голографических интерферограмм, их восстановления, обработки и расшифровки содержащейся в них информации. Это позволяет получать информацию о частотах и формах колебаний изделий при их частотных испытаниях, о дефектах изготовления конструкций, о форме поверхности сложных тел, о векторах смещений точек по-

верхности объекта, поверхностных деформациях, параметрах макро- и микрорельефа поверхности и т.п.

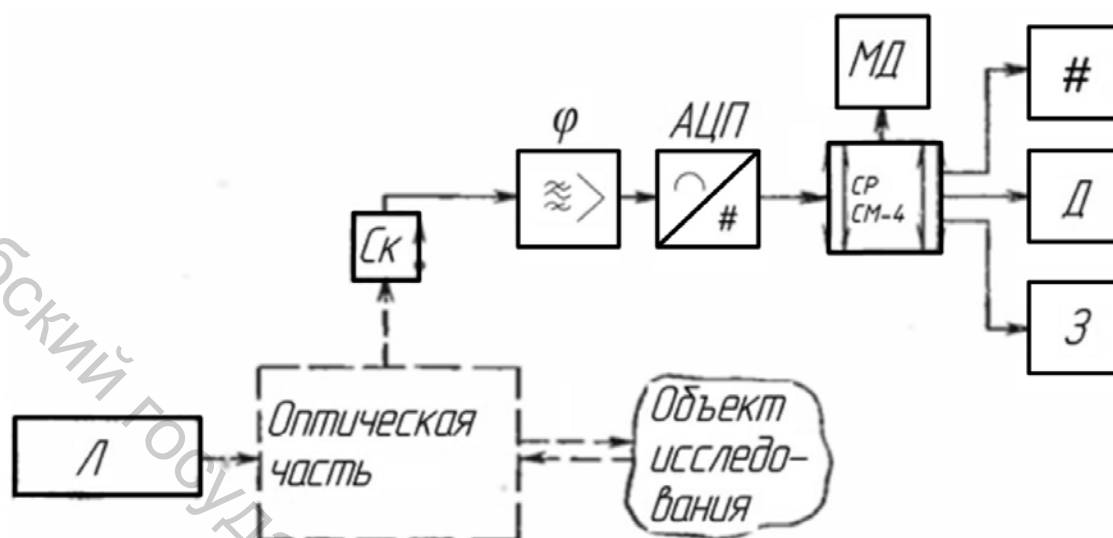


Рисунок 4.31 – Упрощенная структура голографической ИС

4.10 Цифровая индикация и программное управление

В современном производственном оборудовании применяется сложная электронная начинка, которая обеспечивает роботизированную обработку. По сути, любой станок с ЧПУ – это компьютеризированное устройство, которому нужен монитор для ввода-вывода нужной информации. С другой стороны, на многих металлорежущих станках установлены устройства цифровой индикации (УЦИ), в которые можно делать ручной ввод данных на один из кадров программы. УЦИ относят к условно программным приборам. Устройства цифровой индикации УЦИ идеальны для универсальных станков. Все значения измеряемых координат отображаются на цифровой панели. На панели можно производить простые математические операции и расчеты [100–103].

Обычные виды универсальных станков применяют систему с цифровой индикацией, с оснащением их рабочих органов датчиками положений. Датчики собирают сигналы, соответствующим образом преобразовывают их в нужный формат и пересылают в специальное устройство. Световое табло этого устройства непрерывно высвечивает координаты рабочих органов в виде числовых значений. Это позволяет оператору по управлению станком не тратить время на проверку положений рабочих органов инструмента и замеров параметров обрабатываемых поверхностей в процессе обработки заготовки.

Часто подобная система комплектуется пультом, у которого имеется панель для ручного набора программы. Набор производится при

помощи переключателей. Возможен ввод только в один кадр программы. После запуска систем управления режущий инструмент станка выводится на заданную координату, что можно проконтролировать с помощью экрана устройства.

Различаются между собой устройства цифровой индикации в основном по назначению. К примеру, фрезерным станкам нужна индикация координат и настройка привода. Их УЦИ обычно наделяются и другими дополнительными функциями: калькулятора, масштабирования, задачами по определению координат опорных точек и другими опциями. Другие индикаторы могут обладать памятью. А вот токарным станкам нужен мониторинг данных сразу по четырем рабочим осям. Это обеспечит не только точную обработку, но и упростит настройку его рабочих режимов. Кроме того, с помощью УЦИ можно проводить диагностику оборудования, выявляя люфты, неточности или делая необходимые поправки на дефекты станка или материалы заготовки. Индикация положений инструмента определяется с помощью измерительных щупов, линейных датчиков, датчиков измерения значений параметров угла или вращения.

На рисунках 4.32–4.35 показаны примеры УЦИ.

Четырехосевое полноразмерное универсальное УЦИ ЛИР 540 (производство ОАО СКБ ИС г. Санкт-Петербург, Российская Федерация) с ярким и контрастным жидкокристаллическим дисплеем для работы с угловыми и линейными инкрементными преобразователями перемещения показано на рисунке 4.35).

УЦИ имеет следующую функциональность:

- абсолютной или относительной системы отсчёта координат для каждой оси;
- определение электрической неисправности линий связи с энкодерами;
- работа с инкрементным энкодером любой дискретности путём установки коэффициентов пересчёта;
- интеллектуальная компенсация люфта;
- коррекция инструмента;
- режим работы радиус–диаметр;
- возможность привязки инструмента к краю заготовки и поиск центра отверстия;
- задание смещения рабочей системы отсчёта координат относительно станочной системы отсчёта;
- отображение скорости подачи для линейных осей или скорости оборотов вращения для круговых.



Рисунок 4.32 – Трёхосевое УЦИ SINO и оптические измерительные линейки



Рисунок 4.33 – УЦИ ЛИР на одну координату

ЛИР-540 выпускается в металлическом корпусе, имеющем высокопрочное порошковое покрытие. По типу корпуса различают два варианта исполнения: А – приборные и Р – панельный. Приборное исполнение позволяет закреплять УЦИ на кронштейне. Панельный вариант корпуса предназначен для встраивания пульта оператора в технологические стойки, щиты, пульта управления и т.д. и его крепления при помощи отверстий в лицевой панели.



Рисунок 4.34 – Двухосевое УЦИ DITRON



Рисунок 4.35 – Четырехосевое полноразмерное УЦИ

На передней панели прибора наклеена герметичная пленочная панель с окном для жидкокристаллического дисплея и клавиатурой со встроенными световыми индикаторами. Между ЖК-дисплеем и пленочной панелью находится защитное органическое стекло. Все оси одновременно отображаются на дисплее, при этом неиспользуемые можно отключить при настройке. Кроме того, в параметрах УЦИ для каждой оси можно настроить: обозначение оси, тип оси (линейная или угловая), дискретность энкодера, формат представления. На боковой панели корпуса размещен разъем USB Type B, предназначенный для обновления управляющей программы УЦИ.

4.11 Вопросы для самоконтроля

1. Какие специальные системы обеспечивают реализацию гибкой безлюдной технологии?
2. Перечислите компоненты устройств АСИ.
3. Изобразите схему инструментальной оправки с коническим хвостовиком для многоцелевого станка.
4. Опишите принцип работы устройств автоматической смены инструмента с автооператорами.
5. Какова последовательность смены инструмента на многоцелевом станке с вертикальной компоновкой шпинделя?
6. Какие методы используются для программирования автоматической смены инструмента?
7. Опишите принцип работы многофункционального устройства для замены шлифовальных кругов с двумя автооператорами.
8. Когда необходимо применять поворотный стол?
9. Какие Вам известны характеристики поворотных столов?
10. Охарактеризуйте особенности поворотных столов для металлорежущих станков с ЧПУ.
11. Изобразите схемы автоматических загрузочных устройств.
12. Какие Вам известны типы управлений роботами?
13. Приведите признаки классификации промышленных роботов.
14. Какими факторами обусловлена целесообразность использования промышленных роботов?
15. Для чего используются контршпиндели?
16. Перечислите средства контроля параметров деталей?
17. Перечислите признаки классификации ПАК.
18. Какие Вам известны устройства активного контроля по способу воздействия на исполнительные органы станка?
19. Изобразите схему односторонней коррекции уровня размерной настройки при обработке на бесцентровошлифовальном станке.
20. Перечислите этапы работ для контроля инструмента, заготовки и детали при подготовке и в процессе обработки.
21. Опишите возможности автоматизированных систем привязки и контроля инструмента и детали компании Renishaw.
22. Опишите преимущества и область применения индуктивных измерительных устройств.
23. Что лежит в основе лазерных измерительных систем?
24. На чем основан принцип работы лазерного трекера?
25. Изобразите схему триангуляционных измерений.
26. Для чего применяются лазерные триангуляционные датчики?
27. Опишите область применения ГИС.
28. Какова область применения устройств цифровой индикации?

5 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СТАНКОВ И ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

5.1 Обслуживание и диагностика станков

Металлорежущие станки нуждаются в регулярном техническом обслуживании (ТО), которое следует выполнять в соответствии с рекомендациями производителя, указанными в сопроводительной документации. Как правило, техническое обслуживание станков включает в себя следующие виды работ: проверка состояния поверхности направляющих; проверка или замена масла; контроль работы системы подачи СОЖ; очистка или замена масляных фильтров, пневмофильтров в случае их загрязнения; проверка работы электроавтоматики; очистка контактов реле; регулировка механизмов управления; оценка вибрации станка и др. [104–108].

Традиционный метод ТО и ремонта изделий по мере появления неисправностей не дает возможности в достаточной мере поддерживать их работоспособность в период эксплуатации. Использование диагностических методов контроля обеспечивает более полное соответствие между состоянием объекта и объемом работ, необходимых для его ТО и ремонта. Основным принципом ТО и ремонта, основанным на диагностировании, является предупреждение отказов в работе машин при обеспечении максимально возможного времени работы до появления отказа.

Методы технической диагностики классифицируются:

- по стадиям эксплуатации: на этапах наладки, ТО, выполнения плановых ремонтов изделий;
- по степени использования технических средств – выполняемые: без технических средств; с применением простейших средств усиления информационного сигнала (субъективные); с использованием технических средств (объективные);
- по глубине диагностирования технологической системы (ТС): общие и поэлементные;
- по степени информативности – методы, обеспечивающие получение информации: о моменте появления отказа; о месте возникновения дефекта; о причине отказа при использовании автоматических средств диагностики;
- по видам диагностической информации – методы диагностирования, выявляющие сведения: о самом контролируемом процессе, о косвенных показателях, сопутствующих прохождению процесса.

Диагностическую информацию получают путем измерения ряда параметров: величины вибраций; акустических колебаний; собственных деформаций одной или нескольких деталей ТС; деформаций в стыках пар сопрягаемых неподвижных и подвижных деталей ТС; усилий, действующих в ТС; параметров, сопутствующих процессу обработки (режимы, температура отдельных элементов ТС, длительность циклов обработки, производительность и т.д.). На рисунке 5.1 показаны возможные методы диагностирования металлообрабатывающего оборудования.



Рисунок 5.1 – Методы диагностирования металлообрабатывающего оборудования

По архитектонике построения процесса диагностирования, например оборудования, различают: поэлементные проверки, групповые проверки, логический анализ симптомов отказа. Диагностирование ТС является сложным процессом.

Средства технической диагностики подразделяют на пассивные и активные. Пассивные служат только для определения и оценки показателей, характеризующих текущее состояние оборудования. Активные

воздействуют на объект диагностирования, вырабатывают и посылают сигнал, который вызывает оцениваемую реакцию оборудования.

По принципу диагностирования все технические средства подразделяют на средства: для проверки работы оборудования; для оценки точности параметров изготавливаемых деталей или норм точности оборудования. Эти средства могут быть ручными, полуавтоматическими и автоматическими. По характеру решаемых задач их подразделяют на средства проверки оборудования, посредством которых определяется его соответствие заданным техническим условиям, и средства проверки работоспособности, посредством которых определяется возможность оборудования выполнять заданный алгоритм функционирования в рабочем цикле.

5.2 Системы дистанционной диагностики

Дистанционная диагностика – это анализ состояния станка техником по диагностике посредством коммуникационного программного обеспечения. При помощи коммуникационного ПО посредством сети Интернет обеспечивается дистанционный доступ к экрану и диалоговому меню системы управления (рис. 5.2).

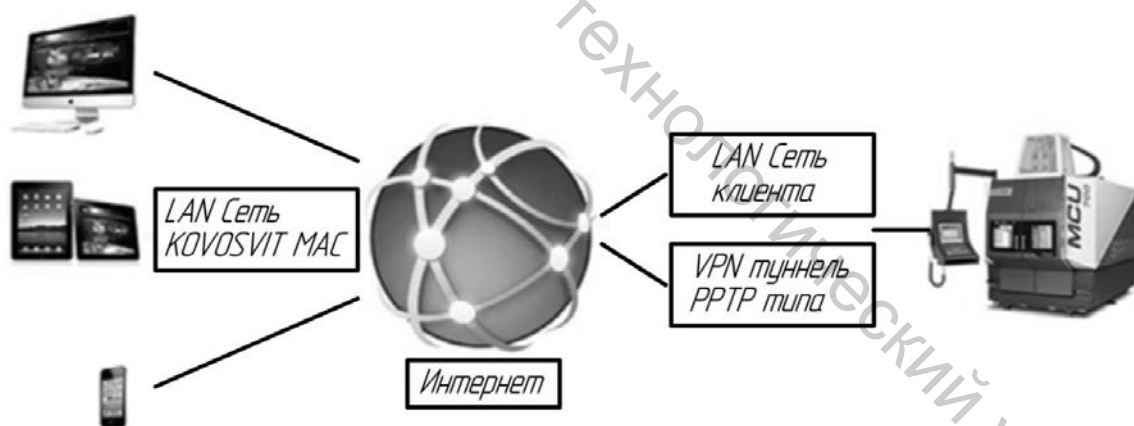


Рисунок 5.2 – Пример дистанционной диагностики

Само по себе коммуникационное ПО не включает инструменты диагностики. Сервисный техник дистанционно использует встроенные возможности диагностики системы управления. На компьютере сервисного техника на любом расстоянии отображается экран и диалоговое меню ЧПУ. Техник не только проверяет актуальное состояние станка с помощью этого экрана, но с помощью клавиатуры своего компьютера управляет меню ЧПУ, в двухстороннем режиме передает практически

любые данные. При анализе неисправности станка техник использует все встроенные в ЧПУ диагностические функции.

Целью дистанционной диагностики является сокращение простоев станка путём точного определения необходимых сервисных операций. Это уменьшает потери заказчика, возникающие из-за простоев станка.

Одним из решений для удаленного мониторинга и диагностики оборудования с ЧПУ является система *Winnum CNC* (на основе российского программного комплекса *Winnum* (ООО «Сигнум»)). *Winnum* состоит из четырех основных компонентов, каждый из которых предназначен для выполнения определенной функции (рис. 5.3). Расскажем о них подробнее.

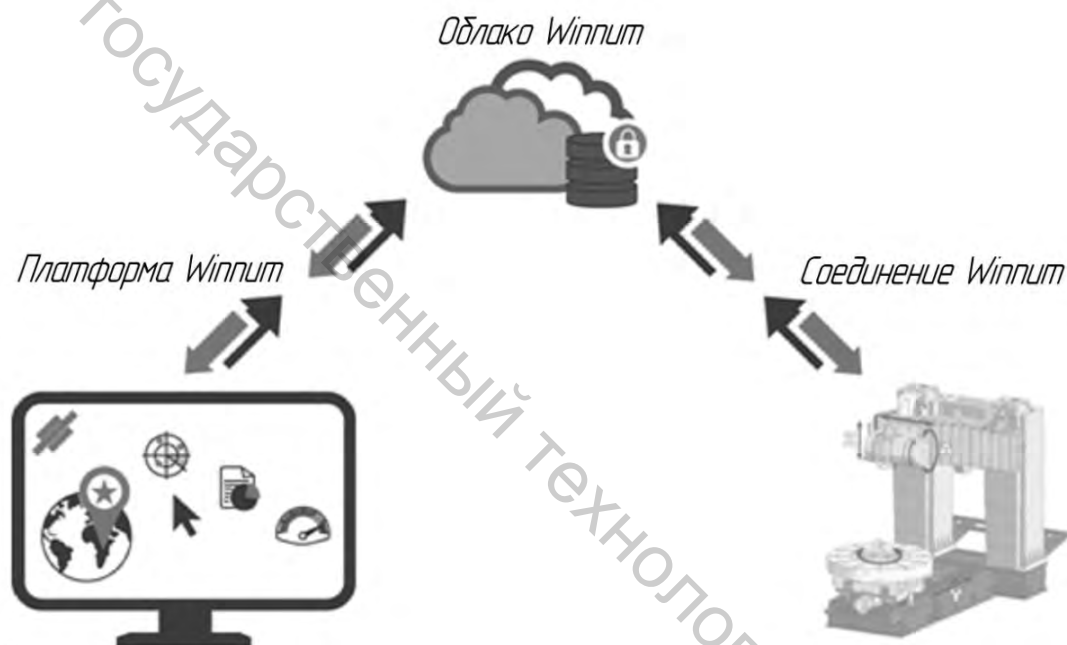


Рисунок 5.3 – Основные программные компоненты Winnum

Winnum Platform – основное межплатформенное программное обеспечение (ПО), которое дает возможность настройки, мониторинга, диагностики и управления подключениями, включая разработку, настройку и управление специализированными приложениями для удаленной работы с изделиями.

В рамках *Winnum Platform* информация об объектах мониторинга, контролируемых параметрах и пользователях системы структурирована и объединена иерархическими и логическими связями. Например: оборудование можно объединять в группы согласно их территориальному расположению; контролируемые параметры упорядочивать согласно конструктивной схеме оборудования и типу снимаемого сигнала; пользователям системы назначать роли согласно штатному расписанию предприятия и т.д. Таким образом, большой объем данных и дозирует-

ся, и предоставляется пользователям в соответствии с их потребностями.

Winnum Cloud – межплатформенное ПО, представленное в виде защищенного облака (которое может быть размещено как в Интернете, так и внутри локальной сети) и используемое для обработки, стандартизации и хранения больших объемов данных. Поскольку объем данных, получаемых с промышленного оборудования, может быть действительно очень велик, для работы системы применяется распределенное кэш-хранилище, производительность которого позволяет работать с миллиардами записей.

Winnum Connector представляет собой микросервер, который поддерживает три режима работы:

- чтение или запись значений параметров (например, скорость вращения шпинделя);
- отслеживание событий (например, появление ошибки);
- выполнение действий (например, при получении команды или при возникновении какого-либо события).

Для связи устройств, передающих данные в систему *Winnum*, могут быть использованы информационные сети любых типов, как проводные, так и беспроводные (в том числе Wi-Fi, GPRS, EDGE, 3G, 4G), а тип собираемых данных фактически не ограничен – это могут быть данные о температуре окружающей среды, давлении жидкости, уровне топлива, GPS-координаты и т.п. Благодаря этому достигается универсальность платформы.

Решение *Winnum CNC* поддерживает работу с любыми системами ЧПУ. Единственное условие – возможность подключения контроллера к локальной вычислительной сети Ethernet (напрямую или через конвертер, если контроллер оснащен разъемом RS232/485 или USB). Для подключения к системе не требуется модификация контроллера.

С помощью *Winnum* осуществляется мониторинг, создание отчетов и диагностика. Состав данных мониторинга определяется набором сигналов системы ЧПУ. Система собирает со станков и предоставляет пользователям сведения: об использовании и загрузке оборудования, о наработке по критически важным компонентам оборудования, о событиях, предшествующих аварийному останову.

Решение *Winnum CNC* включает функционал по созданию и запуску диагностических программ и алгоритмов, которые могут применяться к одной или нескольким единицам оборудования. Запуск программ диагностики может быть автоматическим (с заданным интервалом времени), а также ручным (специалистом по сервисному обслуживанию).

Информация предоставляется пользователю непосредственно на рабочем месте через веб-браузер (InternetExplorer, GoogleChrome, MozillaFirefox) и включает в себя: статус работы; состояние узлов; тех-

нологический процесс; статус и состояние приводов, включая отдельный набор сигналов по ним; статус и состояние входов/выходов, включая отдельный набор сигналов по ним; ошибки, информационные сообщения и предупреждения системы ЧПУ, приводов и подключенной периферии.

При формировании отчетов пользователь использует объем данных, полученных от оборудования, а встроенные инструменты разработки из комплекта Winnum SDK обеспечивают возможность гибкой настройки графиков и отчетов в соответствии с требованиями предприятия.

По умолчанию формируется следующий набор отчетов:

- график загрузки оборудования за выбранный период времени (любой организационный срез);
- график работы оборудования за сутки с детализацией до секунды (любой организационный срез);
- график значений любых параметров работы за выбранный период времени, включая диагностику состояния оборудования и его узлов (рис. 5.3).

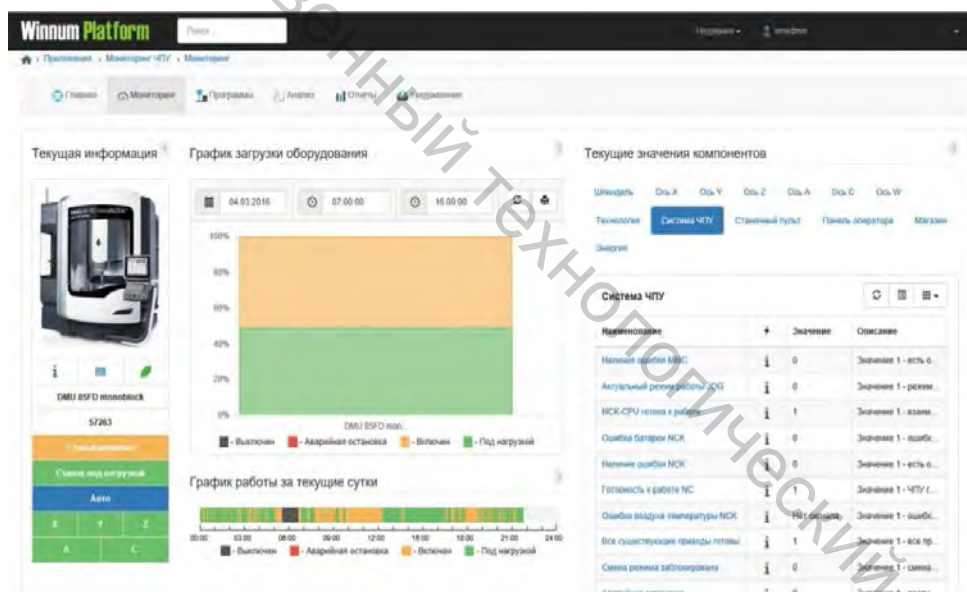


Рисунок 5.3 – Интерфейс мониторинга загрузки оборудования и контроля параметров в реальном времени

5.3 Безопасность работы на станках

Требования безопасности и защитные меры регламентируются стандартами безопасности, которые обязательны для производителей металлорежущего оборудования. Так в ГОСТ 12840-2006 «Безопасность металлообрабатывающих станков» приводится перечень опасностей для станков токарной группы (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Фрагмент перечня опасностей токарных станков

Опасности, опасные ситуации и события	Зона возникновения и причина опасных ситуаций
1	2
Опасность раздавливания	Между подвижными и неподвижными частями, включая устройства для крепления деталей (патрон или задняя бабка станка) и инструментальный магазин
Опасность ранения	Между подвижными и неподвижными частями, включая инструментальный магазин
Опасность разрезания или разрыва	Во время движения инструмента, от стружки
Опасность заматывания	Движущиеся части станка, включая устройство для подачи прутков и инструментальный магазин
Опасность затягивания или попадания в ловушку	Движущиеся части
Опасность удара	Движущиеся части, включая устройство для подачи прутков и инструментальный магазин
Опасность быть уколотым или проткнутым	Задняя бабка станка при креплении детали и инструмента
Опасность, вызванная выбросом жидкостей	Подача смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)
Электрические опасности, вызванные: контактом с токоведущими частями (прямой контакт) контактом с токоведущими частями, оказавшимися под напряжением из-за каких-либо повреждений или ошибочных действий (косвенный контакт)	Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования То же
Термические опасности: ожоги, ошпаривание или другие повреждения от касания с предметами или материалами с чрезвычайно высокой или низкой температурой, пожаром или взрывом, а также тепловым излучением	Горячая стружка и обрабатываемая деталь
Опасности, вызванные шумом: повреждение слуха (глухота), другие физиологические нарушения (например, нарушение равновесия, ослабление внимания)	Обработка резанием, подача прутка
опасности от контакта или вдыхания паров вредных жидкостей, газов, пыли, тумана, дыма	Циркуляция СОЖ при наладке, обработке и техническом обслуживании
биологические или микробиологические опасности (вирусные или бактериологические)	То же

Окончание таблицы 5.1

1	2
Опасности, возникающие при пренебрежении принципами эргономики при конструировании станков от:	
неудобного положения тела или необходимости приложения чрезмерных усилий при работе	Устройства управления при манипулировании заготовками, инструментами и частями станка
несоответствия анатомическим возможностям рук или ног человека	Смена заготовок/инструмента
недостаточного применения средств личной защиты	Работа на станке в ручном режиме при обработке прутков
неадекватного местного освещения	Механическая обработка, наладка, манипулирование и установка заготовки, инструмента
ошибки оператора, субъективного поведения	Дисплей устройства ЧПУ, процесс обработки, крепление заготовки, инструмента
Неожиданные пуски, повороты, прокручивания (или подобные нештатные состояния):	
неполадки (нарушения) в работе системы управления	Сбои в системе управления, вызывающие неполадки в работе, ненадежное крепление заготовки, превышение частоты вращения.
восстановление энергопитания после его прерывания	Процесс обработки или наладки
внешние воздействия на электрооборудование	Устройство ЧПУ в процессе обработки, наладки и техническом обслуживании
Нарушение скорости вращения инструмента	Процесс обработки или наладки
Ошибки в системе управления	Неожиданный сбой в системе управления, вызываемый различными неполадками в работе станка, приводящими к движениям при смене инструмента или заготовки
Ошибки монтажа	Смена инструмента или заготовки
Разрушение в процессе работы	Процесс обработки или наладки
Опасность падения или выброс предметов или жидкостей	Процесс обработки, крепление заготовки, подача прутка или СОЖ (заготовка, инструмент, стружка)
Опасность из-за скольжения, зацепления и падения людей (вблизи станка)	В том месте, где была пролита СОЖ

Приводятся требования безопасности и защитные меры. Так, для защиты от опасностей у токарных станков при работе в ручном режиме конструкция станка должна гарантировать:

- невозможность вручную обеспечить срабатывание (разжатие или зажим) зажимного устройства при вращающемся шпинделе;
- на зажимных устройствах для заготовок должна быть маркировка максимально допустимой частоты вращения;

– для устройств ручной загрузки/разгрузки должны быть предусмотрены средства предохранения от захвата пальцев оператора. Для механизированных зажимных патронов такими средствами могут быть:

- регулируемый ход кулачка патрона не должен превышать 4 мм или ограждение должно обеспечивать безопасное расстояние;
- приращение перемещений не должно превышать 4 мм;
- скорость перемещения кулачков не должна превышать 4 мм/с;
- управление работой зажимного устройства обрабатываемой детали должно осуществляться вне рабочей зоны, например, двуручным органом управления с использованием отводимого механизма загрузки заготовок.

При работе в ручном режиме доступ к вращающемуся устройству для крепления обрабатываемой детали должен предотвращаться/ограничиваться перемещаемым ограждением, заблокированным с приводом шпинделя (например, ограждением зажимного патрона) [108–114].

Должен быть предусмотрен *передний защитный щиток* для предотвращения выброса непосредственно на оператора СОЖ и стружки, для исключения непосредственного доступа человека в рабочую зону. Ширина защитного щитка должна быть равна, по меньшей мере, ширине суппорта. В том случае, когда защитный щиток не перекрывает пространство от торца шпинделя обрабатываемой детали до торца задней бабки при ее расположении на конце станины, он должен иметь возможность перемещения по оси Z, в том числе может быть закреплен на суппорте. Для станков с опцией «интерполяция по осям координат» и/или «резьбонарезание» защитный щиток должен быть закреплен на суппорте и заблокирован с приводом шпинделя.

На задней части станка должно тоже предусматриваться *ограждение*, обеспечивающее защиту от разбрызгивания СОЖ, выброса стружки и отвода ее в стружкосборник. Это ограждение должно быть прикреплено к станине и перекрывать всю длину зоны обработки или (для станков с межцентровым расстоянием свыше 2000 мм) прикреплено к суппорту и иметь длину не меньше ширины суппорта.

Во избежание опасностей затягивания, захвата и удара, возникающих от вращающихся маховичков при включенной механической подаче, конструкцией станка должно быть предусмотрено, например, автоматическое расцепление маховичков, вращающихся с окружной скоростью свыше 20 м/мин, и/или использование плоских маховичков.

Для предотвращения *доступа к трансмиссионным приводам* (например, к цепям и звездочкам, зубчатым колесам и т.д.) конструкцией станка должны быть предусмотрены неподвижные ограждения, полностью предотвращающие опасность. Если при работе станка требуется доступ к этим узлам, то необходимо предусматривать использование перемещаемых ограждений с блокировкой.

Ходовые винты или ходовые валики должны быть закрыты так, чтобы они не представляли опасности.

Задняя часть шпинделя не должна выступать за ограждения передней бабки/коробки скоростей. Доступ к опасной зоне, например, к коробке скоростей (при ее наличии), должен быть исключен с помощью неподвижного или перемещаемого ограждения, но снабженного блокировкой.

Должны быть предусмотрены средства (например, механический упор) для предотвращения случайного падения *задней бабки* с конца станины.

Для предотвращения доступа к представляющим опасность элементам *системы сбора и удаления стружки* должны быть предусмотрены неподвижные и/или перемещаемые защитные ограждения с блокировкой.

Там, где доступ к опасным участкам системы сбора стружки (например, к конвейеру или шнекам) возможен с рабочего места оператора в рабочей зоне, движения узлов системы сбора и удаления стружки, создающие опасность для человека, в случае открывания ограждений рабочей зоны должны отключаться.

В зоне удаления стружки должна быть табличка, предупреждающая о возможных травмах, например, затягивании, придавливании.

Если движение узлов системы сбора и удаления стружки необходимо при открытых перемещаемых ограждениях (например, для проведения очистки), оно должно совершаться только при ручном управлении в толчковом режиме и наличии при этом поблизости устройства аварийного отключения.

Станки должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить возможность их подсоединения к *вытяжному (отсасывающему) оборудованию* для удаления опасных выбросов и выделений (масляного тумана и т.д.).

Освещенность должна составлять не менее 500 лк на расстоянии, равном одному диаметру патрона от торца патрона по оси шпинделя.

На станках при открытых защитных ограждениях, открывающих доступ в рабочую зону, *подача СОЖ* в режимах наладки и обработки должна автоматически выключаться. При работе в ручном режиме должны быть предусмотрены средства для регулирования потока СОЖ. Станки должны иметь устройства, позволяющие обеспечить забор образцов СОЖ, очистку системы подачи СОЖ и замену фильтров. СОЖ должна вытекать из станка в специальный резервуар под воздействием силы тяжести, чтобы не образовался застой СОЖ внутри станка. Аналогичные стандарты существуют для других типов машиностроительного оборудования.

5.4 Системы защиты от травмирования при работе на станках

5.4.1 Классификация средств защиты

Защита от травмирования достигается применением технических средств, исключающих либо уменьшающих воздействие на работающих травмоопасных производственных факторов. Они могут быть коллективными и индивидуальными. Первые обеспечивают защиту любого работника, обслуживающего травмоопасное оборудование с указанными средствами защиты. Вторые – только тех, кто их использует.

Защитные устройства должны удовлетворять следующим общим требованиям:

- предотвращать контакт рук и других частей тела человека, его одежды и других предметов с опасными движущимися частями машины, не позволять человеку-оператору машины или другому рабочему приблизить руки и другие части тела к опасным движущимся частям;
- должны быть изготовлены из прочных материалов, выдерживающих условия нормальной эксплуатации, и надежно прикрепляться к машине;
- не создавать иных опасностей, не иметь режущую кромку, заусенец или шероховатости поверхности;
- не мешать выполнению работ.

Средства коллективной защиты от механического травмирования стандартизованы ГОСТ 12.4.125 и включают в себя целый ряд подвидов (табл. 5.2). Наибольшее применение для защиты от механического травмирования машин, механизмов, инструмента находят оградительные, предохранительные, тормозные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления [108–120].

5.4.2 Оградительные устройства

Оградительные устройства подразделяют:

- по конструктивному исполнению на кожухи, дверцы, щиты, козырьки, планки, барьеры и экраны;
- по способу их изготовления на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решетчатые) и комбинированные;
- по способу их установки на стационарные, передвижные.

Оградительные средства защиты наиболее распространены в промышленности. Они препятствуют попаданию человека в опасную зону. Все открытые движущиеся и вращающиеся части оборудования, расположенные на высоте до 2500 мм от уровня пола, если они являются ис-

точниками опасности, должны быть закрыты сплошным или сетчатым ограждением. Ограждения могут быть полными, закрывающими травмоопасный агрегат в целом, и частичными, исключающими доступ к наиболее опасным частям оборудования. Полные ограждения, как правило, изготовленные из металла, выполняют одновременно функции звукоизолирующего ограждения.

В большинстве случаев ограждения являются стационарными. Но в машинах по обработке металлов давлением и на некоторых видах станков они могут выполняться подвижными, заблокированными с рабочими органами оборудования. Таким образом, они закрывают доступ в опасную зону только в момент обработки. Возможно устройство подвижных заграждений с индивидуальным приводом. Чаще всего конструкция ограждения представляет собой кожух. В корпусах станков они могут выполняться в виде дверцы, перекрывающей доступ к редукторам, коробкам скоростей и другим элементам привода. Ограждения в виде щитов (в том числе сетчатых) широко используется в роботизированном производстве. На металлорежущих станках ограждения, как правило, выполняются в виде защитных экранов. Для удобства обслуживания последние могут выполняться откидными.

Таблица 5.2 – Классификация средств защиты

Термин	Пояснение
Оградительное устройство	Устройство защиты, устанавливаемое между опасным производственным фактором и работающими
Устройство автоматического контроля и сигнализации	Устройство, предназначенное для контроля передачи и воспроизведения информации (цветовой, звуковой, световой и др.) с целью привлечения внимания работающих и принятия ими решения при появлении или возможном возникновении опасного производственного фактора
Предохранительное устройство	Устройство, предназначенное для ликвидации опасного производственного фактора в источнике его возникновения
Устройство дистанционного управления	Устройство, предназначенное для управления технологическим процессом или производственным оборудованием за пределами опасной зоны
Тормозное устройство	Устройство, предназначенное для замедления или остановки производственного оборудования при возникновении опасного производственного фактора
Блокировочное устройство	Устройство, срабатывающее при ошибочных действиях работающего

В качестве материала для изготовления экранов используются металлы и пластики. Экраны удобно выполнять также из прозрачных материалов (безосколочное стекло, пластмасса, триплекс). Защитные

экраны не должны ограничивать технологические возможности станка и вызывать неудобства при работе, уборке, наладке, а также приводить к загрязнению пола смазочно-охлаждающей жидкостью. При необходимости защитные экраны следует снабжать рукоятками, скобами для удобства перемещения и установки. Крепление защитных устройств должно быть надежным, исключающим случаи самооткрывания.

В настоящее время широкое распространение получили защитные *ограждения кабинетного типа* (рис. 5.4). С помощью защитного ограждения кабинетного типа рабочая зона полностью изолирована. Назначение ограждения – обеспечение требований по технике безопасности при работе на станке, защита от масляного тумана, пыли и стружки, сбор стекающей СОЖ, шумоизоляция и придание эстетичного запоминающегося внешнего вида. При проектировании приоритетной задачей является удобство обслуживания станка оператором, достижение оптимальной эргономики, создание комфортного интерфейса «человек-машина».



Рисунок 5.4 – Пример кабинетной защиты

5.4.3 Предохранительные устройства

Предохранительные устройства по характеру действия подразделяют на: блокировочные и ограничительные.

Блокировочные устройства по принципу действия подразделяют на: механические, электронные, электрические, электромагнитные, пневматические, гидравлические, оптические, магнитные и комбинированные.

Ограничительные устройства по конструктивному исполнению подразделяют на: муфты, штифты, клапаны, шпонки, мембраны, пружины, сильфоны и шайбы.

На рисунке 5.5 показана предохранительная втулочная муфта со срезным штифтом.

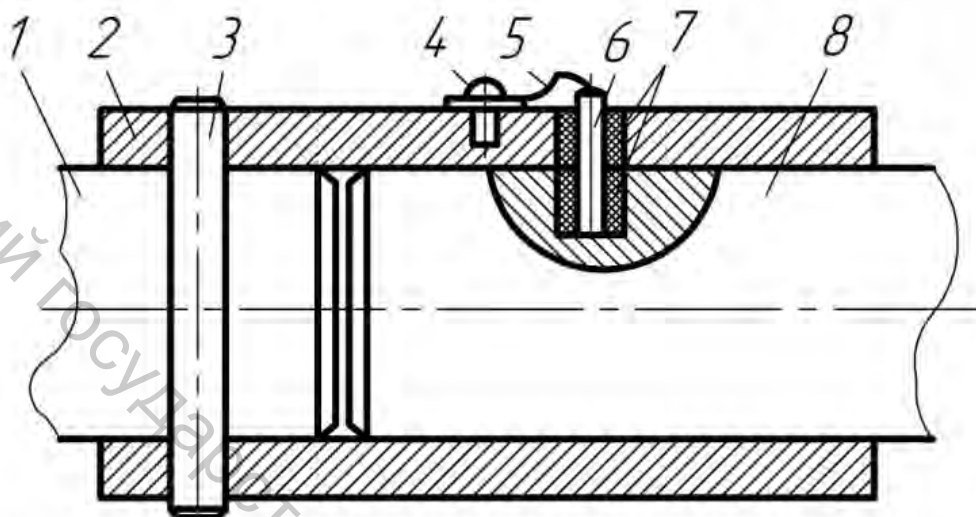


Рисунок 5.5 – Предохранительная втулочная муфта со срезным штифтом:

- 1, 8 – соединяемые валы; 2 – соединительная муфта; 3 – штифт;
4 – прижимной винт; 5 – пружина; 6 – предохранительный штифт;
7 – переходные втулки

Срезные штифты и шпонки срабатывают при превышении допустимого крутящего момента, предохранительные клапана – рабочего давления, упоры – при выходе элементов за допустимые пределы в пространстве. Таким образом, исключаются аварийные режимы работы оборудования, а, следовательно, его возможные поломки и аварии; а в конечном итоге – травмы. Различают предохранительные ограждающие устройства с автоматическим восстановлением кинематической цепи после того, как контролируемый параметр пришел в норму, и устройства, которые после срабатывания требуют остановки оборудования для их замены. Примером первых являются предохранительные клапаны, фрикционные муфты, регуляторы давления, вторых – предохранители электроустановок, разрывные мембраны систем, работающих под давлением.

Самовыключающиеся кулачковые муфты (рис. 5.6) служат тем же целям, что и падающие червяки. Зубчатое колесо 1, являющееся ведущим, связано через шпонку 2 с полумуфтой 3. Вторая полумуфта 5 с помощью пружины 6 прижата к полумуфте 3 скошенными кулачками 4. Силу сжатия пружины регулируют смещением стакана 7 по резьбе 8. В случае возникновения больших тангенциальных сил кулачки 4 полумуфт начинают смещаться относительно друг друга и осевая составля-

ющая силы сжимает пружину. Полумуфта 5 при дальнейшем вращении колеса 1 будет отжиматься вправо и выйдет из зацепления с полумуфтой 3. Ведомый вал 9 перестанет вращаться.

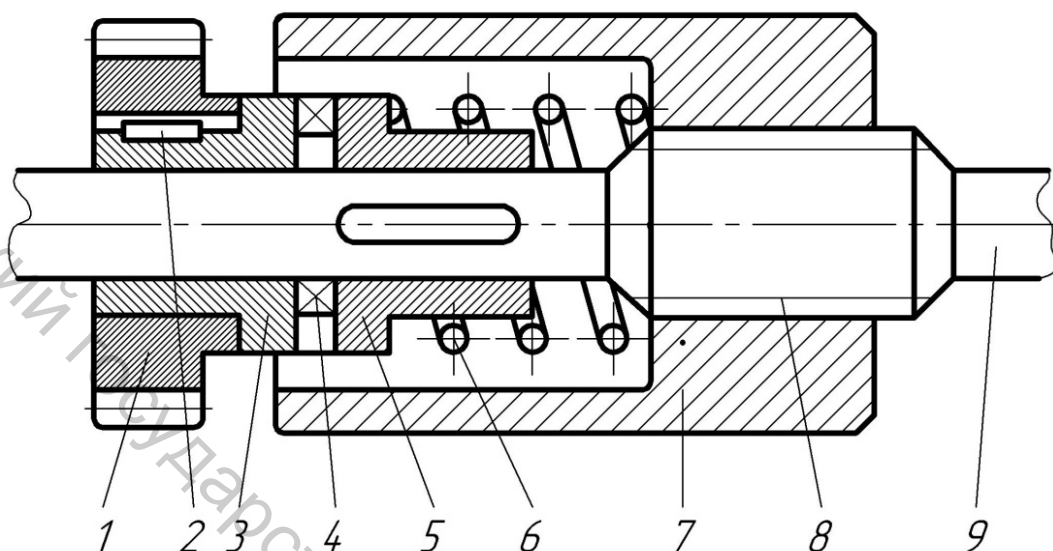


Рисунок 5.6 – Схема кулачковой предохранительной муфты

Для предотвращения поломок отдельных частей оборудования, возможных вследствие выхода за установленные пределы, применяют двусторонние и односторонние ограничители в виде различных по конструкции упоров.

Блокировочные устройства исключают возможность проникновения человека в опасную зону либо устраняют опасный фактор на время пребывания человека в этой зоне.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством.

Электрическую блокировку применяют на электроустановках с напряжением 500 В и выше, а также на различных видах технологического оборудования с электроприводом. Она обеспечивает возможность включения оборудования только при наличии ограждения. При электрической блокировке в ограждение встраивают концевой выключатель, контакты которого при закрытом ограждении включаются в электрическую схему управления оборудованием и допускают включение электродвигателя. При снятом или неправильно установленном ограждении контакты размыкаются, и электрическая цепь системы привода оказывается разорванной. Аналогичный принцип используется в тепловых реле, предотвращающих взрывы в ресиверах путем отключения двигателя в компрессорах при повышении температуры сжимаемого воздуха сверх допустимого значения.

Электромагнитную (радиочастотную) блокировку применяют для предотвращения попадания человека в опасную зону. Принцип работы блокировки в этом случае основан на применении электромагнитных полей высокой частоты, излучаемых в пространство генератором. В момент попадания человека в опасную зону высокочастотный генератор подает импульс тока к электромагнитному усилителю и поляризованному реле. Контакты реле обесточивают схему магнитного пускателя, при этом обеспечивается электродинамическое торможение двигателя за десятые доли секунды. Время торможения регулируется при помощи переменного сопротивления.

Электронную (радиационную) блокировку применяют для защиты опасных зон на прессах, гильотинных ножницах и других видах технологического оборудования. Она состоит (рис. 5.7) из трубки Гейгера 2, тиратронной лампы 3, контрольного реле 4, аварийного реле 5. Радиоактивный источник 1 крепится на руке работающего с помощью специального браслета. В качестве источника применяют радиоактивные изотопы. Их помещают в алюминиевый цилиндр, покрытый изнутри слоем свинца, который защищает от радиоактивного излучения. Сущность этого вида блокировки состоит в том, что энергия радиоактивного излучения, направленная от источника 1, улавливается трубками Гейгера 2, в результате чего цепь управления системы отключает пусковое устройство. Преимуществом блокировки радиационными датчиками является то, что они позволяют производить бесконтактные измерения, не требующие непосредственного контакта между измерительными датчиками и контролируемой средой. В ряде случаев при работе с агрессивными или взрывоопасными средами, а также на оборудовании, находящемся под большим давлением или имеющем высокую температуру, блокировка с применением радиационных датчиков является единственным средством для обеспечения требуемых условий безопасности. Не менее важны большая стабильность и длительный срок службы источников излучения.

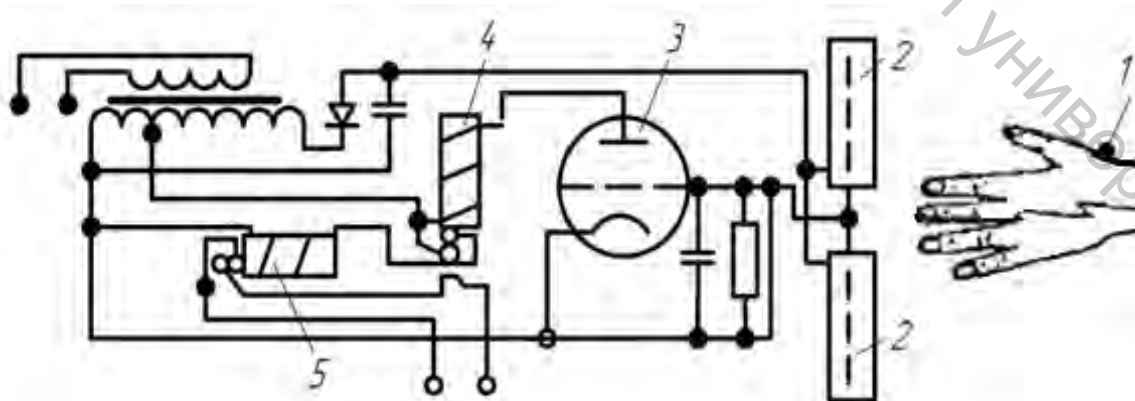


Рисунок 5.7 – Схема электронной блокировки

Пневматическую систему блокировки широко используют в агрегатах, в которых рабочие тела находятся под повышенным давлением: турбинах, компрессорах, насосах и т.п.

Оптическая (фотоэлектрическая) блокировка основана на принципе ограждения опасной зоны световыми лучами. Изменение светового потока, падающего на фотоэлемент, преобразовывается в измерительно-командном устройстве, которое приводит в действие дополнительные механизмы защитного устройства. На рисунке 5.8 приведена схема фотоэлектрической блокировки пресса. На тяге 2 педали установлен блокировочный электромагнит 1. Справа и слева от рабочего стола пресса расположены фотоэлемент 4 и осветитель фотореле 3. Световой луч, падающий на фотоэлемент, обеспечивает постоянное протекание тока в обмотке блокировочного электромагнита. В этом случае возможно включение путем нажатия педали. Если же в момент нажатия педали в рабочей (опасной) зоне штампа окажется рука рабочего, падение светового потока на фотоэлемент прекращается, обмотки блокировочного магнита обесточиваются, и включение пресса педалью становится невозможным. Такая блокировка не требует никаких механических конструкций, малогабаритна, надежна, удобна в эксплуатации, позволяет обеспечить защиту весьма протяженных зон.

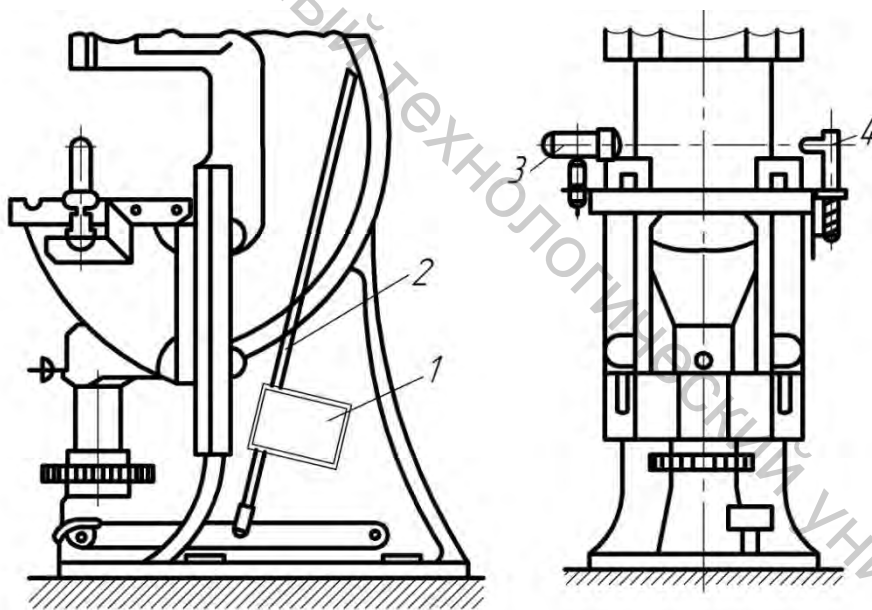


Рисунок 5.8 – Схема фотоэлектрической блокировки пресса

Примером *комбинированной блокировки* является электромеханическая блокировка, схема которой приведена на рисунке 5.9. Управляющая рукоятка 1 через валик соединена с переходным элементом и замком 2, запирающим дверь 4. При открытии двери рубильник не может быть включен, так как засов 3 замка упирается в палец 5, который выходит под действием пружины при открывании двери. Для включения

установки следует вначале закрыть дверь и повернуть рукоятку. При этом скоба на двери нажмет палец 5, утопит его и даст возможность за-сову 3 войти в отверстие скобы, которая укреплена на двери. Дальнейшим поворотом рубильника замыкается электрическая цепь.

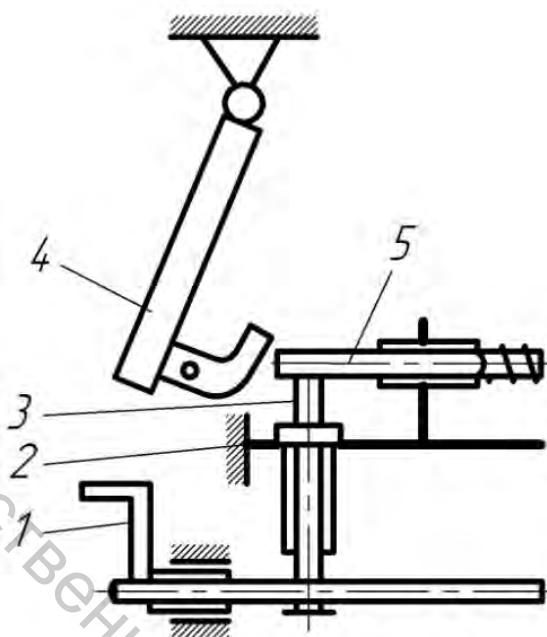


Рисунок 5.9 – Электро-механическая блокировка

5.4.4 Тормозные устройства

Тормозные устройства подразделяют:

- по конструктивному исполнению на: колодочные, дисковые, конические и клиновые;
- по способу срабатывания на: ручные, автоматические и полуавтоматические;
- по принципу действия на: механические, электромагнитные, пневматические, гидравлические и комбинированные;
- по назначению на: рабочие, резервные, стояночные и экстренного торможения.

Тормоза играют важную роль в обеспечении безопасной эксплуатации, ремонта и обслуживания технологического оборудования, позволяя быстро останавливать валы, шпиндели и прочие элементы, являющиеся потенциальными источниками опасности.

Особо отметим наличие у всех видов травмоопасного оборудования систем экстренного торможения в аварийных ситуациях («аварийный стоп»). Они обязательны в автоматических линиях длиной выше 10

м. В особо опасных случаях предусматриваются резервные системы торможения.

В машиностроении в оборудовании чаще всего используются дисковые и колодочные тормоза, конструкции которых представлены на рисунке 5.10. При включении этих тормозов срабатывает электромагнит, втягивающий сердечник. Это приводит в движение соответствующие кинематические звенья (рычаг, шток, тяги), с помощью которых осуществляется зажим фрикционных элементов, что и вызывает торможение.

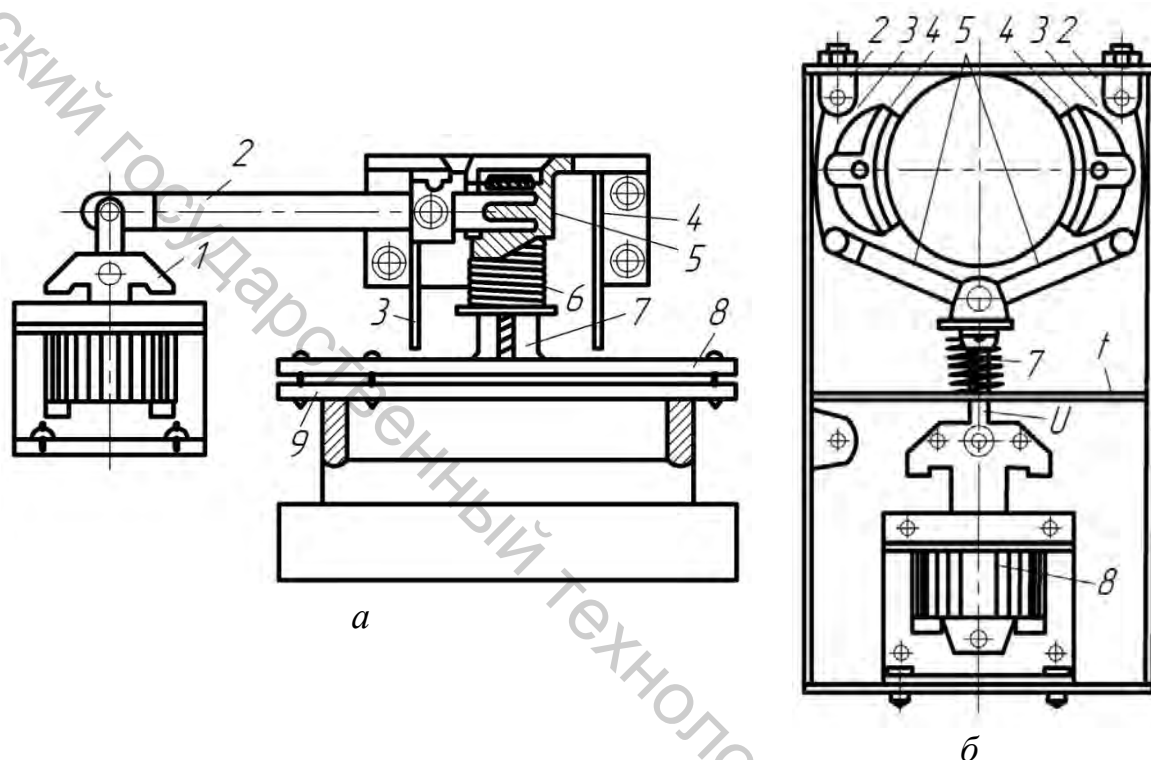


Рисунок 5.10 – Схема тормозных устройств:

- а – дисковый тормоз: 1 – сердечник электромагнита; 2 – рычаг управления; 3 – направляющие; 4 – кронштейн; 5 – втулка; 6 – пружина; 7 – шток; 8 – тормозной диск штока с фрикционной накладкой; 9 – диск шкива электродвигателя, б – колодочный тормоз с электромагнитом: 1 – корпус; 2 – вилка; 3 – коромысло; 4 – тормозные колодки; 5 – тяги; 6 – шток; 7 – пружина; 8 – электромагнит

Наличие контрольно-измерительных приборов – одно из условий безопасной и надежной работы оборудования. Это приборы для измерения давлений, температур, статических и динамических нагрузок и других параметров, превышение допустимых значений которых может привести к аварии, а, следовательно, и к травматизму. Эффективность использования этих приборов повышается при объединении их с системами сигнализации.

5.4.5 Устройства автоматического контроля и сигнализации

Устройства автоматического контроля и сигнализации подразделяют:

- по назначению на: информационные, предупреждающие, аварийные и ответные;
- по способу срабатывания на: автоматические и полуавтоматические;
- по характеру сигнала на: звуковые, световые, цветовые, знаковые и комбинированные;
- по характеру подачи сигнала на: постоянные и пульсирующие.

Информационная сигнализация находит применение при проведении разнообразных технологических процессов, а также на испытательных стендах. При монтажных операциях зеленые сигнальные лампы должны включаться на временно не работающем оборудовании. Подобная же сигнализация применяется в шумных производствах, где нарушена речевая связь. В поточных и автоматизированных линиях красные сигнальные лампы устанавливают на машинах и установках, которые не контролируются обслуживающим персоналом.

Подвидом информационной сигнализации являются всякого рода схемы, указатели, надписи. Последние могут пояснять назначение отдельных конструктивных элементов машин и механизмов. Как правило, надписи делают непосредственно на оборудовании либо непосредственно в зоне его обслуживания на специальных табло.

Отметим также подсветку шкал измерительных приборов, подсветку на мнемонических схемах.

Устройства предупреждающей сигнализации предназначены для предупреждения о возникновении опасности. Чаще всего в них используют световые и звуковые сигналы, поступающие от различных приборов, регистрирующих ход технологического процесса, в том числе уровень опасных и вредных факторов. Для звуковой сигнализации применяют сирены или звонки.

Большое применение находит предупреждающая сигнализация, опережающая включение оборудования. Она предусматривается в производствах, где перед началом работы в опасной зоне могут находиться люди (автоматические линии сборочных цехов, литейные цеха и т.д.). Металлорежущие станки (автоматические линии), которые невозможно увидеть полностью с рабочего места, а неожиданное их включение может привести к травмированию людей, оказавшихся вблизи станка (линии), снабжают предупреждающей сигнализацией (звуковой, световой или комбинированной), автоматически включающейся при нажатии пусковой кнопки пульта управления и сигнализирующей не менее 15 с.

Оборудование должно автоматически включиться по окончании действия сигнала.

На вращающихся и перемещающихся приспособлениях для механизированного закрепления заготовок металлорежущих станков должны быть четко выполненные нестираемые надписи, указывающие максимально допустимые характеристики их движения, при которых работа станка остается безопасной.

Указатели желательно выполнять в виде световых табло с переменной по времени (мигающей) подсветкой.

Подвидом предупреждающей сигнализации является сигнальная окраска (разметка). Травмоопасные элементы оборудования выделяют чередующимися (под углом 45° к горизонтали) полосами желтого и черного цвета.

У абразивных металлорежущих станков кромки защитных кожухов к инструменту (кругу, ленте) у зоны их раскрытия должны быть окрашены в желтый сигнальный цвет. Внутренние поверхности кожухов в этом случае должны иметь ту же окраску.

На станках в красный цвет окрашивают обратные стороны дверец ниш для электрооборудования, а также поверхности схода стружки.

Устройства дистанционного управления подразделяют:

- по конструктивному исполнению на: стационарные и передвижные;
- по принципу действия на: механические, электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

5.5 Системы безопасности на базе контроллеров

В настоящее время, когда длительность технологических процессов исчисляется долями секунд, а их энергоемкость достигает нескольких мегаватт, требования к надежности и времени реакции защитных систем стали настолько высоки, что обеспечить их могут только специализированные интеллектуальные устройства – контроллеры безопасности.

Один из разработчиков таких систем является ООО «ОмронЭлектроникс». Контроллеры безопасности производства компании представлены четырьмя типами устройств: автономными контроллерами безопасности серии G9SP, контроллерами сети безопасности серий NE1A-SCPU01/NE1A-SCPU02, терминалами входов и выходов безопасности серии DST1 и встраиваемыми контроллерами с расширением серии NX.

Контроллер безопасности G9SP, в отличие от аппаратно-конфигурируемых систем безопасности, легко может быть перепро-

граммирован для выполнения своих функций в составе любой другой сложной системы. На рисунке 5.11 представлен типовой набор модулей контроллера безопасности серии.

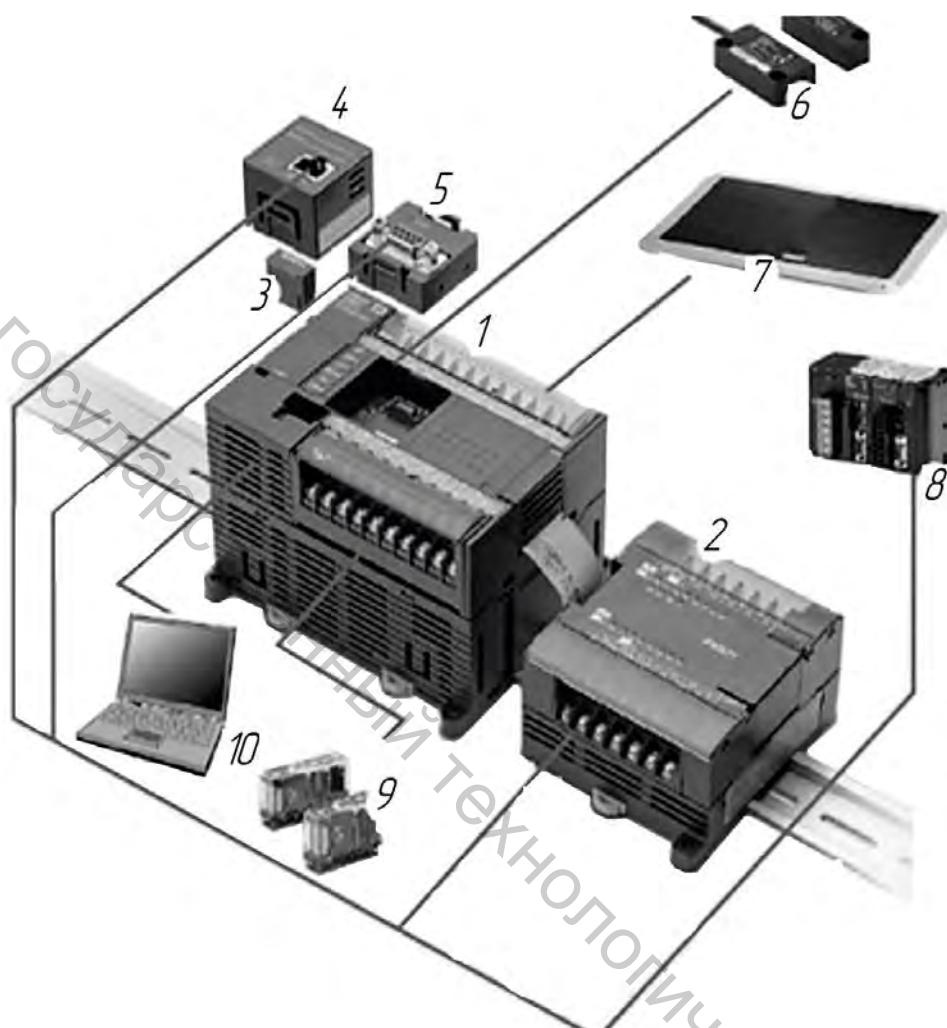


Рисунок 5.11 – Типовая конфигурация сети.

1 – контроллер безопасности; 2 – модули расширения ввода-вывода; 3 – модули памяти, дополнительная плата интерфейса Ethernet; 5 – дополнительная плата интерфейса RS-232C; 6 – бесконтактный дверной выключатель; 7 – коврики безопасности, 8 – CJ1/ПЛК; 9 – реле с механически связанными контактами; 10 – конфигуратор

Контроллер серии G9SP является самодостаточным модулем, содержащим большое количество линий ввода-вывода сигналов, гибкий программно-конфигурируемый алгоритм и возможность расширения функционала путем добавления различных узлов и устройств в свою конфигурацию.

Базовый блок контроллера представлен тремя конфигурациями, отличающимися только количеством линий ввода-вывода.

Для увеличения количества линий ввода-вывода к контроллеру может быть добавлен модуль расширения линий CP1W при помощи кабеля CP1W-CN811 длиной 80 см. Модули расширения имеют четыре исполнения по сочетанию количества линий ввода-вывода.

Тип выходных каналов – транзисторный с открытым коллектором.

Контроллер безопасности интегрируется в целевую систему, как показано на рисунке 5.12.

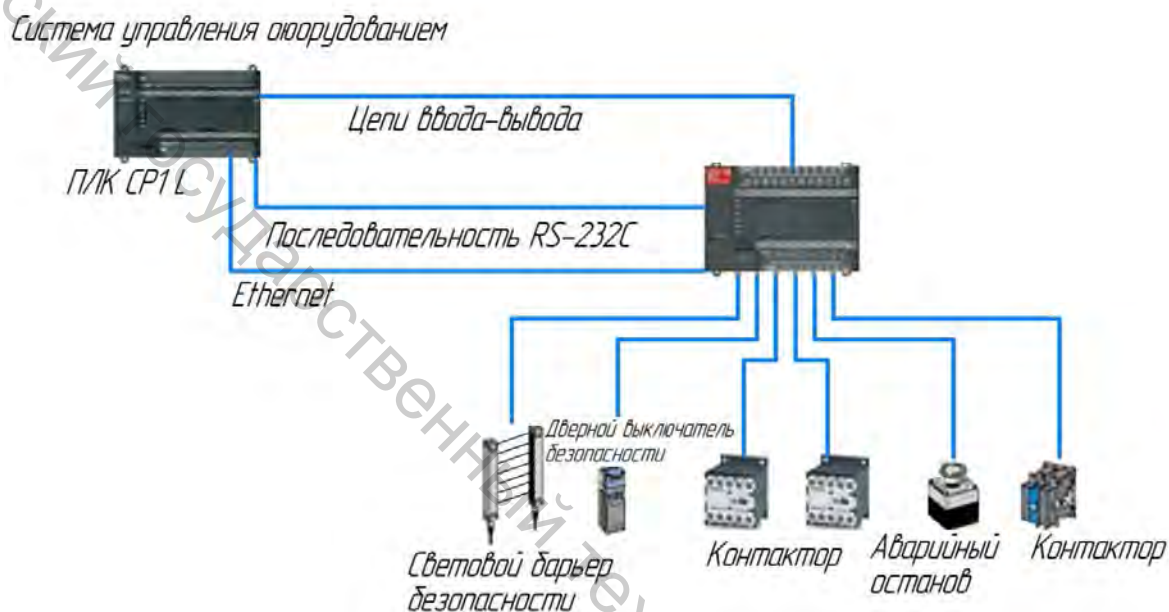


Рисунок 5.12 – Интеграция контроллера безопасности в технологическую систему автоматизации оборудования

Центральный управляющий контроллер получает информацию о состоянии всего оборудования и датчиков безопасности от контроллера G9SP по любому из интерфейсов, принятых для данной системы: по параллельной шине данных, последовательным интерфейсам RS-232 или Ethernet.

Для визуализации состояния и конфигурировании к базовому блоку контроллера безопасности может быть подключен персональный компьютер, через который осуществляется задание всех необходимых параметров функционирования.

Система вибромониторинга SETPOINT – система онлайн мониторинга вибрации и параметров технологического процесса для систем защиты агрегатов (рис. 5.13). В 19-дюймовое шасси SETPOINT можно завести до 56 каналов вибрации/осевого сдвига/скорости вращения или до 84 каналов техпроцесса (температура, давление, расход).

Система SETPOINT осуществляет измерение эксплуатационных характеристик агрегатов (относительная вибрация, абсолютная вибра-

ция, фазовый отметчик (обороты)), непрерывный контроль технологических параметров агрегата с выработкой сигналов аварийной и предупредительной сигнализации при выходе параметров за допустимые пределы и передает текущие значения параметров в АСУ ТП.

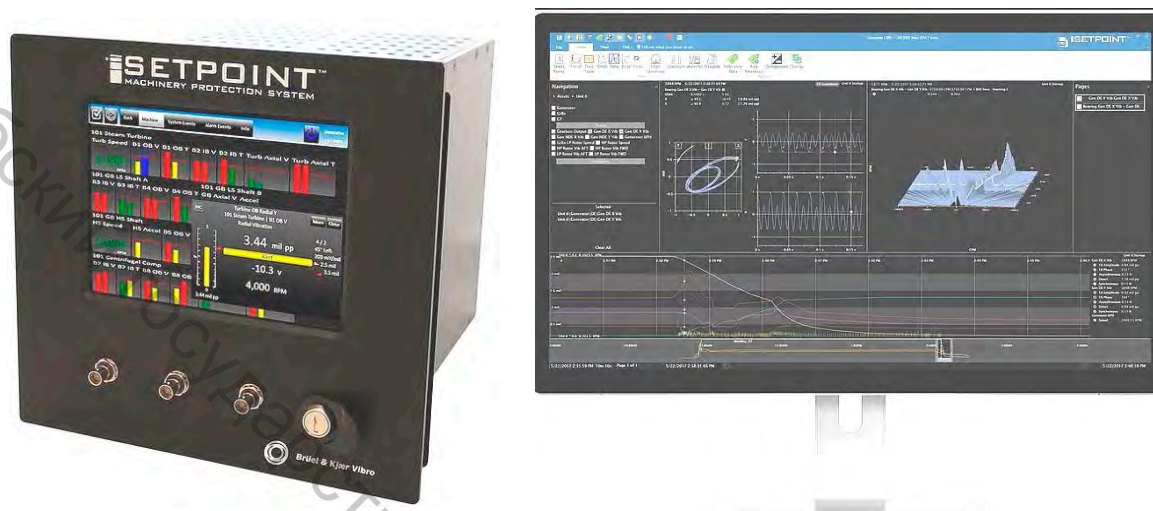


Рисунок 5.13 – Элементы системы SETPOINT

Особенности: интуитивно понятный сенсорный дисплей обеспечивает возможность вывода состояния и данных всего парка на единый экран; высоконадежная конструкция; полное соответствие стандарту API 670; протокол предоставляет полностью открытый доступ к (динамическим) данным о сигналах; среда настройки в форме электронной таблицы позволяет вырезать (вставлять) данные, используя программу Excel и большинство других программ для Windows для сокращения утомительного повторного ввода данных с клавиатуры.

GEMCMS – система динамического и квазистатического обнаружения соударений (рис. 5.14). С помощью GEMCMS можно уменьшить повреждения или даже избежать дорогостоящего последующего ремонта от соударений в металлорежущих станках, роботах и системах обработки. В случае соударения система подает сигнал остановки в течение 1 мс и обеспечивает нераспространение повреждения. Благодаря специальному датчику система может обнаруживать не только сильные удары, но и безударные столкновения («квазистатические»), вызывающие возникновение сжимающих усилий на более низкой скорости, обычно во время настройки.

Специальный датчик обнаруживает малейшие деформации в микронном диапазоне внутри конструкции станка, вызванные силами, действующими на соответствующие оси шпинделя. Благодаря такому способу измерения GEMCMS не только обнаруживает жесткие удары, но

также и неударные столкновения на более низкой скорости, в зависимости от настроек системы.

Система предоставляет 3 различные режима работы с 3 различными статическими пределами в каждом режиме для предупреждения, плавной и жесткой остановки. Все события, выходящие за границы заранее установленных пределов жесткой остановки, записываются в файл журнала для последующего анализа (таблица соударений). Критические последовательности процесса обработки можно записать и подробно проанализировать позднее.

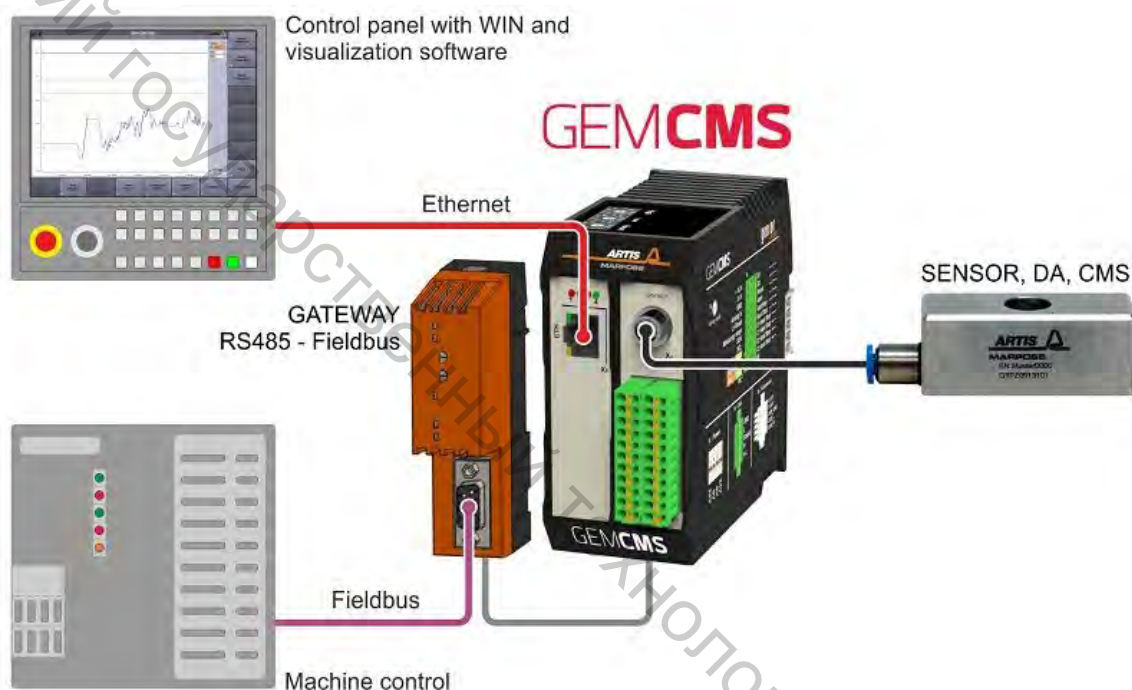


Рисунок 5.14 – Система для динамических и медленных столкновений с интерфейсом Fieldbus

GEMCMS может использоваться в автономном режиме с программным обеспечением, работающим на элементах управления, функционирующих на операционной системе Windows (Win 7/10), соответственно, на системах SiemensLinux (TCU).

5.6 Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются методы технической диагностики станков?
2. Каким образом получают диагностическую информацию?
3. Опишите систему Winnum CNC для удаленного мониторинга и диагностики оборудования.

4. Назовите основные опасности токарных станков.
5. Что предусматривается в токарных станках для защиты от опасностей?
6. Каким общим требованиям должны удовлетворять защитные устройства?
7. Как классифицируются средства защиты на станках?
8. Как классифицируются оградительные устройства станков?
9. Для чего на станках применяются защитные ограждения кабинетного типа?
10. Приведите примеры блокировочных предохранительных устройств станков
11. Какие Вам известны виды блокировочных предохранительных устройств станков.
12. Приведите примеры ограничительных предохранительных устройств.
13. Для чего применяется электронные блокировочные системы?
14. Изобразите схему фотоэлектрической блокировки прессы.
15. Приведите пример электромеханической блокировочной системы.
16. Как классифицируются тормозные устройства станков?
17. Опишите принцип работы дисковых и колодочных тормозных систем станков.
18. Как классифицируются устройства автоматического контроля и сигнализации станков?
19. Опишите известные Вам системы безопасности на базе контроллеров.
20. Каково назначение и характеристики системы SETPOINT ?
21. Каково назначение и характеристики системы GEMCMS?

6 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

6.1 Механические и электрические системы станков

В современных металлорежущих станках для выполнения функций используются системы и устройства различной физической природы (механические, электрические, гидравлические, пневматические, оптические), а также системы и устройства на основе их сочетания (электродгидравлические, гидромеханические, электропневматические, опто-электрические и др.).

К механическим системам металлорежущего станка относятся детали (станины, корпуса, кронштейны, валы, оси, втулки, диски, зубчатые колёса, листовые, крепёжные и др.), неподвижные разъемные (резьбовые, шпилечные, шпоночные, шлицевые и клиновые и штифтовые) и неразъемные (заклёпочные, с натягом, пластического деформирования, клеевые, паянные, сварные) соединения и механизмы [121–122].

Основными *механизмами* металлорежущих станков являются:

- 1) механизмы вращательного движения (соединительные муфты и подшипниковые узлы);
- 2) механизмы передачи движения (ременные, цепные, зубчатые, фрикционные передачи);
- 3) механизмы преобразования движения (винт-гайка; кривошипно-шатунный механизм; эксцентриковый кулисный, храповый, кулачковый и реечный механизмы);
- 4) механизмы поступательного движения (направляющие скольжения (плоские, призматические, ласточкин хвост, круглые, v-образные); направляющие качения).

Направлениями развития механических систем станков являются повышение качества изготовления деталей и сборки, использование новых материалов, совершенствование конструкций, улучшение эксплуатационных свойств механизмов и др.

К *электрическим системам* металлорежущего станка относятся электроприводы, системы освещения, управления, электроники, сигнализации и т.д.

В состав *электрооборудования* металлорежущих станков входят электродвигатели, электромагниты, электромагнитные муфты, путевые и конечные выключатели, различные датчики, кнопки управления, переключатели, сигнальные лампы, магнитные пускатели, реле, трансформаторы, понижающие напряжение на схему управления, схемы сигнализации и местного освещения, аппараты защиты (автоматические выключатели, плавкие предохранители и тепловые реле).

Электрооборудование и автоматика современных металлорежущих станков включает в себя различные программируемые контроллеры, частотные преобразователи, устройства плавного пуска электродвигателей, бесконтактные пускатели, бесконтактные путевые выключатели и другие электронные и программируемые элементы управления.

Электрооборудование металлорежущих станков размещается на самом станке, на пульте управления и в шкафу управления, который обычно размещается рядом со станком.

Тенденциями развития электроприводов является:

- расширение области применения регулируемого электропривода;
- повышение технологических требований к динамическим и точностным показателям электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с управлением технологическими процессами, и соответствующее возрастание сложности систем управления электроприводами; их развитие идет по пути создания систем числового программного управления и расширения использования современной вычислительной техники, создаваемой непосредственно для целей управления на базе микропроцессоров;
- стремление к унификации элементной базы электропривода, созданию унифицированных комплектных электроприводов путем использования современной микроэлектроники и блочно-модульного принципа;
- проблема рационального проектирования электроприводов с точки зрения энергопотребления.

6.2 Гидравлические и пневматические системы станков

Гидравлическая система металлорежущего станка может состоять из системы смазки, подачи смазочно-охлаждающей жидкости, гидропривода подачи рабочих органов, главного и вспомогательных движений, гидростатических опор шпинделей и направляющих рабочих органов, органов управления и др. [123–126].

Гидропривод состоит из следующих основных частей: бака с рабочей жидкостью, гидронасоса, подающего рабочую жидкость в гидросистему, гидроаппаратуры, предназначенной для изменения или поддержания заданного постоянного давления или расхода рабочей среды, гидроцилиндров для прямолинейного перемещения исполнительных органов станка или гидромоторов для вращательного движения, трубопроводов, соединяющих элементы гидропривода в единую гидросистему.

В условиях значительных усилий и скоростей, требований высокой точности и хорошей динамики, наличия больших пиковых нагрузок и температур наибольшее применение находят регулируемые аксиально-поршневые насосы. Так насос с наклонным диском мод. A10VSO (Bosch Group) имеет номинальное давление 28 МПа, пиковое давление 35 МПа, рабочий объем 10...140 см³ (рис. 6.1).



Рисунок 6.1 – Аксиально-поршневой насос A10VSO (Bosch Group)

Тенденциями развития аксиально-поршневых и прочих насосов является: наличие сквозного вала для продольного сопряжения с другими насосами; повышение быстродействия регуляторов; совершенствование подшипников; применение новых материалов и покрытий; уменьшение сжимаемого объема рабочей камеры; возможность работы на различных рабочих жидкостях и температурах; расширение всасывающей линии.

Снижение шума в аксиально-поршневых машинах обеспечивается за счёт совершенствования процессов распределения (например, введения компенсационной камеры в насосах PV фирмы Parker), изменения геометрии корпуса, широкого использования гидростатической разгрузки, виброизоляции насосного агрегата.

Опережающее развитие получают мал шумные шестерённые насосы внутреннего зацепления, насосы наружного косозубого зацепления (рис. 6.2). Неэвольвентное зубчатое зацепление (Silence фирмы Bosch Rexroth) позволило уменьшить пульсации на 75 % и снизить уровень шума вдвое. Существенный эффект обеспечивает применение шестерен с винтовыми зубьями (HANSA TMP).

Широко применяются и развиваются радиально-поршневые насосы, в том числе регулируемые, а также пластинчатые насосы.

Новые мультипликаторы miniBOOSTER позволяют многократно увеличивать давление в гидросистеме (до 200...500 МПа) и создавать

исключительно компактные зажимные механизмы без применения сравнительно малонадёжных и дорогих насосов высокого давления.

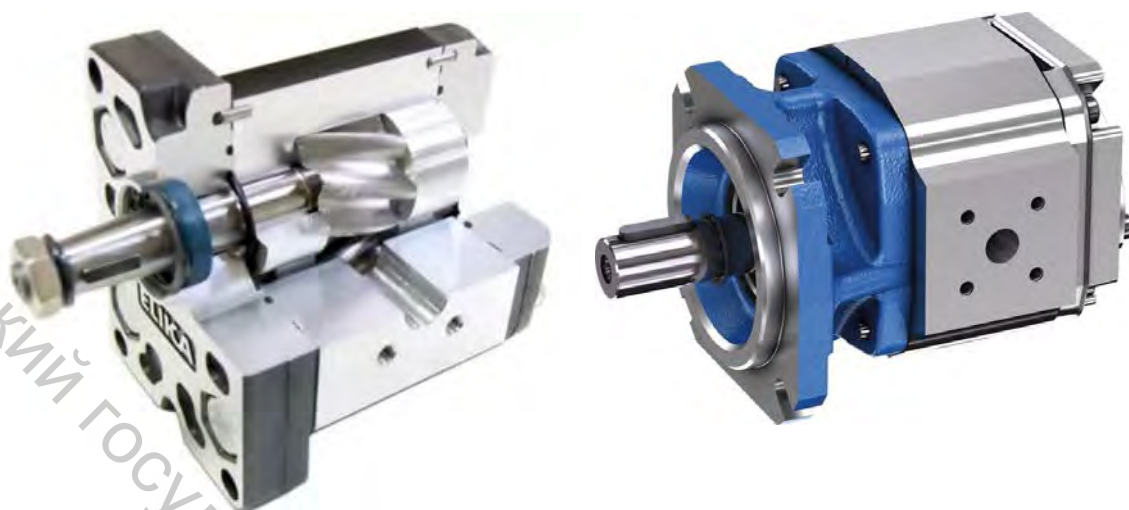


Рисунок 6.2 – Шестеренчатые насосы

Развитие *гидроцилиндров* идёт в направлении их доукомплектования различными компонентами. Разрабатываются цилиндры с гидрогазовыми аккумуляторами, встроенными в шток, а также датчиками положения поршня, регуляторами расхода, электроуправляемыми распределителями и даже малогабаритными гидростанциями (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Цилиндр, укомплектованный малогабаритной гидростанцией

Развитая гамма гидроцилиндров фирмы Hänchen имеет исполнения с гидростатическими опорами штока, контролем хода с помощью встроенных позиционных датчиков или бесконтактных выключателей, гидромеханическими тормозами; поставляются также усилители давления (до 400 МПа), гасители ударов и полностью комплектные гидравлические оси с сервоцилиндрами. Фирма Bosch Rexroth наряду с ранее выпускавшейся встроенной системой CIMS измерения хода освоила новую версию – CIAMS с абсолютным позиционным датчиком (сотые доли мм).

При работе системы (рис. 6.4) специальный поверхностный сканер с сенсорами и магнитом взаимодействует с рисками, нанесёнными на штоке под слоем керамического покрытия, микропроцессорный мо-

дуль обрабатывает информацию и передаёт её по шине CANopen. Фирма Hunger Hydraulik является одним из лидеров мирового производства гидроцилиндров.

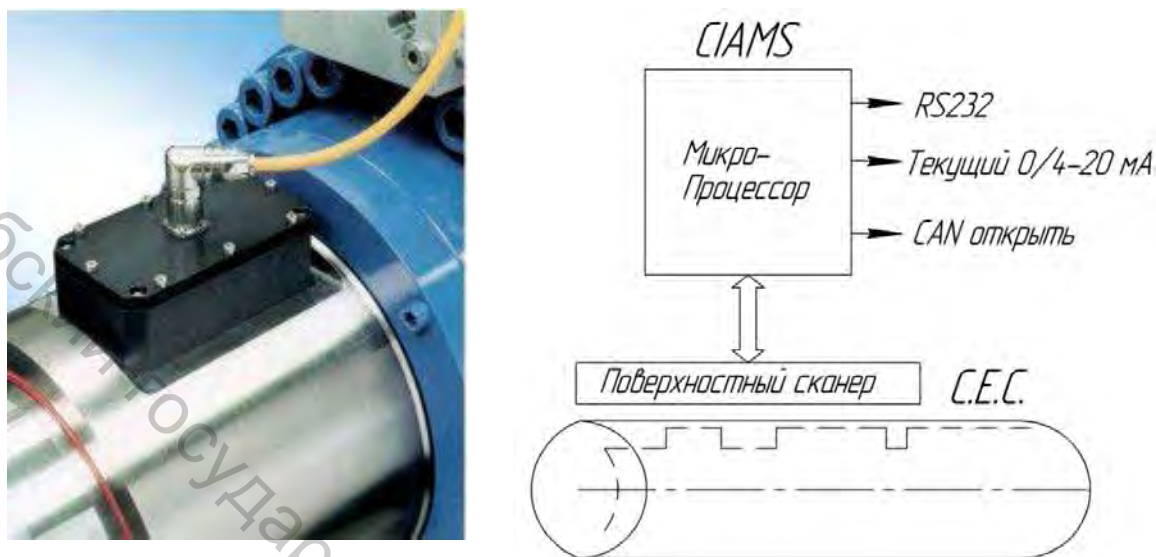


Рисунок 6.4 – Позиционный датчик CIAMS фирмы Bosch Rexroth

При изготовлении наряду с твёрдым хромированием, никелированием или полимерным покрытием штоков применяется система термического распыления Ceraplate, позволяющая контролировать ход на базе датчика, работающего по принципу эффекта Холла (разрешение 1 мм). Покрытие Ultraplate, основанное на методе сварки дуговой плазмой, обеспечивает возможность работы в среде солёной морской воды.

Продолжает развиваться технология изготовления гидроцилиндров с использованием гильз и штоков с окончательно обработанными рабочими поверхностями, а также централизованно поставляемых комплектующих элементов (поршней, бус, проушин, опорно-уплотнительных колец и др.). Имеются сообщения о создании принципиально новых тянущих приводных элементов – механических мышц, представляющих собой, по существу, отрезок рукава высокого давления с заделками.

Большинство ведущих ином фирм предлагает широкий выбор гидроаппаратов ввертного монтажа (рис. 6.5). Несмотря на существующие стандартные размеры посадочных гнёзд, некоторые изготовители предлагают оригинальные решения. Так, в аппаратах фирмы SUN с числом линий более двух крепёжная резьба расположена в средней части корпуса, что позволяет минимизировать деформации, возникающие при затяжке, и увеличить число гидролиний до 6 (например, в распределителях с гидроуправлением).



Рисунок 6.5 – Гидроаппараты ввертного монтажа

Ввертное исполнение предохранительного клапана имеет сверху гнездо для подключения пилота с электрическим, пропорциональным или гидравлическим управлением. При использовании аппаратов ввертного монтажа особое значение приобретает проблема оптимального трёхмерного проектирования гидроблоков (рис. 6.6). Для её решения используются специальные программные пакеты, позволяющие предельно сократить сроки проектирования и повысить его качество.

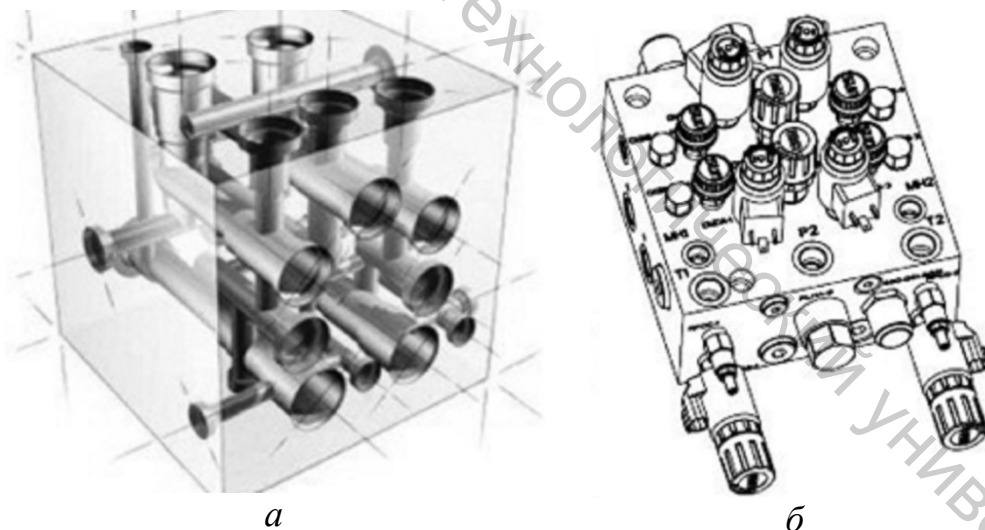


Рисунок 6.6 – Трёхмерное проектирование гидроблоков (а) и пример гидроблока пресса (б)

Наиболее интенсивное развитие получают гидроаппараты, связывающие электронные системы управления с гидравлическими силовыми исполнительными органами. К этой группе относятся дроселирующие гидрораспределители и аппараты пропорционального электроуправле-

ния, в том числе интеллектуальные – со встроенными электронными системами контроля и управления.

На рынке широко представлены аппараты пропорционального электроуправления – гидрораспределители, предохранительные и распределительные клапаны, дроссели и регуляторы расхода, а также модульные плитки (рис. 6.7).



Рисунок 6.7 – Аппараты пропорционального электроуправления:
а – предохранительный клапан, б – распределительный клапан,
в – пропорциональный дроссель, г – гидрораспределитель

Перспективно развитие цифровой гидроаппаратуры, в которой в качестве задающих устройств используются миниатюрные шаговые двигатели. Это позволяет управлять гидроаппаратом непосредственно от силовых выходов программируемых логических контроллеров.

Продолжают развиваться линейные электрогидравлические сервоприводы («координатные оси»).

От 50 до 70 % отказов гидроприводов связана с недостаточной очисткой рабочих жидкостей, поэтому фильтровальная техника продолжает интенсивно развиваться. Применяются многослойные фильтроматериалы, развиваются способы монтажа фильтров, средства инди-

кации загрязнения, реверсивные фильтры, сдвоенные фильтры для замены без остановки. Для подбора фильтров развиваются САПР (например, фирмы *MP-Filtri*). Одним из лидеров в области фильтровальной техники является фирма *Internormen*.

Развивается уплотнительная техника. Резино-пластмассовые уплотнители обеспечивают герметичность в условиях высоких давлений и скоростей движений (фирмы *Элконт*, *Busak+Shamban*).

Широко развивается соединительная арматура для трубопроводов. Перспективным представляется монтаж с помощью прецизионных труб и врезных колец с эластомерными уплотнениями (фирма *parker*).

Продолжают совершенствоваться приборы для измерения параметров гидроприводов. Показывающие, сигнализирующие, цифровые и виброустойчивые манометры рассчитаны на давление до 400 МПа. Применяются интеллектуальные приборы цифровой индикации, способные обрабатывать информацию от нескольких датчиков, фиксировать пики давления, разность давления и температур, расход, частоты вращения и другое программное обеспечение позволяет транслировать данные на ПК, хранить в памяти, исследовать кривые переходных процессов.

В современных обрабатывающих центрах гидроприводы применяются главным образом для зажимных устройств и автоматизации вспомогательных движений. Часто для этого применяются малозумные компактные насосные модули HKF (*Hawe*) или UPE (*Bosch Rexrot*), которые называются «интеллектуальной гидравликой».

Таким образом, к основным тенденциям развития гидрооборудования относятся:

- сращивание гидроприводов с электронными системами управления; применение «интеллектуальных» насосов и гидроаппаратов со встроенной электроникой и коммуникационных средств (полевых шин) с открытой структурой позволяет обеспечить выполнение индивидуальных требований заказчиков; облегчить управление; повысить быстродействие; снизить затраты на кабели; повысить помехозащищенность; обеспечить диагностику неисправностей;

- повышение рабочего давления и использование мультипликаторов давления;

- использование компактной гидроаппаратуры на основе ввертного монтажа;

- улучшение эксплуатационных показателей: снижение шума; энергосбережение (повышение КПД, оптимизация схемных решений, применение систем управления от ЭВМ, частотное регулирование, насосно-аккумуляторные установки); экологическая безопасность (исключение утечек и использование чистых рабочих жидкостей); повышение надёжности (диагностические средства и очистка рабочих жид-

костей); упрощение ремонтно-восстановительных работ (поставка запасных частей);

– унификация параметров и размеров.

В зависимости от комплектации и конструктивных особенностей в станках могут работать следующие *пневматические системы и устройства*: обдув инструмента, для очистки и защиты от перегрева; подача в зону резания распыленных охлаждающих жидкостей; подача смазки; система пневматических упоров; затворные клапаны вакуумной системы; зажимные устройства рабочих столов; устройства автоматической смены инструмента; подвижные оси агрегатов, устанавливаемых на станок; контроль плотности сочленения поверхностей; пневмоцилиндры; вспомогательные механизмы для загрузки деталей; аспирационные кожухи; затворы воздухоотводов; устройства пневмоавтоматики и др. [127–130].

Такое широкое применение можно объяснить следующими положительными свойствами пневматики: быстродействием пневматических исполнительных механизмов; возможностью осуществления сравнительно простыми средствами сложных автоматических циклов; большим сроком службы элементов пневмоавтоматики; пожаро- и взрывобезопасностью; надежностью работы в широком диапазоне температур; возможностью питания большого числа потребителей от единой компрессорной установки; относительной легкостью транспортировки энергии по трубопроводам; возможностью выпуска отработанного воздуха в атмосферу непосредственно или через глушитель без опасности загрязнения окружающей среды; отсутствием необходимости в сложных защитных устройствах от перегрузки; относительной простотой конструкции и эксплуатации.

Конструкция пневматической системы станка состоит из блока подготовки сжатого воздуха (пневмоблока) и системы распределения сжатого воздуха. В пневмоблоке выполняется очистка поступающего сжатого воздуха от воды и частиц грязи, выравнивание давления и смазка пневматической системы станка ЧПУ. В соответствии с функциями, пневмоблок представляет собой набор, который включает: блок подвода воздуха, как правило, имеет клапан регулирования давления, манометр и стакан для сбора конденсата; блок очистки сжатого воздуха с фильтром тонкой очистки; маслораспылитель с регулируемой подачей смазки в пневмосистему станка ЧПУ; выключатель подачи сжатого воздуха.

Следует предупредить, что сжатый воздух, подаваемый в пневмоблок от компрессора, должен быть предварительно очищен и не содержать масло и влагу, так как это может сказаться на качестве очистки и пропускной способности фильтра тонкой очистки, и, как следствие, стабильной работе станка ЧПУ (рис. 6.8). К тому же некоторые устрой-

ства пневматического оборудования станка ЧПУ не нуждаются в подаче масла через пневматическую систему.

Система распределения сжатого воздуха станка представляет собой сочетание отдельных пневматических устройств, таких как пневмоцилиндры, регуляторы давления, электромагнитные и механические клапанные распределители, датчики давления, соединенные между собой полимерными трубками через фитинговые переходники (рис. 6.9).

Управление тем или иным пневматическим устройством станка ЧПУ происходит путем подачи напряжения на соответствующий электромагнитный клапан, или переключением механического клапанного распределителя. Управление может осуществляться как вручную (нажатием кнопки, педали или переключением тумблера), так и программным способом.



Рисунок 6.8 – Блок подготовки сжатого воздуха

Для обеспечения стабильной и безопасной работы станков и обрабатывающих центров ЧПУ качество сжатого воздуха, подаваемого из общей пневмосистемы цеха, должно отвечать следующим требованиям: иметь давление в пределах рабочего диапазона (в пределах 6–7 бар); не «проседать» ниже установленного диапазона как во время работы самого станка ЧПУ, так и во время работы других производственных линий цеха; не иметь посторонних примесей, в том числе грязи, влаги, масла.

Как правило, за качество воздуха, подаваемого к устройствам станка, отвечает блок подготовки сжатого воздуха, установленный

непосредственно на станке ЧПУ. Однако не менее важным является и качество воздуха подаваемого из общецеховой пневматической сети.

В настоящее время в пневматических системах больше внимания уделяют решениям, которые позволяют повысить энергоэффективность тех или иных изделий, вне зависимости от того, распределительная ли это техника или исполнительные устройства в виде пневматических цилиндров. Но в целом тенденция развития – это создание интеллектуальных систем, ее вектор направлен в сторону комплексных проектов, когда в одном изделии аккумулируются достижения не только пневматики, но и электроники, и механики, благодаря чему и создаются принципиально новые продукты и системы.

Ведущими фирмами-производителями пневмооборудования являются *Camozzi*, *FESTO*, *Pneumax*, *SMC*, *Omal*.



в

г

д

Рисунок 6.9 – Пневматические устройства:
а – пневмоцилиндр, б – клапанный распределитель, в – датчик давления, г – регуляторы давления, д – фитинговые переходники

6.3 Сочетание систем различной физической природы

Часто особого эффекта можно достигнуть сочетанием системы и устройства различной физической природы [121–131].

Так, например, известные преимущества электрической и гидравлической технологий наиболее ярко реализуются при их взаимодействии, поэтому электрогидравлическая автоматика имеет впечатляющие перспективы развития. Современные электрогидравлические приводы обеспечивают ускорения до 80g, скорости до 10 м/с и частоту двойных ходов до 3500 в минуту для силовых вибрационных механизмов.

Один из мировых лидеров электрогидравлики – фирма Atos – ориентируется на цифровую технологию, которая по сравнению с аналоговой позволяет улучшить свойства компонентов (гистерезис, быстродействие, линейность), обеспечить отличную повторяемость, надёжное хранение данных, диагностирование неисправностей, упрощение программирования и прямую связь с промышленным компьютером (ПК).

Линейка цифровой электрогидравлики содержит пропорциональные гидрораспределители, предохранительные и редуцирующие клапаны, регуляторы расхода, насосы (в том числе с p/Q-регулированием – одновременным управлением давлением и подачей) и сервоцилиндры (рис. 6.10), а также полный комплект датчиков и электронных устройств управления.

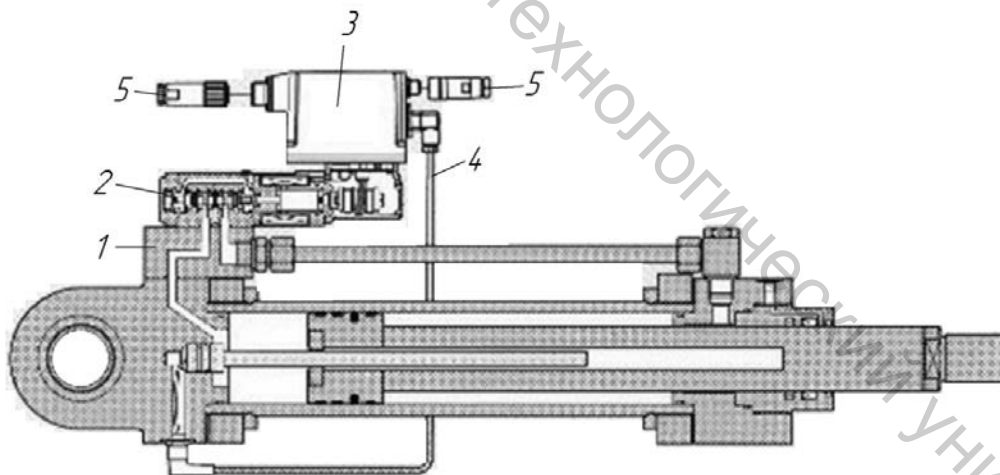


Рисунок 6.10 – Сервоцилиндр AZP фирмы Atos:

- 1 – цилиндр; 2 – пропорциональный гидрораспределитель; 3 – драйвер;
- 4 – кабель позиционного датчика обратной связи;
- 5 – кабели питания и соединения с шиной

Для связи ПК с различными компонентами электрогидравлики той или иной конкретной машины в единый функциональный комплекс используются сетевые шины Fieldbus и др. (рис. 6.11), обеспечивающие защиту от электромагнитных помех, стандартизацию протокола, сниже-

ние стоимости кабелей, расширение возможностей диагностики и дистанционного обслуживания.

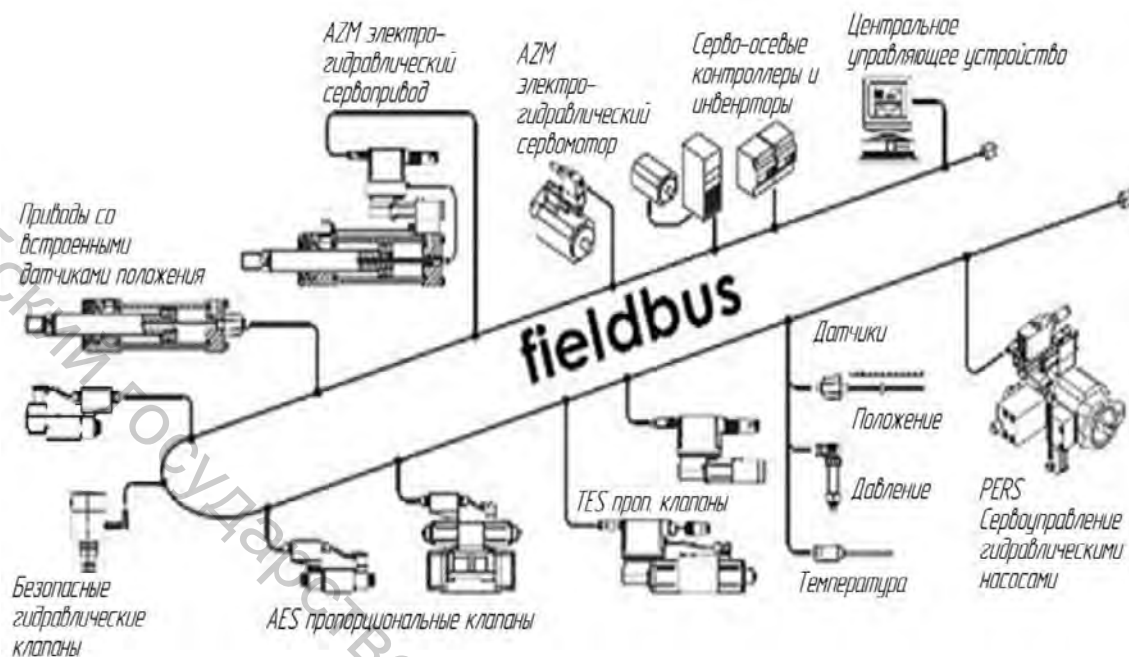


Рисунок 6.11 – Сетевая шина Fieldbus

Схема гидромеханического следящего привода с дроссельным регулированием представлена на рисунке 6.12.

Основными устройствами гидропривода являются:

- гидроцилиндр 1 с поршнем 12 (диаметр поршня $D = 42$ мм, диаметр штока поршня $d = 25$ мм, полный ход поршня из одного крайнего положения в другое $L = 58$ мм);
- золотник цилиндрический 3, четырехщелевой с положительными перекрытиями;
- демпфер 5 предназначен для обеспечения устойчивости гидропривода, регулируется иглой 6;
- кроме уже перечисленных устройств, в гидроприводе установлены:
 - обратный клапан 4;
 - клапаны 7, которые служат для защиты полостей демпфера от падения давления ниже допустимого при резких смещениях золотника;
 - стопор золотника, состоящий из кулачков 2, дифференциального поршня 8, нагруженного пружиной 10, и штока 9;
 - клапан кольцевания 11.

В случае падения рабочего давления ниже допустимого дифференциальный поршень 8 под действием пружины смещается вправо, и кулачки 2, поворачиваясь на оси, закрепленной в корпусе, входят в паз золотника 3. Если в любой из полостей гидроцилиндра 1 давление рабо-

чей жидкости превышает минимально допустимое, то под действием этого давления поршень 8 отжимается в крайнее левое положение, показанное на схеме, и стопор золотника выключается.

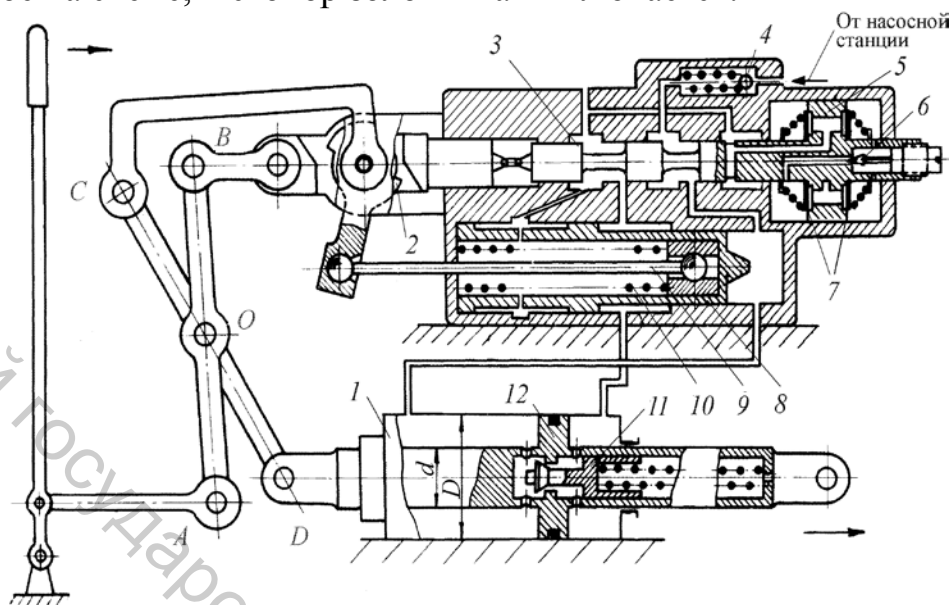


Рисунок 6.12 – Схема гидромеханического следящего привода с дроссельным регулированием

Клапан кольцевания 11 соединяет полости гидроцилиндра друг с другом, когда вследствие падения давления рабочей жидкости управление положением штока поршня 12 должно осуществляться вручную. При падении давления в обеих полостях гидроцилиндра 1 ниже заранее установленного значения клапан кольцевания 11 открывается под действием пружины. Если хотя бы в одной из полостей гидроцилиндра 1 давление жидкости превысит установленное значение, то клапан будет закрыт.

Механизм управления гидропривода выполнен в виде рычагов AB и CD, соединяющих между собой ручку управления, шток золотника и шток поршня гидроцилиндра.

Рабочей жидкостью для данного гидропривода служит масло АМГ-10. Гидропривод работает следующим образом (см. рис. 6.12). При подаче от насосной станции рабочей жидкости под давлением открывается обратный клапан 4. Под действием давления дифференциальный поршень 8 смещается влево, выводя кулачки 2 из паза штока золотника. При этом стопор золотника выключается. Если теперь оператор переместит ручку управления по стрелке на некоторую постоянную величину, то точка A рычага AB сместится в том же направлении, и рычаг AB повернется вокруг оси O против хода часовой стрелки. Соответственно точка B вместе со штоком золотника переместится влево, золотник займет относительно корпуса положение, показанное на схеме. Левая полость гидроцилиндра через центральное окно золотника соеди-

няется с линией высокого давления, а правая полость гидроцилиндра через левое окно золотника – со сливом. Под действием создавшейся разности давлений в полостях гидроцилиндра его поршень начнет перемещаться вправо. Одновременно будет перемещаться вправо и точка C рычага CD , который, поворачиваясь на неподвижной оси D , будет перемещать вправо ось O . При неподвижной ручке управления точка A неподвижна, поэтому при перемещении оси O вправо точка B вместе с золотником будут перемещаться вправо до тех пор, пока золотник не займет нейтральное положение, что приведет к остановке поршня гидроцилиндра. Ход будет пропорциональным перемещению ручки управления. При перемещении ручки управления в противоположную сторону перемещения золотника, рычагов и поршня гидроцилиндра будут происходить в обратных направлениях.

Во время движения на поршень действует сила, равная произведению рабочей площади поршня и разности давлений в полостях гидроцилиндра. Эта сила во много раз превосходит силу, которую необходимо прикладывать к ручке управления. Таким образом, гидропривод, повторяя (отслеживая) движение руки оператора, одновременно увеличивает силу, прикладываемую к регулируемому органу управляемого объекта.

6.4 Вопросы для самоконтроля

1. Какая физическая природа положена в основу систем и устройств современных металлорежущих станков?
2. Перечислите основные механизмы металлорежущих станков.
3. Какие Вам известны тенденции развития электроприводов металлорежущих станков?
4. Что входит в состав электрооборудования станков?
5. Из каких основных частей состоят гидроприводы станков?
6. Какие Вам известны тенденции развития гидроприводов металлорежущих станков?
7. Каковы тенденции развития гидравлических насосов станков?
8. Каковы тенденции развития гидроцилиндров станков?
9. Каковы тенденции развития фильтровальной техники?
10. Какие пневматические системы и устройства могут работать в металлорежущих станках?
11. Перечислите свойства пневматических систем и устройств.
12. Перечислите ведущих производителей пневмооборудования?
13. Из каких компонентов состоят устройства электрогидравлики?
14. Изобразите схему гидромеханического следящего привода с дроссельным регулированием.

7 УНИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

7.1 Понятие стандартизации, нормализации и унификации в станкостроении

Стандартизация, нормализация и унификация при проектировании и производстве станков позволяют обеспечить взаимозаменяемость узлов и деталей, укрупнить серийность изготавливаемых деталей, проводить типизацию технологических процессов, сократить сроки и трудоемкость освоения новых станков, многократно использовать изготовленную технологическую оснастку, увеличить долговечность станков применением уже испытанных в эксплуатационных условиях конструкций, специализировать заводы (организовать поставки по кооперации), повысить ритмичность работы предприятий [132–138].

Стандартизация – установление единых норм и требований, предъявляемых к сырью, полуфабрикатам, готовым изделиям и материалам. Существуют стандарты государственные, отраслевые и стандарты предприятий. Ежегодно выпускают указатели действующих государственных и отраслевых стандартов, которые при каждом выпуске изменяют и дополняют.

В станкостроении стандартизованы основные параметры большинства металлорежущих станков, а также размеры ряда узлов, деталей и элементов деталей (делительные головки, столы, кольца установочные, концы шпинделей и др.). Основой стандартизации являются предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.

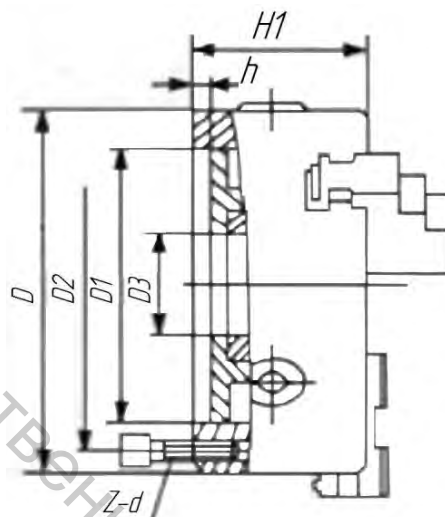
Унификация – устранение многообразия в типоразмерах и марках продукции (машин, узлов, деталей), а также сведение к рациональному минимуму характеристик изделий и методов испытания (рис. 7.1).

В станкостроении унификация получила широкое распространение. Существует внутрирядовая (внутриразмерная) унификация (унификация узлов и деталей внутри ряда однотипных станков) и внерядовая (межразмерная) унификация (унификация узлов и деталей среди разнотипных станков).

7.2 Конструктивно-унифицированные ряды металлорежущих станков

Металлорежущий станок наиболее экономичен в изготовлении и эксплуатации тогда, когда его изготавливают методом серийного или мас-

сового производства с использованием максимально возможного числа унифицированных, нормализованных и стандартных деталей и узлов. Если новые станки проектируют каждый в отдельности и они состоят только из оригинальных узлов и деталей, то это удлиняет сроки освоения новых моделей, уменьшает серийность, тормозит развитие специализации производства, повышает затраты, связанные с проектированием, производством и эксплуатацией станков [132–138].



Размер D	D1	D2	D3	H1	h	Z-d
80	55	66	16	50	4	3-M6
100	72	84	22	55	4	3-M8
125	95	108	30	58	4	3-M8
130	100	115	30	60	4	3-M8
160	130	142	45	65	5	3-M8

Рисунок 7.1 – Фрагмент таблицы рядов нормализованных размеров трехкулачковых патронов

В основу создания конструкций новых станков должен быть положен принцип конструктивной преемственности, согласно которому станки должны создаваться в виде нормального ряда типоразмеров, подобных по кинематическим схемам, конструкции и внешнему виду.

Нормальным (размерным) рядом называется группа однотипных станков, состоящих в основном из унифицированных узлов и деталей, каждый из которых предназначен для обработки деталей определенных размеров. В совокупности нормальный ряд станков позволяет вести обработку деталей различных размеров.

Параметрический ряд – совокупность числовых значений одного или нескольких параметров станков, построенных, как правило, на основе ряда предпочтительных чисел.

Тип – классификационное подразделение, объединяющее станки, сходные по назначению, принципу действия, методу выполнения технологической операции, конструктивной схеме и т.д.

Ряд типоразмеров (размерный ряд) – ряд основных параметров станков одного типа, дополненный конкретными размерами и другими их характеристиками (рис. 7.2).

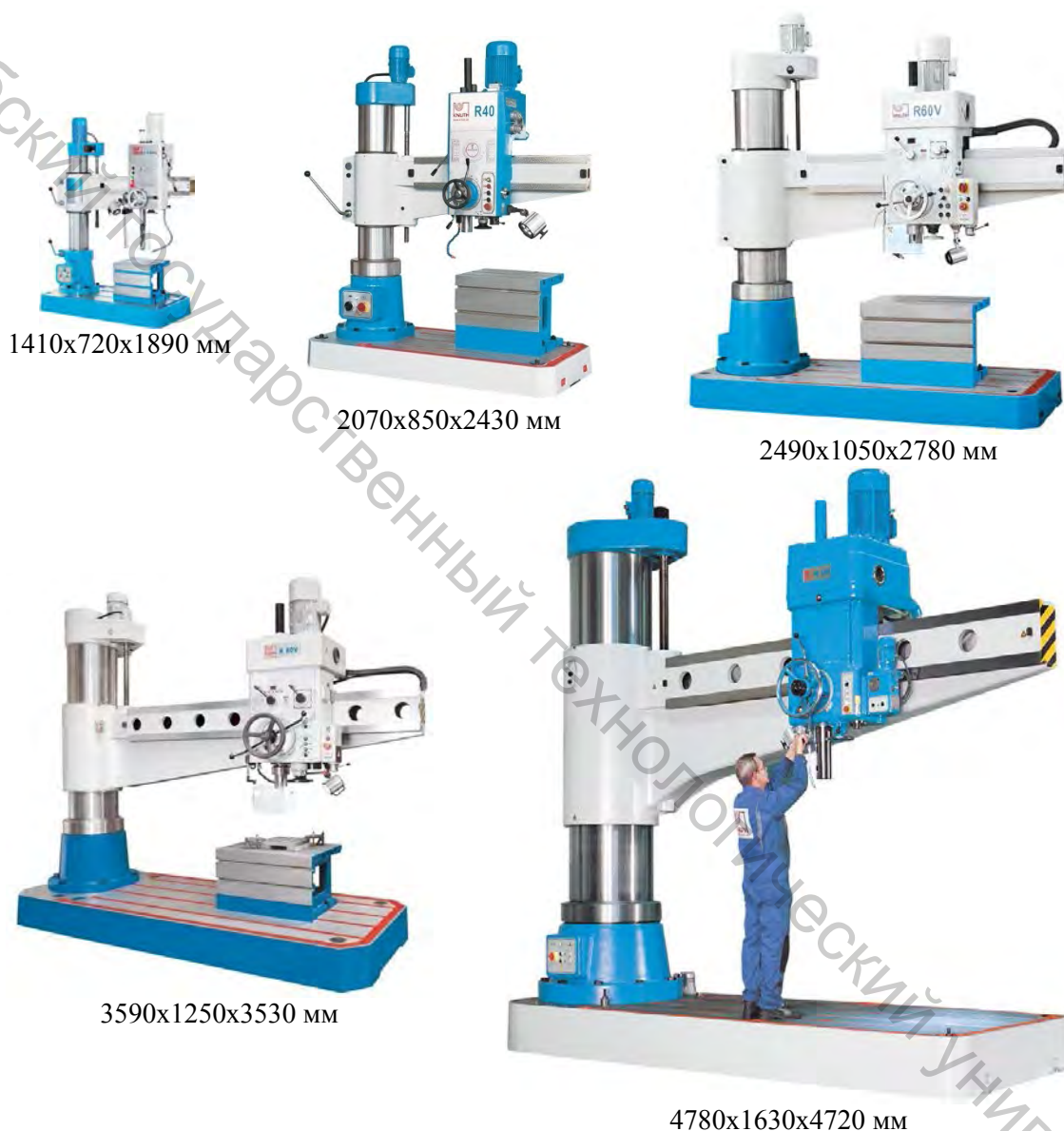


Рисунок 7.2 – Ряд типоразмеров радиально-сверлильных станков фирмы Knuth

Типоразмер – один из представителей (членов) размерного ряда определенного типа станков с конкретными параметрами и размерами.

Модель – конкретное конструктивное исполнение станка определенного типоразмера.

Базовая модель – станок определенного типоразмера, являющийся основой для создания ряда станков данного типа или различных исполнений (модификаций).

Типаж станков – технически и экономически обоснованная совокупность типов и типоразмеров (с указанием моделей) станков, объединенных общностью назначения, с прогрессивными показателями.

Станки, полученные в результате преобразования базовой модели, являются производными. Базовая модель и ее производные должны конструктивно отличаться друг от друга только теми узлами и деталями, которые определяют специфические особенности каждого отдельного станка. При этом надо постоянно учитывать техническую и экономическую целесообразность создания той или иной новой модели. Получить различные производные модели станка можно различными конструктивными способами. Базовая модель и ее производные могут представлять собой станки одного и того же целевого назначения (например, на основе базового токарного станка выпускаются тоже токарные станки, но других размеров, повышенной точности, автоматизированные и т.д.) или различного целевого назначения (например, за базовую модель выбран токарный станок, а ее производные – револьверный и другие станки).

В различных отраслях промышленности широко применяют специальные и специализированные станки. Для сокращения сроков проектирования и изготовления этих станков, снижения их стоимости и обеспечения гарантийной работоспособности их следует создавать на основе станков широкого назначения. Желательно при проектировании нормального ряда универсальных станков предусматривать возможность создания на их базе специальных и специализированных станков.

Существует два метода проектирования размерных рядов станков: проектирование отдельных станков, включенных в состав данного ряда, и проектирование одновременно всех станков ряда. Второй метод более прогрессивный, так как обеспечивает все достоинства проектирования нормального ряда типоразмеров станков.

7.3 Узловая конструкция, агрегатирование и модульный принцип в станкостроении

Сильное влияние на новые конструкции станков оказывает тенденция по возможности сократить сроки проектирования и изготовления их и удешевить производство путем максимального использования в новых моделях стандартных и нормализованных деталей и узлов. Эта тенденция выражается, прежде всего, в переходе к узловым конструкциям станков, образуемым сочетаниями законченных целевых узлов,

часто независимых друг от друга и используемых для выполнения определенных одинаковых функций в совершенно различных иногда по назначению станках. Сюда относятся, например, части гидроприводов, части смазочных систем и систем для питания станка смазочно-охлаждающей жидкостью, редукторы, иногда коробки скоростей, суппорты, инструментальные головки, элементы оснастки. Применение принципов узловой конструкции машин позволяет создавать разнообразные специализированные и специальные станки на общей основе одного базового станка. Благодаря унификации ряда узлов в базовом станке и его преобразованиях (модификациях) освоение новых моделей чрезвычайно облегчается и требует минимального времени [132–138].

Наиболее важное практическое выражение указанная тенденция получила в станках агрегатной конструкции. Агрегатирование – метод создания металлорежущих станков (и любых других машин) в основном из нормализованных и стандартных узлов и деталей. Агрегатирование является дальнейшим развитием метода унификации.

Важнейшими признаками агрегатированного оборудования являются:

- функциональная законченность составных частей;
- конструктивная обратимость, т.е. возможность повторного использования составных частей;
- изменение функциональных свойств агрегатированного изделия при перестановке составных частей.

В последние годы при создании самых разнообразных технологических машин в различных отраслях широко используется понятие *модульного принципа*. Однако часто под этим понятием подразумеваются различные процессы. Отсутствие единого мнения в терминологии модульного принципа не исключает единства целей разработчиков, которые стремятся достигнуть максимального эффекта при проектировании современных машин. В частности, постоянно отмечается, что внедрение модульного принципа создания машин существенно сокращает время и трудоемкость проектирования, поскольку этот принцип позволяет более полно использовать выполненные ранее разработки, а расширение возможностей модульной системы происходит за счет ее наращивания на ранее разработанной базе. Повышается надежность работы машины в целом за счет отработанности входящих в нее модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой технологической задаче. Уменьшение разнообразия конструкций модулей и их составляющих элементов улучшает условия эксплуатации и ремонтпригодности парка машин. Модульное проектирование позволяет создавать новое высокопроизводительное оборудование для выполнения технологического процесса обработки деталей, а не подгонять процесс под возможности уже имеющегося оборудования и т.д.

Очень часто понятие «модуль» отождествляется с понятием «агрегат». Встречаются термины: «агрегатно-модульный», «блочно-модульный» или даже «агрегатирование по блочно-модульному принципу» и т.д. Существуют определения перечисленным выше понятиям. Так, модуль (i modulus – мера) означает унифицированный узел, оформленный как самостоятельное изделие и выполняющий определенную функцию в различных технических устройствах. Агрегат (aggregatus – присоединенный) означает механическое соединение разнородных или однородных частей в укрупненный узел (комплекс машин), выполняющий определенную функцию и обладающий полной взаимозаменяемостью. По определению, принципиальное отличие модуля от агрегата состоит в том, что первый выделяется как функционально законченная единица, в то время как агрегат приобретает функциональные свойства только путем соединения нескольких конструктивных единиц. В машиностроении предложено различать технологические модули, состоящие из минимального комплекта унифицированных узлов и обеспечивающие необходимые операции формообразования. В последние годы понятие «технологический модуль» используется в более широком смысле, как самостоятельная технологическая единица, которая включает в себя собственно станок, загрузочно-разгрузочное устройство, контрольно-измерительные приборы и т.д.

Многие зарубежные станкостроительные фирмы используют модульный принцип при создании большого многообразия компоновок МС с ЧПУ. В этих случаях модульная система состоит из двух взаимосвязанных частей. Основная часть системы относится к материальному обеспечению, включающему определенную номенклатуру несущих, исполнительных, приводных, управляющих и других модулей. Другой важной частью является логическое обеспечение, представляющее совокупность правил, согласно которым производится определение компоновок МС, технических характеристик, а также набора модулей для построения станков с данными характеристиками. Таким образом, модульная система МС с ЧПУ – совокупность унифицированных узлов для построения станков и логического обеспечения, осуществляющего связь между входными (параметрами обрабатываемых деталей и условиями производства) и выходными (параметрами станков) характеристиками системы.

Существенными признаками, по которым классифицируются модульные системы МС, являются характеристики унифицированных узлов (по составу, размерам, точности), т.к. именно этими характеристиками определяются технологические возможности системы. Качественная сторона модульной системы оценивается уровнем – мерой технологической приспособляемости системы к производственным задачам. По этому признаку модульные системы разделены на четыре типа, причем

системы высших уровней обладают всеми возможностями систем низших уровней.

Системы первого уровня позволяют создавать МС с ЧПУ для обработки геометрически подобных деталей разных размеров. В основу построения станков принят блочный подход; в состав каждого блока входит одновременно несколько модулей.

Системы второго уровня более совершенны и позволяют создавать оборудование для комплексной обработки деталей одного класса, различающихся не только габаритом, но и числом обрабатываемых поверхностей и их относительным расположением.

Системы третьего уровня предусматривают создание станков с различной степенью автоматизации: по расположению шпинделя (горизонтального или вертикального), по уровню автоматизации (с устройством АСИ или без него) и по типу системы управления (с ЧПУ или копировальным устройством) и т.д.

Системы четвертого уровня предназначены для формирования станков и комплексно-автоматизированных участков, работающих в различных условиях производства.

Таким образом, можно выделить основные положения, характеризующие модульный принцип построения и изготовления МРС:

- модуль – это конструктивно и функционально законченная единица, являющаяся составной частью общей системы станков;
- модули характеризуются наименьшим возможным числом связей для присоединения к ним новых модулей;
- ограниченная номенклатура модулей должна обеспечивать множество различных компоновок МРС путем многообразия сочетаний и положений модулей;
- модульный принцип проектирования МРС наиболее полно отвечает требованиям решения конкретной технологической задачи – созданные на этом принципе станки не обладают избыточными возможностями и поэтому они более экономичны по сравнению с МРС универсального исполнения;
- сокращается время и трудоемкость проектирования МРС, поскольку модульный принцип позволяет более полно использовать выполненные ранее разработки;
- увеличивается надежность работы МРС за счет отработанности входящих в него модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой задаче;
- уменьшение разнообразия конструкций модулей и составляющих их элементов улучшает условия эксплуатации и ремонтпригодность;
- модульное проектирование позволяет создавать новое высокопроизводительное оборудование для выполнения наилучшим образом

обработки заготовок, а не подгонять процесс под возможности уже имеющегося оборудования;

– модульный принцип дает реальную возможность заменить устаревшие форму и методы проектирования новых конструкций МРС и их систем.

7.4 Агрегатные станки

Агрегатные станки (АС) применяют в крупносерийном и массовом производстве. Все более широко применяются агрегатные станки с ЧПУ, используемые в серийном производстве. На агрегатных станках осуществляют многоинструментную и многопозиционную обработку деталей (рис. 7.3). В начале развития агрегатных станков на них выполнялся только один какой-либо вид обработки (главным образом сверление и резьбонарезание). В настоящее время на агрегатных станках выполняются практически все технологические операции [132–138].

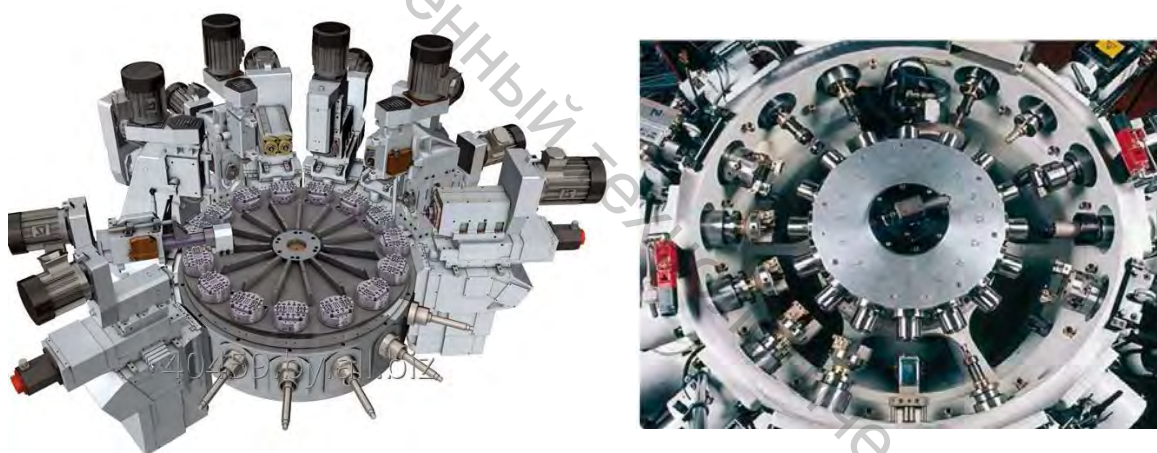


Рисунок 7.3 – Примеры агрегатных станков с делительно-поворотным столом

Агрегатные станки могут быть специальными и специализированными. Если первые могут обрабатывать одну или несколько деталей, но одновременно, то специализированные спроектированы для последовательной обработки нескольких деталей, требующей незначительной переналадки станка. АС обычно выпускаются полуавтоматическими, а в составе автоматических линий – автоматическими.

Как было отмечено ранее, принцип агрегатирования основан на том, что вместо разработки всех узлов при проектировании нового станка используют ранее разработанные узлы, komponуя из них новый станок. Для агрегатных станков предварительно разрабатываются несколько однотипных узлов (агрегатов) разных размеров и мощности

(называются нормализованными или унифицированными), позволяющих спроектировать станок, довольно хорошо соответствующий технологическому процессу обработки детали. Кроме того, стараются эти агрегаты делать самодействующими, снабжая каждый своим двигателем.

Агрегатные специальные станки имеют существенные преимущества перед другими станками:

- возможность создания оборудования по наивыгоднейшему технологическому процессу (когда намечается применение агрегатных станков, сначала разрабатывают процесс обработки детали, а потом для выполнения этого процесса komponуют станки из готовых узлов);
- многоинструментная обработка, которая резко повышает производительность работы;
- возможность выполнения разных операций на одном станке;
- позволяют постоянно совершенствовать само оборудование, так как надо модернизировать не весь станок, а лишь тот узел, который устарел;
- создаются благоприятные условия для узлового ремонта станков;
- повышается надежность работы оборудования, созданного из проверенных нормализованных узлов;
- специальные станки собираются из серийных узлов, что их удешевляет.

Наряду с преимуществами, у агрегатных станков есть и недостатки, которые в последние годы сильно сократили спрос на эти станки даже для массового производства:

- для новой детали, даже незначительно отличающейся от прежней по обрабатываемым поверхностям, надо делать новый специальный станок;
- станки стоят довольно дорого и имеют узкую область применения – массовое производство.

Для устранения этих противоречий надо, чтобы специальное станочное оборудование соответствовало трем главным условиям:

- позволяло делать переналадку для обработки разных деталей при достаточно высокой производительности (это самое главное, потому что стоимость основных средств составляет значительную долю в себестоимости продукции);
- имело короткие сроки проектирования и изготовления;
- имело невысокую стоимость и быструю окупаемость.

В целом агрегатные станки в определенных условиях производства этим условиям отвечают.

Унифицированными или нормализованными узлами агрегатных станков называются узлы, конструкции которых разрабатываются до того, как будет проектироваться конкретный станок. Эти узлы могут применяться в станках разных конструкций. К ним относятся (рис. 7.4)

станина 7, поворотный делительный стол 6, на котором устанавливаются приспособления и обрабатываемые детали, силовые бабки 3. Для установки на станке силовых головок служат боковые станины 5, стойки 4, проставочные плиты. При многошпиндельной обработке отверстий или при фрезеровании плоскостей к силовым головкам крепят сверлильные и фрезерные насадки. Управление станком сосредоточено на пульте, а вся электроаппаратура размещается в шкафу. Из нормализованных сборочных единиц конструируют специальные узлы, komponуя их так, как того требует конструкция обрабатываемой детали. Типаж унифицированных узлов включает несколько сотен наименований более 2500 исполнений и типоразмеров и составляет 75...80 % узлов станка.

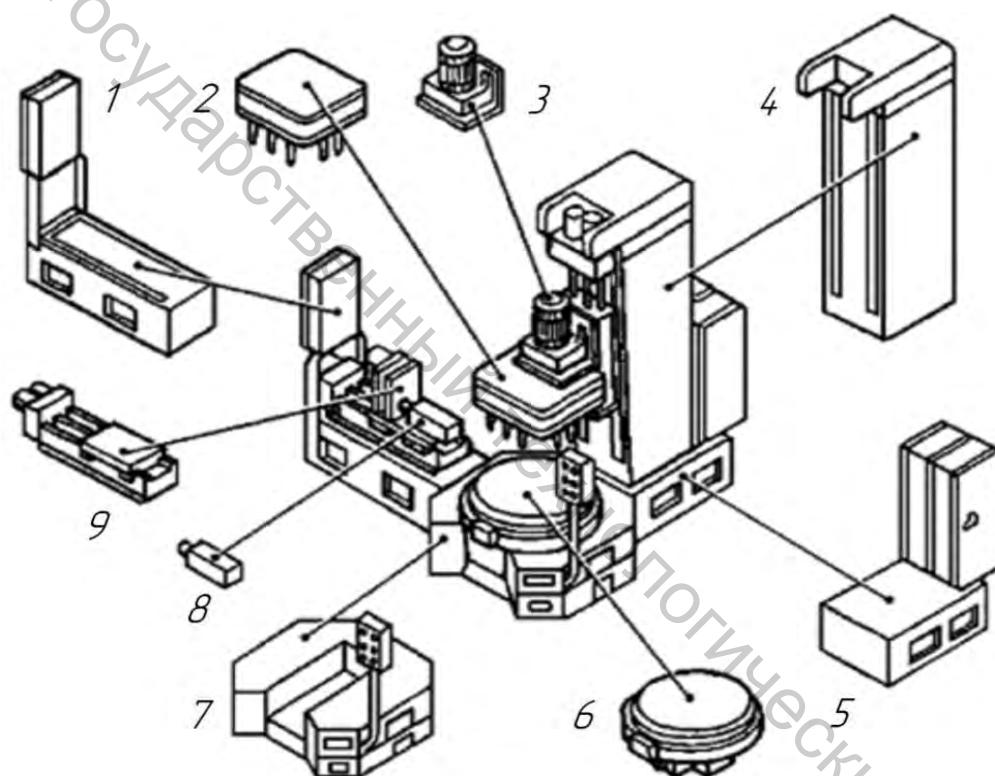


Рисунок 7.4 – Составные элементы агрегатного станка:

- 1 – станина боковая; 2 – многошпиндельная коробка; 3 – силовая бабка;
 4 – стойка; 5 – станина-подставка; 6 – стол поворотный делительный;
 7 – станина центральная; 8 – одношпиндельная расточная бабка;
 9 – силовой стол

В конструкциях агрегатных станков можно выделить следующие основные компоновки:

1. На станках нет устройства для периодического транспортирования обрабатываемых деталей, т.е. детали остаются неподвижными в течение всего цикла обработки (рис. 7.5 а). Установив заготовку, можно обрабатывать на разных ее сторонах поверхности, точно связанные друг

с другом, например отверстия в корпусе редуктора или в чашке дифференциала, цапфы крестовины карданного вала. Благодаря тому, что приспособление неподвижно, можно достичь довольно высокой точности обработки.

2. Агрегатные станки имеют поворотный делительный стол (рис. 7.5 б). Обычно на нем помещается многопозиционное приспособление. Последовательная обработка детали производится несколькими инструментами. Возможна конструкция со столом, вращающимся вокруг центральной колонны. Иногда в центре поворотного стола устанавливается одна крупногабаритная заготовка.

3. Станки имеют барабан с горизонтальной осью вращения, на гранях которого находятся приспособления для закрепления обрабатываемых деталей (рис. 7.5 в). На барабанных станках детали обычно обрабатываются с двух или с трех сторон – это могут быть валы, трубы, корпусные детали. Небольшие подвесные головки позволяют распространить обработку на большее число сторон.

4. Станки имеют многопозиционный стол с линейным перемещением и предназначены для обработки деталей с большим количеством повторяющихся элементов или крупногабаритных (рис. 7.5 г).

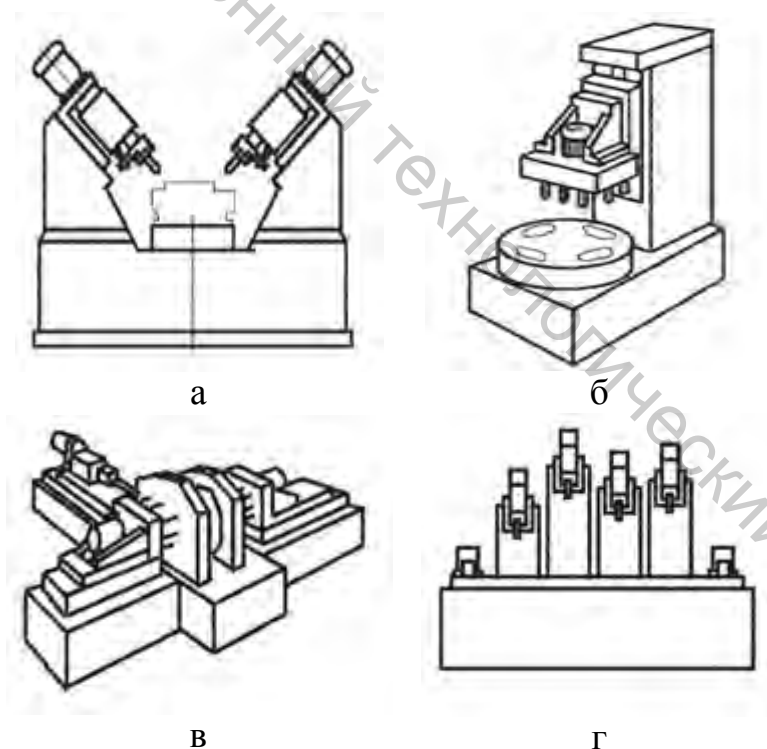


Рисунок 7.5 – Компоновки агрегатных станков

Для загрузки и съема заготовок служат одна или две (на противоположных сторонах станка) позиции.

В агрегатных станках количество силовых узлов и инструментальных шпинделей, расположение осей шпинделей зависят от реализуемого на станке технологического процесса. Различают станки одноаг-

регатные и многоагрегатные, одношпиндельные и многошпиндельные, горизонтальные, вертикальные, наклонные и комбинированные, односторонние и многосторонние.

На однопозиционных станках обработка полностью заканчивается при постоянном положении детали. На многопозиционных станках с поворотными делительными столами обработка деталей выполняется параллельно или последовательно на нескольких позициях в разных положениях относительно инструментов.

Агрегатные станки можно оснастить загрузочными приспособлениями, и они станут автоматами. АС работают как самостоятельно, так и в составе автоматических линий.

Силовые головки агрегатных станков – это основные нормализованные узлы, определяющие их технологические возможности (рис. 7.6). Силовые головки предназначены для сообщения инструменту главного движения, рабочей подачи и установочных перемещений при сверлении, зенкеровании, развертывании и растачивании деталей из различных материалов. В большинстве случаев осуществляются циклы движений, включающие быстрый подвод инструмента, рабочую подачу (одну или две в зависимости от технологического процесса), выдержку на жестком упоре (при необходимости), быстрый отвод и остановку в конце хода. Программа движений может быть разной и осуществляется автоматически от кулачка, установленного внутри корпуса головки.

Основными параметрами силовых головок, которые характеризуют их технологические возможности и служат основанием для выбора конструкции силовых узлов, являются мощность привода главного движения, наибольшая сила подачи, частота вращения приводного вала шпинделя головки, пределы подач, скорость быстрых перемещений, длина рабочего хода, точность переключения механизма подачи, габаритные размеры.



Рисунок 7.6 – Малогабаритные силовые головки

Существует несколько основных признаков классификации силовых головок:

- по виду привода подачи – электромеханические (кулачковые и винтовые), гидравлические и пневмогидравлические;

– по способу выполнения движения подачи – с выдвижной пинолью и с подвижным корпусом;

– по развиваемой мощности подачи – самодействующие (привод подачи встроен в корпус) и несамодействующие (часть механизмов – насос, панель управления – вынесена за пределы головки).

Для выполнения операций, требующих больших затрат мощности: фрезерования, растачивания, подрезки больших торцов, – от силовых головок требуется повышенная жесткость. Описанные ранее силовые головки не отвечают этому требованию. Для повышения жесткости механизм главного движения отделили от механизма подачи и получили два узла – *силовой стол* и *силовая бабка* (рис. 7.7). Базовым в нем является силовой стол 4, установленный в направляющих салазках 5. Привод стола осуществляется с помощью двух электродвигателей, редуктора 1 и пары винт – гайка. В зависимости от назначения станка на силовом столе устанавливают сверлильные, фрезерные, обточные, подрезные, алмазно-расточные и другие силовые бабки 2. Можно установить зажимное приспособление с обрабатываемой заготовкой. Бабка имеет отдельный привод главного движения, заканчивающийся приводным валом 3, который вращает шпиндель шпиндельной коробки. Коробка устанавливается на плоскость А силового стола и закрепляется к плоскости Б силовой бабки. Цикл работы агрегата обеспечивают упоры 6 и конечные переключатели.

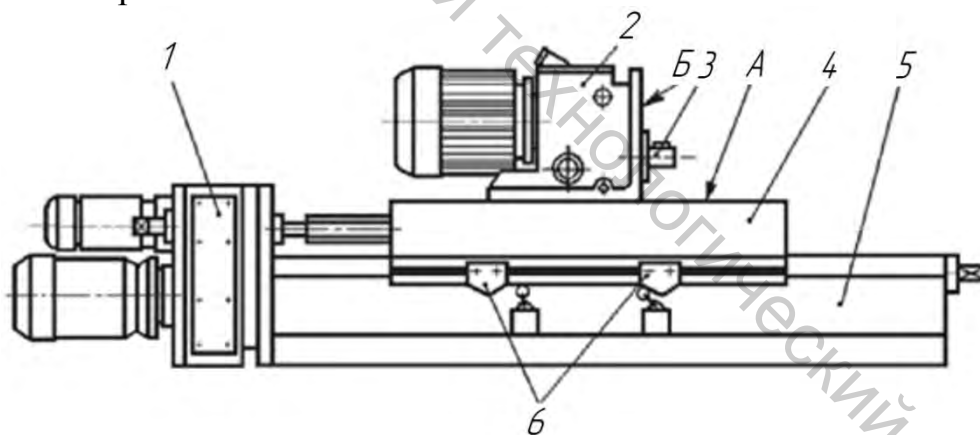


Рисунок 7.7 – Силовой стол с установленной на нем силовой бабкой

На силовых столах наряду с винтовыми парами скольжения используются винтовые пары качения, отличающиеся высокой долговечностью и обеспечивающие за счет плавности перемещения стола высокую стойкость режущего инструмента. Силовые столы могут работать в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях. При вертикальном или наклонном варианте установки стола его движущая часть уравнивается грузом-противовесом, который размещается внутри стойки и подвешивается на втулочно-роликовых цепях или стальных канатах.

Силовые столы используются в качестве механизмов подачи агрегатных станков при обработке средних и крупных деталей. Основной рабочий цикл силовых столов, как и силовых головок: ускоренный подвод – рабочая подача (одна или две) – выдержка на жестком упоре – быстрый отвод.

При использовании стола с гидроцилиндром обеспечиваются бесступенчатое регулирование подачи и достаточная точность переключения с быстрого хода на рабочую подачу (выбег до 0,5 мм).

Кроме электромеханического привода подачи, агрегатные станки комплектуются силовыми столами с гидравлическим приводом. Такой стол перемещается по направляющей плите с помощью гидроцилиндра и может использоваться в качестве механизма подачи при обработке средних и крупных деталей. Силовой стол с гидроприводом иначе называется подкатным столом.

Фрезерные бабки агрегатных станков предназначены для чернового и чистового фрезерования одним шпинделем. Устанавливаются на крестовые и силовые столы, которые сообщают им движение подачи. Бабки могут быть беспинольными, когда положение фрезы относительно бабки не меняется и настройка фрезы на размер возможна только при установке бабки на крестовый стол. У пинольных бабок перемещение пиноли может быть как ручным, так и автоматическим, с отскоком пиноли. На силовых столах бабки устанавливаются на салазках.

Расточные бабки (рис. 7.8) имеют модификации, предназначенные для выполнения черновых и получистовых операций: растачивания, подрезки торцов, зенкерования, – и для чистовых операций, которые выполняют растачивание и подрезку торцов и обеспечивают получение отверстий по 7-му качеству. Расточные бабки могут иметь механизм автоматической подналадки режущего инструмента. Устанавливаются на силовые столы, которые сообщают им движение подачи, или стационарно, когда движение подачи сообщается обрабатываемой детали.

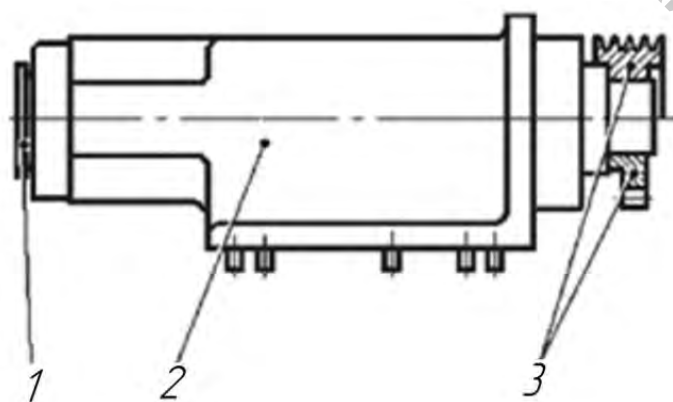


Рисунок 7.8 – Расточная бабка:

1 – шпиндель; 2 – корпус; 3 – приводной шкив или зубчатое колесо

Подрезно-расточные бабки одновременно выполняют растачивание отверстия и подрезку торцов (протачивание канавок). Эти бабки устанавливаются на силовые или подкатные столы.

Кроме устройств для прямолинейного перемещения, в агрегатных станках очень часто применяются *поворотные делительные столы*, предназначенные для закрепления на них приспособлений с заготовками и периодического поворота на определенный угол. Эти столы перемещают обрабатываемые детали из одной рабочей позиции в другую и, что очень важно, точно фиксируют заготовку относительно режущих инструментов. Столы поворачиваются в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Делительные столы чаще всего выполняют дискообразными или кольцевыми с поворотом в горизонтальной плоскости, а также под названием «барабан» – для поворота в вертикальной плоскости. В последнем случае приспособления с деталями располагаются на периферии барабана и деталь можно одновременно обрабатывать с двух сторон.

Электромеханический поворотный делительный стол состоит из собственно стола (планшайбы), основания и редуктора. Нижней плоскостью стол установлен на привалочную плоскость станины. В качестве механизма поворота используются разные устройства. Это может быть мальтийский механизм или какой-то другой привод. Но обязательным условием является наличие узлов поворота, ориентации в нужном положении и устройства фиксации.

Станины и стойки агрегатных станков относятся к *базовым узлам* (рис. 7.9). На станину 2 устанавливают поворотный делительный стол. К боковым ее граням присоединяются боковые станины 5. У передней грани организуется загрузочная позиция, а одна из боковых (например, срезанная как фаска) используется для уборки стружки. На стойке 4, установленной на подставке 3 в вертикальном положении, помещают силовой стол. В стойке имеется противовес, служащий для уравнивания подвижных узлов: стола, шпиндельной коробки с упорным угольником 1 и инструментальной наладкой, а также кондукторной плиты. На боковых станинах 5 устанавливаются силовые столы, силовые головки или вертикальные стойки. Сверху на боковой станине есть два платика для базирования этих узлов. Боковая станина крепится к средней станине с помощью фланца. Станины и стойки изготавливают литыми из чугуна или сварными из стального листового проката.

Специальными узлами агрегатных станков являются:

- инструментальные наладки;
- шпиндельные коробки;
- приспособления для закрепления деталей.

Конструкция этих узлов определяется конструкцией обрабатываемой детали и осуществляемым технологическим процессом.

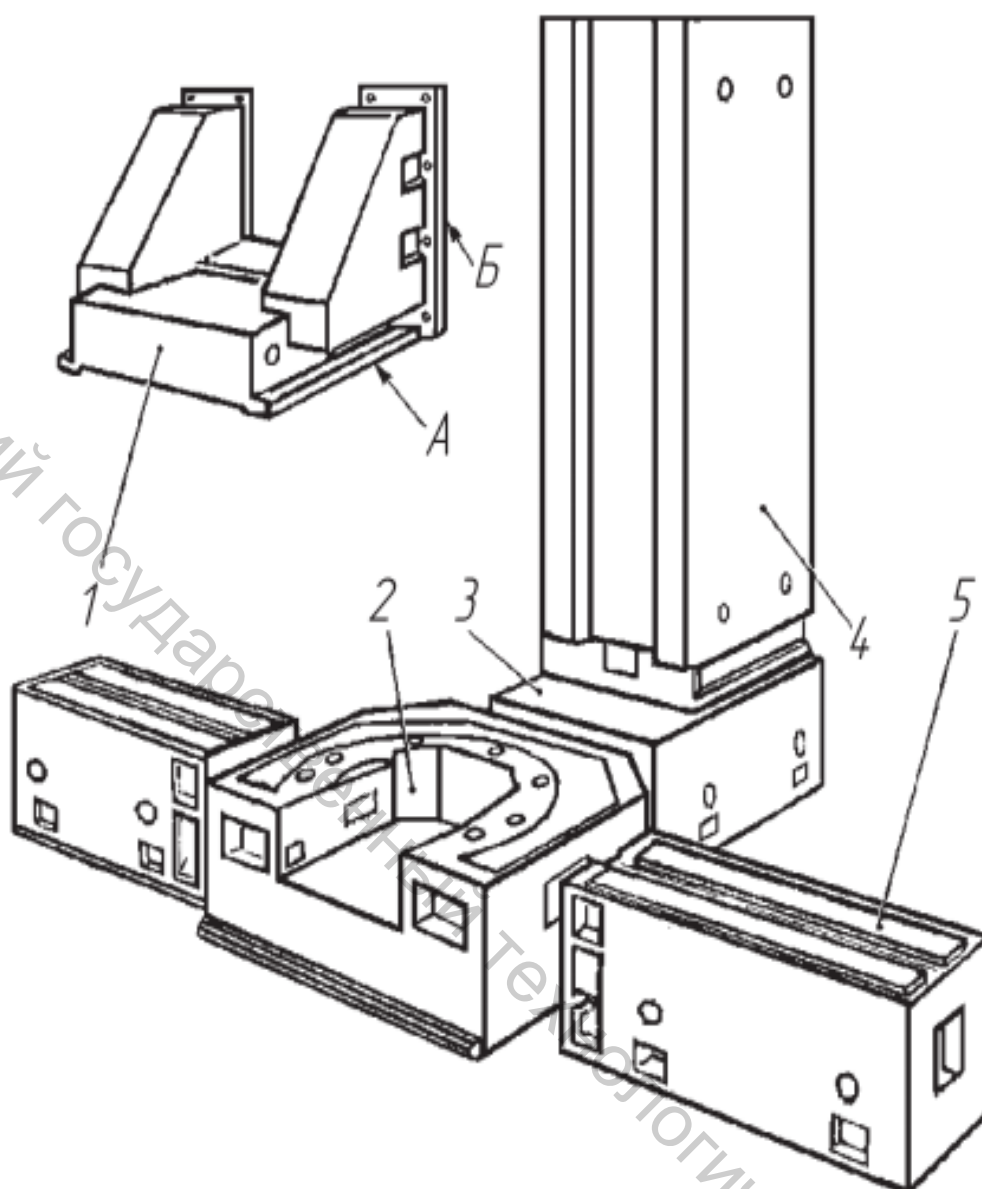


Рисунок 7.9 – Базовые детали агрегатного станка

Инструментальная наладка конкретного агрегатного станка включает в себя комплект удлинителей, в которых устанавливается режущий инструмент, копиров, с помощью которых нарезаются резьбы, сам режущий инструмент (как универсальный, так и специальный), другую оснастку и определяет вид, количество и место их установки в рабочих позициях. Инструментальная наладка позволяет настраивать станок на выполнение конкретной работы.

Шпиндельные коробки и насадки предназначены для размещения рабочих шпинделей и зубчатых колес, передающих вращение шпинделям от приводного вала силовой головки (рис. 7.10).

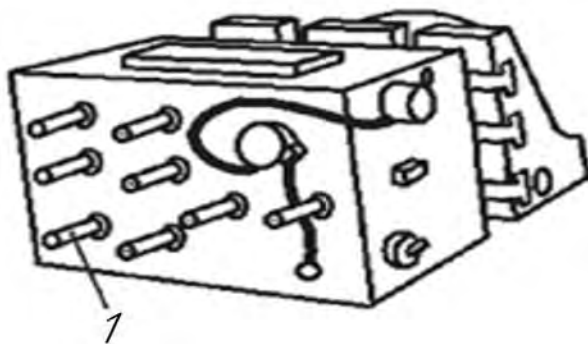


Рисунок 7.10 – Общий вид шпиндельной коробки, присоединенной к угольнику

В агрегатных станках, несмотря на их большое сходство, невозможно целиком унифицировать конструкцию шпиндельных коробок, так как бесчисленны варианты количества шпинделей, их типов и расположения, межцентровых расстояний между ними. Поэтому унифицированы не конструкция, а комплекты литья, шпиндели с опорами, промежуточные валы с опорами, зубчатые колеса, подшипники качения, распорные втулки, узлы смазки и все другие детали, в том числе корпуса, подготовленные под расточку. Оригинальными являются чертеж расположения отверстий на корпусе коробки и сборочный чертеж.

Приспособления для закрепления деталей на агрегатных станках должны обеспечить точное базирование, надежное закрепление, компактность конструкции, встраиваемой в ограниченное пространство поворотного стола. При этом надо обеспечить надежный отвод стружки, удобство и максимальную автоматизацию загрузки-разгрузки и закрепления-открепления заготовки, автоматизацию вспомогательных операций, фиксации и расфиксации, проверку точности установки. По конструкции зажимные приспособления бывают одно- и многоступенчатыми. Приводы бывают ручные, механизированные и автоматизированные. Ручные приводы применяют в основном во вспомогательных, фиксирующих и режущих зажимных механизмах. В механизированных и автоматизированных приводах зажима используют пневмо- и гидроцилиндры, электро-механические и гидромеханические ключи.

Одним из основных недостатков агрегатных станков является их низкая гибкость, вернее, ее отсутствие. Поэтому в последние десятилетия созданы станки с устройствами для смены шпиндельных коробок. Револьверные головки на агрегатных станках – это тоже попытка сделать их более гибкими и применить в серийном производстве.

Переналадка агрегатных станков решается наиболее просто, когда обрабатываемые поверхности деталей и расстояния между ними одинаковы, а конструкция деталей различается только числом таких поверхностей. Тогда переналадка станка сводится к неиспользованию части инструментов, установленных на силовых головках. Если при одинако-

вых межосевых расстояниях поверхности имеют разные размеры, то часть инструментов требуют замены. При этом может потребоваться изменение режимов резания, длины рабочего хода и общей длины хода инструмента. Зажимные приспособления в этих случаях проектируют так, чтобы в них могли закрепляться две-три однотипные детали при смене зажимных элементов.

Сейчас с помощью оснащения агрегатных станков системами ЧПУ станкостроители пытаются увеличить их гибкость. Разработано большое количество конструкций силовых головок, управление которыми осуществляется не от кулачков, а с помощью ЧПУ. Одна из таких головок показана на рисунке 7.11.

Современные рабочие узлы специальных станков позволяют перемещать инструменты не по одной, а по двум и даже трем осям (такие станки производит компания *RIKO*, Словения). Системами ЧПУ оснащаются не только силовые головки, но и силовые и поворотные делительные столы. Агрегатные станки оснащаются предварительно напряженными роликовыми направляющими качения, покрытие направляющих делается пластиковым. Для контроля точности рабочих движений в агрегатных станках, как и во всех станках с ЧПУ, используются измерительные системы фирмы *Heidenhain*. В результате обеспечивается допуск на точность позиционирования 0,015 мм. Наличие системы ЧПУ позволяет устанавливать на станки магазины инструментов с автооператором. Для автоматизации загрузки заготовок агрегатных станков могут оборудоваться манипулятором или роботом.

Все это существенно расширяет технологические возможности агрегатных станков и позволяет обрабатывать не одну деталь, а более широкий круг. Применение ЧПУ в агрегатных станках позволяет задавать необходимые координаты перемещения обрабатываемой детали или инструмента, обеспечивать автоматическое переключение величины подачи и частоты вращения шпинделя и выполнять другие операции.

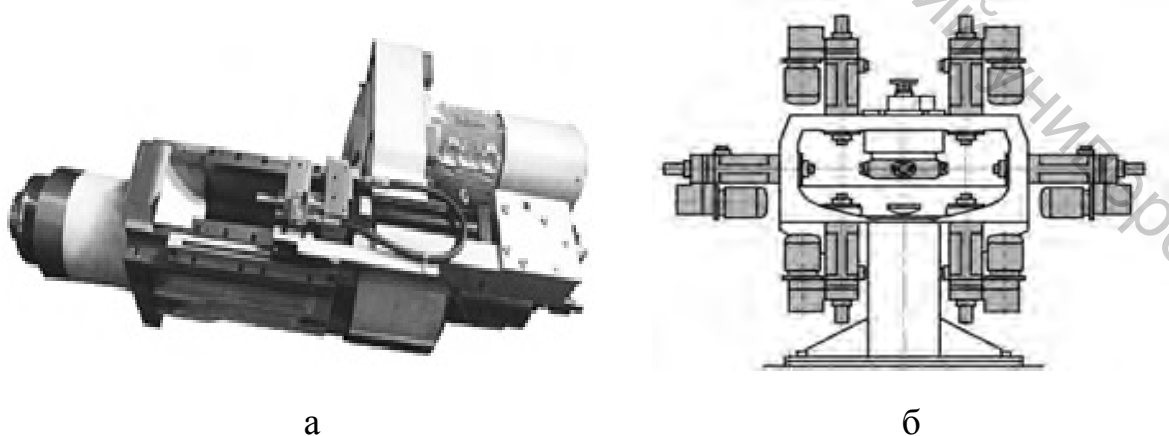


Рисунок 7.11 – Агрегатный станок с ЧПУ фирмы Witzig и Frank GmbH:
а – силовая головка, б – схема

7.5 Вопросы для самоконтроля

1. Какие преимущества дает стандартизация, нормализация и унификация при проектировании и производстве станков?
2. Дайте определение понятиям: стандартизация и унификация.
3. Дайте определение понятиям: параметрический ряд, типоразмер, модель станка.
4. Какие Вам известны методы проектирования размерных рядов станков?
5. Перечислите признаки агрегатированного оборудования.
6. В чем заключается суть модульного принципа построения станков.
7. На какие типы делятся модульные системы в зависимости от меры технологической приспособляемости к производственным задачам?
8. Перечислите основные положения, характеризующие модульный принцип построения и изготовления станков.
9. Какими преимуществами и недостатками обладают агрегатные станки?
10. Какие Вам известны унифицированные (нормализованные) узлы агрегатных станков?
11. Назовите основные компоновки агрегатных станков.
12. Изобразите схемы основных компоновок агрегатных станков.
13. Для чего применяются силовые головки агрегатных станков?
14. Опишите область использования фрезерных и расточных силовых бабкок агрегатных станков?
15. Перечислите и опишите область назначения специальных узлов агрегатных станков.
16. Назовите технические решения для расширения технологических возможностей агрегатных станков.

8 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЧПУ ДЛЯ СТАНКОВ

8.1 Отличительные возможности современных систем ЧПУ

Общая картина рынка современных систем числового программного управления выглядит следующим образом [139–146]. Флагманские модели мировых производителей систем ЧПУ имеют двухкомпьютерную архитектуру, осуществляют управление от 16 осей на разных каналах управления, реализуют интерполяцию с нанометрической точностью и высокоскоростную обработку. Цена этих систем у европейских производителей составляет от 15 000€ при минимальной базовой конфигурации и может превышать 60 000€ в зависимости от комплектации. В РФ системы такого класса не производятся в силу их сложности, хотя потребность в них постоянно растет. Системы ЧПУ класса Hi-End попадают под технологии двойного назначения и их распространение на открытом рынке если не запрещено совсем, то, по крайней мере, жестко ограничено.

В настоящее время разработка программного обеспечения составляет более 80 % от всего процесса создания системы ЧПУ. Руководствуясь целью сохранить вложенные инвестиции, производители систем ЧПУ предпочитают развивать ранее созданные системы путем расширения их функциональности и (или) изменения ядра системы управления. Этим, собственно, объясняется тот факт, что в последнее время на рынке не появляются революционно новые технические решения, а системы управления планомерно эволюционируют.

Анализ современных систем ЧПУ позволяет выделить следующие стратегические направления и технологии, где ведется очень активная разработка [139–146]:

- **открытость** – предоставление станкостроителю и конечному пользователю возможности реализовывать собственные технологии и встраивать прикладное программное обеспечение в систему ЧПУ. Это дает возможность использовать системы ЧПУ не только для металлорежущих станков, но и в других областях, например, для камер вакуумной сварки тугоплавких материалов;

- **многоканальность** – возможность параллельно выполнять несколько управляющих программ на одной системе ЧПУ. Чаще всего эта функциональность используется для многошпиндельной обработки или для совместного управления станком и погрузчиком;

- **высокоскоростная обработка** – для системы ЧПУ это означает короткий такт интерполяции и высокие скорости обработки кадра управляющей программы;

– **наноинтерполяция** – интерполяция с дискретностью вычислений, исчисляемой в нанометрах. Практически все современные системы ЧПУ обладают этой функциональностью, но FANUC в качестве маркетингового хода использует ее как зарезервированную марку;

– **Look-ahead** – алгоритм предварительного просмотра кадров (предосмотра), позволяющий обрабатывать контур с максимально возможной подачей и заблаговременно снижать скорость в критических ситуациях для избегания коллизий. В простейших системах управления, без поддержки технологии Look-Ahead, размер буфера равен одному-двум кадрам (элементам траектории – чаще всего, это линейные отрезки либо круговые дуги), то есть система управления «видит» только начало и конец текущего элемента, и возможно один следующий элемент траектории, а все последующие элементы она не «видит». И поэтому, чтобы избежать динамического удара, при переходе к отработке каждого элемента (который может резко изменить направление движения), система автоматически снижает скорость до минимальной, и станок проходит точку перехода на следующий элемент траектории на минимальной скорости. Снижение скорости производится независимо от характера траектории (гладкая, либо с резкими изгибами). Системы профессионального уровня имеют размер буфера более чем на один кадр (500 и более кадров). Что позволяет производить обработку изделий с более высоким качеством и на более высокой скорости. Такие системы называются – системы ЧПУ с технологией Look-Ahead. Размер буфера имеет решающее значение при обработке сложных изделий. Например, нередки случаи, когда в сложном макете средняя длина одного элемента менее 0.1 мм;

– **сплайновая интерполяция** – реализация алгоритмов кубического сплайна, Акима-сплайна, NURBS-сплайна, полиномов и других интерполяций в комбинации с алгоритмом предосмотра кадров (look-ahead).

Сплайном (spline) называли гибкую металлическую линейку – универсальное лекало, которое использовали чертежники для того, чтобы гладко соединить отдельные точки на чертеже, т.е. для графического исполнения интерполяции. Более того, кривая, описывающая деформацию гибкой линейки, зафиксированной в отдельных точках, является сплайном. Другими словами, сплайн используется для определения функции профиля между точками данных.

Сплайны обладают исключительно хорошими аппроксимативными свойствами, универсальностью и обеспечивают простоту реализации вычислительных алгоритмов, полученных на их основе. При этом алгоритмы построения сплайнов совпадают с алгоритмом метода конечных элементов, который является основным промышленным методом прочностного анализа в САПР. И, несмотря на то, что в настоящее время традиционной прикладной сферой использования интерполяционных

сплайнов стали САПР, потенциальные возможности сплайнов значительно шире, чем просто описание некоторых кривых. В реальном мире большое количество физических процессов по самой своей природе являются сплайнами. То есть сплайн – не выдуманная математическая абстракция, а во многих случаях он является решением дифференциальных уравнений, описывающих вполне реальные физические процессы (например, в механике это деформация гибкой пластины или стержня, зафиксированной в отдельных точках; в термодинамике это теплообмен в стержне, составленном из фрагментов с различной теплопередачей; в химии – диффузия через слои различных веществ; в электричестве – распространение электромагнитных полей через разнородные среды и т.д.).

Метод интерполяции *сплайнами Акима* создает местную посадку. Этот метод требует наличия информации о точках в области интервала интерполяции для определения кубических полиномиальных коэффициентов. Соответственно, каждая точка данных в сплайне Акима влияет только на соседнюю область кривой. Так как используются локальные методы, интерполяция Акима рассчитывается очень быстро.

Метод Акима дает хорошие результаты для значения аппроксимированной функции. Этот метод также возвращает точные оценки первой производной аппроксимированной функции, когда точки данных равномерно распределены. В случаях, когда точки данных распределены неравномерно, оценка первой производной может быть ошибочна. Вторая производная аппроксимированной функции при использовании данного метода недостоверна.

Метод *интерполяции кубического сплайна* создает глобальную посадку. Глобальные методы используют все существующие точки для расчета коэффициентов для всех интервалов интерполяции одновременно. Соответственно, каждая точка данных влияет на весь кубический сплайн. При перемещении одной точки весь сплайн соответственно изменяется, что делает его более неровным, и тем сложнее заставить его принять желаемую форму. Это особенно очевидно для функций с линейными частями или с резкими изменениями в кривой. В таких случаях кубический сплайн почти всегда более неровный, чем сплайн Акима.

Метод интерполяции кубического сплайна работает не так быстро, как интерполяция сплайна Акима, но дает хорошие результаты для значений аппроксимированной функции, а также ее первой и второй производных. Точки данных не должны быть равномерно расположены. Процесс решения часто требует оценки производных определяемых функций. Чем более гладкая производная, тем проще достичь сходимости решения.

Метод *линейной интерполяции* создает местную посадку путем определения кусочно-непрерывной линейной функции между смежными точками данных.

Метод линейной интерполяции дает более быстрое схождение, чем два других метода. Результирующая функция представляет собой кусочно-непрерывную линейную функцию, имеющую разрывную производную в заданных точках данных. Вторая производная равняется нулю, за исключением заданных точек данных, где она равна бесконечности.

В последнее время в вычислительной практике широкое распространение получили *B-сплайны* (от англ. bell – колокол) – сплайны с локальным носителем. Эти сплайны сосредоточены на конечном носителе. Они используются как для интерполяции функций, так и в качестве базисных функций при построении методов типа конечных элементов.

Линия, составленная из B-сплайнов, не будет проходить точно через заданные точки. Подобную кривую составляют из дуг полиномов третьей степени, так как такой полином обеспечивает необходимую непрерывность. Построение линии происходит с помощью итерационной процедуры.

Неоднородный рациональный Bezier-сплайн, *NURBS* (англ. Non-uniform rational Beziarspline) – математическая форма, применяемая в компьютерной графике для генерации и представления кривых и поверхностей; является частным случаем B-сплайнов, причем широко распространенным из-за своей стандартизованности и относительной простоты. NURBS-кривые обладают одной особенностью: они всегда имеют гладкую форму.

– **компрессия кадров** – сглаживание контура обработки в управляющих программах путем конвертирования линейных кадров в NURBS-контуры в процессе отработки управляющих программ;

– **удаленное управление** – предполагает построение удаленных терминалов и реализацию функций удаленной диагностики и настройки системы ЧПУ;

– **сетевые функции** – позволяют интегрировать систему ЧПУ в процессе управления производством и оборудованием. Ведется учет произведенной продукции, контролируется время простоя, отслеживаются плановые ремонты и техобслуживание оборудования;

– **моделирование процесса обработки** – 3D-моделирование процесса резания для предварительного просмотра результатов выполнения управляющих программ, выявления коллизий и сокращения времени обработки;

– **диагностические функции** – логический анализатор (Logic Analyzer) входных/выходных сигналов для тестирования электроавтоматики, осциллограф для настройки приводов подач, анализатор частотных диаграмм, тест окружности (Circle Test) и др.;

– **язык программирования высокого уровня** и инструментарий разработки и отладки управляющих программ на языке высокого уровня. Эту функциональность применяют при разработке стандартных циклов и групповых технологий;

– **приложения цехового программирования** – CAD/CAM системы цехового уровня, позволяющие создавать управляющие программы на самой системе ЧПУ, в то время как идет обработка другой детали. Они, как правило, ориентированы на 2,5D обработку;

– **применение технологии искусственного интеллекта** для адаптивного управления и прогнозирования износа инструмента.

Нельзя забывать также об устоявшейся тенденции к унификации оборудования путем реализации все большего числа стандартов и протоколов связи для интеграции в единые системы, как OPC, TCP/IP, SOAP и др. При этом фирмы стремятся выставить на рынок комплексные технологические решения «под ключ», а не разрозненные компоненты.

8.2 Зарубежные разработки систем ЧПУ

Фирма FANUC представила серию своих систем ЧПУ (управляющих 10 каналами, 32 осями и 8 шпинделями (рис. 8.1). Максимальное количество интерполируемых осей – 24. Интерес представляют заложенные функции искусственного интеллекта:

– система управления с функциями искусственного интеллекта; сочетание новейшей технологии в области систем цифрового управления сервоприводом шпинделя HRV и функции виртуального предварительного прогона цикла обработки позволяет снизить ошибку запаздывания сервопривода и обеспечивает максимально точное управление траекторией режущего инструмента;

– Modeler Control II («Умная» система контурного и наноконтурного управления); управление разгоном и торможением происходит посредством предварительного считывания 40 блоков данных в режиме контурного управления и 180 блоков в режиме наноконтурного управления, что обеспечивает высокоскоростную прецизионную обработку;

– система компенсации ударных и вибрационных возмущений; автоматическое управление подачей при обработке углов с целью компенсации ударных возмущений;

– «умная» прецизионная система контурного и наноконтурного управления; при управлении разгоном и торможением с использованием RISC-карты предварительно считывается до 600 блоков программных данных; этим обеспечивается высокоскоростная прецизионная обработка за счет высокостабильной скорости подачи даже для программ

обработки, состоящих из сверхмелких линейных сегментов; для получения деталей с высокой степенью чистоты обработки, при которой финишная обработка практически не требуется, программу контурной обработки можно дополнить функцией наноинтерполяции;



Рисунок 8.1 – FANUC Series 30i/31i/32i Model α

- «умная» система компенсации температурной деформации по оси Z; поправка на температурную деформацию шпинделя и оси Z осуществляется посредством контроля этого параметра и оценки величины изменения по оси Z (уровень точности поправки зависит от конкретных рабочих условий);

- система автоматического учета износа инструментов (контроля состояния инструментов) с использованием элементов искусственного интеллекта; система регулирования жизненного цикла инструментов следит за длительностью и частотой эксплуатации и автоматически заменяет их в случае превышения эксплуатационных параметров; встроенная система учета износа инструментов определяет фактическую нагрузку на сверло через нагрузку сервопривода шпинделя, что позволяет оптимизировать срок службы инструментов.

Система ЧПУ *FANUC* имеет широчайший ассортимент прикладных функций и определяет вектор развития для многих производителей.

Фирма Siemens представила новые модификации своей флагманской системы SINUMERIK 840D/DI sl (Solution Line), в которой добавленные функциональности (рис. 8.2):

- утилита пуско-наладки для начального этапа работы;
- Motion Control Information System – для оптимальной интеграции станков в систему электронной обработки данных – предназначена для координации планирования, размещения, исполнения, сокращения подготовительно-заключительного времени, сокращения простоев, упрощения анализа неполадок;
- сплайн-интерполяция, компрессия кадров;
- расширение открытой архитектуры;
- ShopMill, ShopTurn – системы поддержки цехового программирования;
- симуляция процесса обработки на станке.

В системах ЧПУ 840D/Di sl количество управляемых осей достигает 64. Архитектура системы и политика открытости породили на рынке множество независимых поставщиков прикладных приложений для систем ЧПУ Siemens, продукция которых систематизируется в каталогах.



Рисунок 8.2 – SINUMERIK 840D/Di sl

Фирма Heidenhain поставляет только экспортный вариант систем ЧПУ с ограниченным набором функциональных возможностей (рис. 8.3). Системы ЧПУ имеют ориентацию на поддержку технологического процесса своим мощным набором станочных циклов, что делает ее осо-

бенно привлекательной для квалифицированных операторов и технологов-программистов.

Представленная Hi-End модель ЧПУ серии iTNC-530, ориентированная на обработку поверхностей свободной формы, позволяет управлять 13 осями при времени обработки кадра до 0,5 мс. Предоставляется опция использования системы ЧПУ с двумя процессорами и операционной системой WindowsXP. Система обладает следующими возможностями:

- *Expanded look-ahead* – функция предсмотра с буфером до 1024 кадров – своевременно распознает изменения в направлении движения инструмента для последующей коррекции разгона и торможения;

- *AFC (Advanced Feed Control)* – адаптивное управление подачей – регулирует контурную скорость перемещения по траектории в зависимости от используемого процента мощности шпинделя;

- *DriveDiag, TNCopt* – утилиты для диагностики составных элементов приводов и инициализации цифровых контуров регулирования;

- *PLCdecignNT, PhytonOEM* – инструментарий разработки и функция высокоуровневого объектно-ориентированного языка управляющих программ электроавтоматики;

- *CicleDecign* – инструментарий разработки станочных циклов;

- *TeleService* – инструментарий для удаленной диагностики, контроля и управления системой ЧПУ;

- *TNCremoPlus* – утилита передачи данных между ЧПУ и ПК, реализующая в том числе и режим LiveScreen – передачу содержимого экрана;

- *RemoToolSDK* – комплект средств разработки, содержащий COM-компоненты и ActiveX управляющие элементы для доступа к ядру системы ЧПУ Heidenhain;

- *VirtualTNC* – компонент управления виртуальными станками, используемыми для моделирования работы станков;

- инструментарий измерения и анализа сигналов, в который входят: 6-канальный осциллограф, логический анализатор, тест окружности;

- *DCM (Dynamic Collision Monitoring)* – 3D-функция мониторинга столкновения и выявления коллизий при отработке управляющей программы на станке.

Германская фирма **Bosch Rexroth** представила свою систему MTX advanced, которая имеет 64 оси и 12 каналов управления и до 8 интерполируемых осей в канале (рис. 8.4). Система создана на базе систем ЧПУ Typ3 osa (Bosch) и MTC (Indramat), имеет двухкомпьютерную архитектуру и современный пользовательский интерфейс. MTC использует SERCOSIII интерфейс для управления приводами и электроавтоматикой.



Рисунок 8.3 – iTNC-530 Heidenhain

Следует отметить продвинутый стиль экрана и информативность пользовательского интерфейса, что обусловлено использованием технологии NET и новейших разработок последних лет, в отличие от остальных европейских систем, сформировавшихся в 90-х годах.

Система оснащена следующими функциональными возможностями:

- *NC-Analyzer* – инструмент разработки и отладки управляющих программ на языке высокого уровня CPL (Custom Program Language);
- *Logic Analyzer* и *Drive Oscilloscope* – инструмент для диагностики входов/выходов автоматики и цифровых приводов;
- *Cycle time analyzer* – интеллигентный инструмент анализа временных циклов в системе управления, осуществляет запись потока команд ЧПУ, события с ПЛС, сигналов с приводов и сигналов с периферии станка; результаты представляются в графическую временную диаграмму;
- *IndraWorks view 3D* – трехмерная визуализация процесса обработки управляющей программы и выявления коллизий;
- *IndraWorks machine simulator* – симулирует периферию станка, подключенную по шине PROFIBUS;
- *Nanometer resolution* – вычисления и интерполяция с нанометрической точностью;

- *CPL (Custom Programming Language)* – Паскаль – образный язык программирования высокого уровня;
- *Remote diagnostics I-Remote* – инструментарий для удаленного доступа, диагностики и поддержки систем управления;
- *SCP (Scaleble Communication Platform)* – масштабируемая коммуникационная платформа, осуществляющая доступ к открытой архитектуре системы.



Рисунок 8.4 – MTX Advanced Bosh Rexroth

Фирма FAGOR Automation представила свои модели, работающие с приводами через SERCOS или CAN интерфейс (рис. 8.5). Система реализует интерполяцию с нанометрической точностью, применяется, в том числе и для высокоскоростной обработки. FAGOR CNC 8070 – Hi-End модель системы ЧПУ для токарных и фрезерных станков, а также система универсального применения – обладает открытой архитектурой, совместимой с персональным компьютером и интерфейсом оператора на базе WindowsXP. Обеспечивает управление до 28 интерполируемых осей, до 4 шпинделей, до 4 инструментальных магазинов и до 4 каналов выполнения. Позволяет объединять несколько систем ЧПУ 8070 в сложные комплексы на базе Ethernet. Обеспечивает работу с нанометрической точностью, высокую скорость обработки кадра и ко-

манд PLC; применение постинтерполяционных фильтров позволяет получать поверхности любой геометрии, чистоты поверхности и точности.



Рисунок 8.5 –FAGOR CNC 8070

Она обладает следующими функциональными возможностями:

- теледиагностика – функция удаленной диагностики, выполняется с помощью прикладных приложений для профилактического обслуживания оборудования;
- открытость – позволяет полностью настраивать и адаптировать пользовательский интерфейс под технологический процесс;
- сплайн-интерполятор, в том числе Акима (Spline, ASPLINE);
- язык программирования высокого уровня;
- специальные алгоритмы для высокоскоростной обработки – оптимизируют обработку для получения максимальной скорости, обеспечивают гладкий контур и наилучшую чистоту обработки;
- *Solid graphics simulation* – система трехмерной симуляции управляющей программы;
- *Execution time estimation* – оценка времени обработки для оптимизации;
- *Full customizable interface* – функциональность, позволяющая настраивать пользовательский интерфейс под конкретные технологические задачи;
- *Cycle Editor* – редактор стандартных циклов;

– инструментарий настройки и запуска в эксплуатацию: функции осциллоскопа, body-программы, тест окружности, логический анализатор.

Mitsubishi Electric – разработал двухкомпьютерную модель Mitsubishi M750, создана на базе компьютера с RISC-процессором (для задач реального времени) и интерфейсного компьютера с операционной системой Windows XP, связанных по Ethernet (рис. 8.6). Система ЧПУ Mitsubishi M750 поддерживает технологию наноуправления и обеспечивает высокоскоростную обработку. В зависимости от конкретной модификации она реализует до 4 каналов управления и использует до 16 управляемых осей, восемь из которых одновременно интерполируемые. Сервоприводы управляются по высокоскоростной оптической сети. Система обеспечивает обработку до 151000 кадров в минуту при чистовых технологических операциях. Платформа iQ Platform, основанная на гигабитном Ethernet, позволяет объединять в единую систему управления отдельные контроллеры, выступая в качестве интегрирующей внутренней шины.

Система реализует функции:

– *Complete Nano Control* – дискретность выполняемых интерполяционных расчетов составляет 1 нм;

– *SSS-control (Super Smooth Surface)* – управление качеством и обеспечение постоянства обработки, независимо от геометрии формы и скорости резания. Применяются алгоритмы: оптимизации разгона и торможения, компенсации люфта и неравномерности ходового винта, сплайновой интерполяции (кубический сплайн и NURBS), автоматическое распознавание углов;

– *OMR-control (Optimum Machine Response)* – на основе модели функция осуществляет: коррекцию ошибок, связанных с деформацией координаты; синхронизацию движения сервопривода и шпинделя за счет учета сетевой задержки команд; минимизацию влияния вибраций;

– *5 Axis Machining Control* – функция предотвращения столкновений в процессе обработки – учитывает модель станка, относительное положение детали и траекторию движения инструмента. В случае выявления опасности столкновения привод останавливается, а в трехмерной модели подсвечивается место коллизии;

– *Machining time calculation* – расчет времени цикла без запуска станка;

– *MS Configurator* – программный продукт для настройки приводов ЧПУ, позволяющий настраивать сервоприводы в автоматическом режиме; он строит body-диаграмму, делает настройку петли замыкания по скорости и ускорению, настройку фильтра резонансных частот, строит тест окружности и осциллограмму сигналов сервоприводов;

- *A/C Configurator* – инструмент для настройки машинных параметров системы ЧПУ, параметров инструментов и глобальных переменных;
- *NC-Designer* – пакет для создания экранов пользовательского интерфейса;
- *NC-Monitor* – удаленный терминал на PC, позволяющий управлять системой ЧПУ через Ethernet;
- *NC-Explorer* – для соединения системы ЧПУ через Ethernet и передачи технологических программ;
- *Factory Automation Solution* – решение для интеграции в сети и в сетях цехового уровня, а также в MES (Manufacturing Execution System – Система планирования производства) и ERP (Enterprise Resource Planning System (система планирования ресурсов предприятия) системах);
- *NAVI MILL, NAVI LATHE* – инструмент для создания фрезерных и токарных управляющих программ на программной PC-станции;
- *GX Developer* – инструмент для создания и отладки PLC-программ, позволяющий работать как с реальной системой, так и с эмулятором.



Рисунок 8.6 – Mitsubishi M750

8.3 Российские производители систем ЧПУ

Продукция российских производителей систем ЧПУ заметно отстает от мирового уровня, хотя стремление догнать явно выражено, и здесь важным является вопрос правильности выбора архитектурной концепции. Неформальным лидером считается «*Балт-Систем*», но в регионах он уступает своим конкурентам «*Модмаш-Софт*», «*Микрос*»

и «ИжПРЭСТ», поскольку такая высокотехнологичная продукция, как системы ЧПУ, требует своевременной технической поддержки, что предполагает наличие хорошо разветвленной сети по всей стране.

В последние годы появилось несколько новых отечественных систем ЧПУ и новых модификаций существующих систем, которые следует отметить. Система ЧПУ NC-310 компании «Балт-Систем» имеет распределенную архитектуру, что позволяет разнести по высокоскоростной шине Serial Speed Bus аналоговые и цифровые входы/выходы в соответствии со спецификой объекта управления (рис. 8.7). ООО «Модмаш-Софт» расширил модельный ряд систем ЧПУ FMS-3000 и представил программное обеспечение системы ЧПУ на базе 32-разрядной операционной системы Windows CE. Системы FlexNC («Станкоцентр») и IntNC (НТЦ «ИНЕЛСИ») имеют схожий интерфейс оператора и построены на базе контроллера движения (motion control) и персонального компьютера. При многокоординатной комплектации применяют контроллер движения DeltaTau; в случае, если речь идет об управлении до 4 осей, система ЧПУ может быть укомплектована контроллером движения на базе ARM процессора.

Следует отметить, что система ЧПУ «СервоКон» (производитель «Сервотехника») построена по принципу ЧПУ-принтера (рис. 8.8). Оригинальность идеи заключается в организации работы оператора: управляющая программа отправляется на станок подобно тому, как документ отправляется на печать. Система позиционируется как дешевое надежное решение, имеющее в качестве дисплея 4-строчный индикатор.



Рисунок 8.7 – ЧПУ CNC-310 Балт-Систем



Рисунок 8.8 – ЧПУ «Сервокон»

Представляет интерес полный набор сплайновой интерполяции (кубический, Akima и NURBS-сплайны), реализуемый системой ЧПУ WinPCNC, (МГТУ «Станкин»), продемонстрированной на учебном стенде. Но отсутствие многоканальности ограничивает возможности ее применения.

8.4 Вопросы для самоконтроля

1. Какова общая картина рынка современных систем числового программного управления?
2. Перечислите стратегические направления и технологии разработки систем ЧПУ.
3. Опишите возможности технологии Look-ahead при создании систем ЧПУ.
4. Опишите возможности технологии сплайновой интерполяции при создании систем ЧПУ.
5. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы FANUC.
6. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы Bosch Rexroth.
7. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы Heidenhain.
8. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы Siemens.
9. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы FAGOR Automation.
10. Дайте характеристику систем ЧПУ фирмы Mitsubishi Electric.
11. Дайте характеристику систем ЧПУ российских производителей.

9 ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ЭРГОНОМИКИ И ДИЗАЙНА СТАНКОВ

9.1 Тектоника

Конструктор, проектируя изделия, создает условия для эстетического наслаждения, как производителям этих изделий, так и их потребителям. Необходимость создания красивых и удобных в эксплуатации изделий обусловлена еще и потребностью в повышении конкурентоспособности изделий на внешнем рынке. Постоянных правил о внешних формах изделий не существует и не может существовать, поскольку формы непрерывно меняются и совершенствуются. Однако есть определенные закономерности, которые надо учитывать, решая эстетическую сторону изделия. Эти вопросы квалифицированно могут быть решены специалистами-художниками. Таким образом, появилась новая профессия – художник-конструктор (дизайнер). Это специалист, имеющий художественное образование, обладающий вкусом и техническими знаниями [147–151].

Иногда роль художника в процессе проектирования понимают неправильно – считают, что эта работа начинается после того, как закончено конструирование, и ему только остается художественно оформить готовое изделие. Это серьезная ошибка. Ведь красота изделия не должна создаваться какими-то дополнительными элементами и украшениями. Она таится в органическом построении, в логичности и целесообразности, в гармонической пропорциональности и согласованности отдельных частей и изделия в целом. При этом говорят, что изделие должно быть тектоничным.

Тектоникой называют зримое отражение в форме изделия работы его конструкции и организации материала. Понятие «тектоника» неразрывно связывает две важнейшие характеристики промышленного изделия – его конструктивную основу и форму во всех ее сложных проявлениях (пропорциях, метрических повторях, характере и т.д.). Под конструктивной основой при этом понимают работу несущей части конструкции, характер распределения главных усилий, соотношение масс, организацию конструкционных материалов и т.п. Форма должна четко отражать все эти особенности конструктивной основы. Понятие «тектоника» прочно утвердилось в художественном конструировании, хотя вообще в технике к нему обращаются значительно реже, чем в архитектуре. А между тем в технике тектоника имеет отнюдь не меньшее значение. Здесь ее проявления необычайно многообразны, как многообразны конструкции, материалы, характер усилий и связей между конструкцией и формой.

Тектоничности можно достигнуть только тогда, когда проектирование ведется в определенном порядке и в условиях тесного контакта конструктора, технолога и художника, начиная с рассмотрения технического задания и кончая выполнением рабочего проекта. Только при совместной работе конструкторов, технологов, экономистов и художников можно создать совершенное изделие, отвечающее современным требованиям техники, экономики и эстетики.

Есть одно важное условие для достижения подлинной тектоничности едва ли не всякого инженерного объекта: конструкционные материалы должны быть использованы оптимально с точки зрения работы системы. Если потенциальные конструктивные возможности данного материала не используются или, хуже того, его заставляют работать не естественным для него образом, то нарушений тектоники не избежать, а красота машины, станка, прибора останется несбыточной мечтой. В связи с гигантским диапазоном форм проявления тектоники в технике всякий раз необходимо находить композиционные приемы, отвечающие сущности конструкции, характеру материалов, выражению работы сил. У конструктора всегда есть возможность выразить все это через форму конструкции изделия. Тектонические закономерности проявляются всегда конкретно. Они выступают в определенных видах взаимосвязи конструкции, материала и формы, в характере членений и пропорций, в особенностях пластической обработки частей и элементов.

9.2 Объемно-пространственные структуры

Тектоника дает представление о характере работы конструкции и материала, определенным образом выраженных в конкретной форме. Второй не менее важной категорией композиции является объемно-пространственная структура изделия. Любая форма так или иначе взаимодействует с пространством, то просто и ясно, то сложно или даже очень сложно. Значит, как бы ни была построена форма, можно с полным правом говорить о двух основных компонентах ее структуры – объеме и пространстве. Конечно, само понятие «объемно-пространственная структура» только условно применимо ко всякой форме. Гладко обкатанный морем камень – это форма, но пространственно, строго говоря, не структура; пчелиные соты – наиболее характерный пример закономерно построенной объемно-пространственной структуры, а в прозрачной сетке, сотканной пауком, материала уже так мало, что об объемно-пространственной структуре опять-таки можно говорить лишь условно. По признаку объемно-пространственного строения промышленные изделия можно условно подразделить на три большие группы:

- относительно просто организованные моноблочные структуры со скрытым механизмом, размещенным в корпусе;
- с открытыми техническими структурами действующих механизмов или несущих конструкций;
- объемно-пространственные структуры, сочетающие в себе элементы первой и второй групп.

Занятый сложными вопросами воплощения разрабатываемой им конструкции в материале, проектант большей частью просто не думает о «нематериальном» компоненте – пространстве. Психологически это вполне можно понять, однако для создания эстетически полноценного промышленного изделия совершенно необходимо иметь в виду характер взаимодействия пространства с объемом. Ведь независимо от своего желания конструктор организует не только материально осязаемую субстанцию, но и пространство, входящее с нею в контакт. Успех работы над композицией в дизайне в значительной мере зависит от того, понимает ли проектант роль пространства как равноправного с объемом элемента композиции и умеет ли организовать его. Необходимо выработать в себе это особое видение формы, когда пространство начинает читаться как компонент формы.

Шар, куб, пирамида или цилиндр наиболее просто взаимодействуют с пространством. Простота объема позволяет отчетливо представить невидимые его части, т.е. форму в целом. Но главное, что позволяет это сделать, – не столько простота объема, сколько закономерность, лежащая в основе строения формы, – принцип ее развития.

Анализ показывает, что легкость восприятия любого конструируемого объекта во многом зависит именно от того, насколько закономерно развивается его композиция независимо от ее простоты или сложности. Если, обращаясь к форме изделия, мы можем как бы довообразить, условно достроить все то, чего не видим, то это один из важных признаков хорошо организованной объемно-пространственной структуры. Ведь гармоничная форма, сколь бы сложна она ни была, является не случайным сочетанием объемов, но, как правило, развивается по определенному принципу.

Если мы имеем дело с формой, воспринимая которую, не можем понять принцип ее строения, уловить закономерности ее развития в пространстве, – это первый сигнал об отсутствии гармонии. Но когда в основу формы положено закономерное начало, то воздействие ее резко отличается от впечатления, производимого формой хаотичной, неорганизованной. Чем сложнее объемно-пространственная структура промышленного изделия, тем большее значение для достижения гармонии приобретает последовательное развитие принципа, положенного в основу ее строения.

Важнейшей из закономерностей хорошо организованной объемно-пространственной структуры является органичность связей между отдельными элементами или частями структуры.

9.3 Целостность формы, соподчиненность элементов, композиционное равновесие

Целостность формы – понятие, родившееся в сфере искусства, для которого естественен образный, метафорический язык. В художественном конструировании, лежащем как бы на стыке искусства и техники, целостность формы промышленного изделия отражает логику и органичность связи конструктивного решения с его композиционным воплощением. Анализ лучших станков и приборов показывает, сколь важно объединить множество конструктивных элементов не только технически (с помощью болтов, сварки и т.п.), но и композиционно, представив сложную структуру машины как гармоничную целостность. Целостность связана с другим важнейшим свойством композиции – соподчиненностью, как следствие, с причиной: первая является результатом умелого, основанного на соблюдении закономерностей соподчинения элементов [147–151].

Любая композиция может рассматриваться как определенная система, основанная на соподчинении элементов главных, менее значимых и второстепенных.

На рисунке 9.1 показаны различные проявления целостности технических форм (а, в – внедрение тела в тело, сочетание только цилиндрических объемов, а также цилиндрических объемов и параллелепипедов; б, д – тоже внедрение тела в тело, но взаимодействуют только параллелепипеды; г, ж – охват тела телом; е – сквозное прохождение одного тела через другое).

Главная особенность здесь – это органичность соединения элементов формы, соподчиненность, без которой не существует и целостности. Реальные технические объекты нередко лишены этого важнейшего качества композиции: объемы состыкованы чисто механически, и, отсоединяя ту или иную часть, трудно уловить, каким же было исходное целое. А попробуйте вынуть хоть один из элементов на моделях, стронуть его с места – соподчиненность исчезнет, целостность нарушится.

Попробуем проанализировать на условных моделях, что же происходит с композицией из нескольких элементов системы при изменении отношений между ними и в результате пространственных усложнений в самой системе (рис. 9.2 а–г). Модель а состоит из трех основных наиболее активных элементов 1, 2, 3 и двух композиционно второстепенных 4 и 5, объединяющих основные и служащих для них подиумом

и фоном. Размерные отношения основных элементов и их расположение на модели а представляются случайными. Не совсем ясно здесь взаимодействие элемента 2 с элементами 1 и 3: к какому из них композиционно тяготеет элемент 2? Кажется, что он великоват для данного места. Великоват именно по данной композиции, из-за чего пространство, ограниченное элементами 1, 3 и 4, слишком обособленно, зажато и не служит активным компонентом этой композиции.

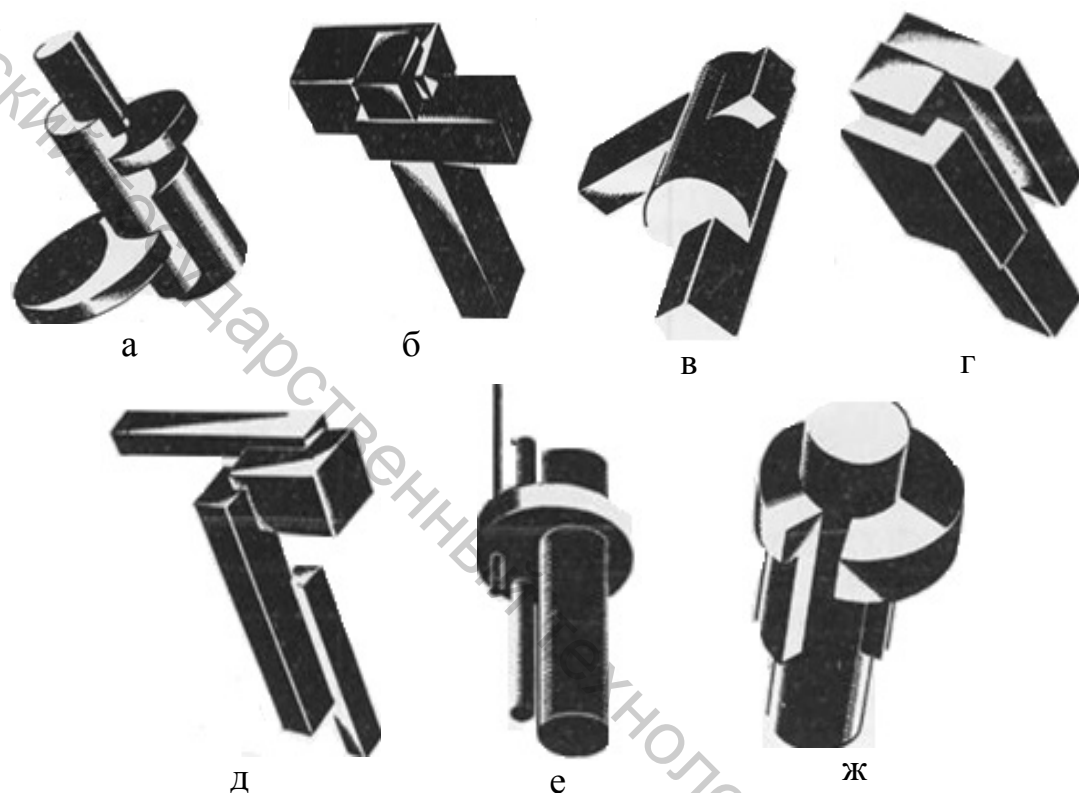


Рисунок 9.1 – Проявления целостности технических форм

Вариант, несмотря на небольшие изменения, во многом предпочтительнее с точки зрения целостности формы. Элемент 2 уменьшился и стал гораздо более соподчинен элементу 1. При этом выросла роль пространства позади, теперь оно свободнее раскрыто вовне и, как говорят архитекторы, «дышит».

В варианте в значительно усложнена форма элемента 3. Это сразу ослабило композиционную роль элемента 2: в подобной сложной трактовке формы основное внимание привлекает к себе элемент 3, тем более что усложнилась здесь и форма подиума (элемент 5). В модели в роль элемента 2 стала противоречивой. По месту в композиции он как будто претендует на главную роль, но даже если, конкурируя с элементом 3, усложнить форму элемента 2, модель в не произведет того впечатления целостности, наличие которой трудно оспаривать у модели б. Как же быть, если по каким-либо соображениям элемент 3 все же должен получить усложненную форму? Как вернуть в этой ситуации целостность?

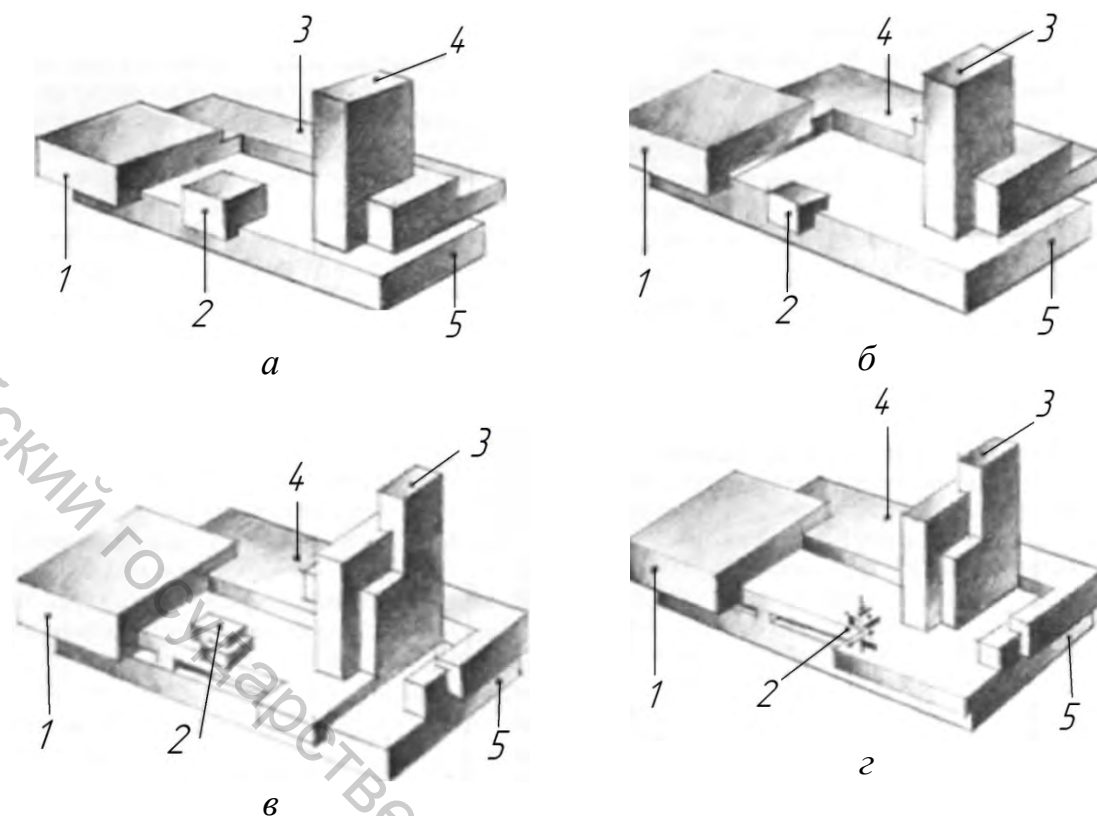


Рисунок 9.2 – Композиции из нескольких элементов системы:
а – элемент 2 не является центром композиции, б – роль элемента 2 активнее, хотя его объём меньше, в – роль объёма 2 производит двойственное впечатление, г – элемент 2 активнее и контрастен ко всей структуре

Нужно попытаться сделать главенствующей композиционную роль элемента 2. Однако это очень не просто. Потребуется весьма тонкие преобразования. Если воспользоваться шахматной терминологией, то можно сказать, что речь идет о сложнейшем эндшпиле. И это действительно так. Переместим элемент 2 ближе к элементу 3, как бы к самому его подножию (см. рис. 9.2 г). Преобразуем и подиум (элемент 5), создав выступ, который фиксировал бы положение элемента 2 и тем самым придавал ему большую значимость: он как бы вынесен вперед, ведет за собой элемент 3, берет над ним своего рода композиционное шефство. И все же для того, чтобы он стал главным элементом композиции в модели г, главным по отношению ко всем остальным, он должен стать остро контрастным к ним, так как иначе малое не сможет подчинить себе большое. Именно таким сложным, ажурным, необычным и стал элемент 2 на модели г, отобрав пальму композиционного первенства у элемента 3, подчинив его себе и усилив звучание всей композиции.

В работе над композицией сложного в объемно-пространственном отношении станка или машины проектировщику приходится так или

иначе иметь дело с конкретной системой элементов и связей и, таким образом, искать оптимальную их соподчиненность, оптимальный характер связей. Организация формы становится тем более сложной задачей, чем сложнее пространственные связи между основными формообразующими элементами и чем сложнее форма самих элементов.

Особенностью восприятия формы в технике является ее воздействие на человека в процессе утилитарного потребления изделия, работы. Акт восприятия выступает главным образом как сопутствующий действию процесс, как органическая часть самого действия. Станок может казаться гармоничным и весьма привлекательным, но если форма ущербна с позиций удобства эксплуатации станка, она непременно будет критически переосмыслена в процессе работы.

Итак, главным, своего рода синтезирующим качеством композиции является гармоничная целостность формы, которая возникает лишь в результате особого соподчинения всех частей целого. Но гармоничное соподчинение элементов формы не есть непосредственное следствие (механический результат) конструктивных связей даже при достаточно логичном решении конструкции. В основе такого соподчинения всегда лежит закономерность или ряд закономерностей композиции, отступление от которых, как правило, приводит к частичной или полной дезорганизации формы.

При отсутствии соподчиненности важнейших элементов полученное целое не радует. В некоторых моделях металлорежущих станков, например, этот недостаток проявляется чаще всего в том, что по линиям примыканий крупные формообразующие части как бы отслаиваются одна от другой, поскольку отсутствует их органическая взаимосвязь, спаянность, когда ни один элемент композиции нельзя не стронуть, не изменить, чтобы не нарушить целостности. Это не значит, что, скажем, станину следует конструировать обязательно как моноблок, но зрительно она не должна разваливаться, словно непрочное сооружение из деревянных кубиков. Порой кажется, что отсутствие связей, о которых идет речь, у ряда новых станков закономерно и оправдано, поскольку вызвано новыми приемами конструирования, в частности, унификацией и агрегатированием. Действительно, достижение высокой композиционной целостности при образовании рядов машин на основе унификации пока не всегда удается. Для каких-то вариантов ряда сочетание элементов приводит к нарушениям композиционной основы машины. Правильно ли, однако, развивать прогрессивные приемы конструирования в ущерб важнейшим свойствам композиции? Вероятно, нет. Необходимо искать приемлемые компромиссы.

Соподчинение элементов сложного в пространственном отношении станка, где так важно взаимопроникновение и непосредственная связь, во многом отличается от соподчинения элементов лицевой панели прибора, где все связывает и соподчиняет прежде всего фон – сама

панель. Если свести фон на нет, исчезнет и важное связующее начало композиции. Тесно, почти впритык расположенные окошки шкал, тумблеры, ручки и прочая разнородная масса деталей перестанут восприниматься как композиционное целое. Не менее важно и то, как выполнены обрамления шкал. Если тяжеловесные и грубые обрамления забирают свободную часть фона, невозможно говорить о соподчинении частей, ибо ни одна деталь не считается ни с фоном, ни со своими «соседями». Для достижения соподчиненности элементов динамичной формы особенно велика роль координации главных формообразующих линий, их характера, сопряжений, переходов в местах примыкания различных частей и т.п.

Зависимость целостности формы от координации основных формообразующих линий наглядно проявляется у некоторых металлорежущих станков, в первую очередь у тех, форма которых непосредственно выражает усилия работающей конструкции. В этом отношении показательны, например, фрезерные станки, так как режущий инструмент у них подан к обрабатываемой детали консолью, связанной с колонной, а стол и его опорная часть, в свою очередь, далеко вынесены вперед. Здесь закономерности координации контурных линий, отражающие переходы от одной важнейшей части станка к другой, во многом определяют целостность его формы, а в конечном счете эстетический уровень решения.

Разумеется, нарушение подобных закономерностей непосредственно может и не сказываться на работе станка, но его эстетические качества резко снижаются. Особенно важны все места переходов основных контурных линий лекальных формообразующих.

На рисунке 9.3 а горизонтально-фрезерный станок. Обычная, традиционная форма. Кажется, в ней нет погрешностей. Однако, присмотревшись внимательно, можно заметить нарушение закономерности в построении важной формообразующей линии по контуру тыльной части I (рис. 9.3 а, поз. III). На участке *A-E* активного наклона нет – ведь снаружи здесь не наклонная плоскость, а вертикаль, но зато видимый участок *A-B* имеет очень активный наклон, и глаз в подобных ситуациях прочитывает мнимое продолжение линии *A-B*, т.е. отмечает ее движение дальше, за вертикаль, по наклонной *E-З*. Но будет ли иметь какое-либо значение точка *З*, если она лежит за пределами станка? Будет – это проверено опытом: подобные визуальные нарушения всегда неприятны, особенно в силуэте II (рис. 9.3 а), и наш глаз отмечает что-то неладное в строении формы. Конечно, компоновка станка не всегда позволяет идеально согласовать между собой все формообразующие линии, и все же у проектировщика обычно есть возможность откорректировать сопряжения и переходы (см. силуэты 2, 3, 4 на рисунке 9.3 а, поз. III). Эти формообразующие достаточно разные, но главное, что активный наклон

тыльной стороны во всех трех случаях здесь находит визуальную опору в точке *Е* основания станка.

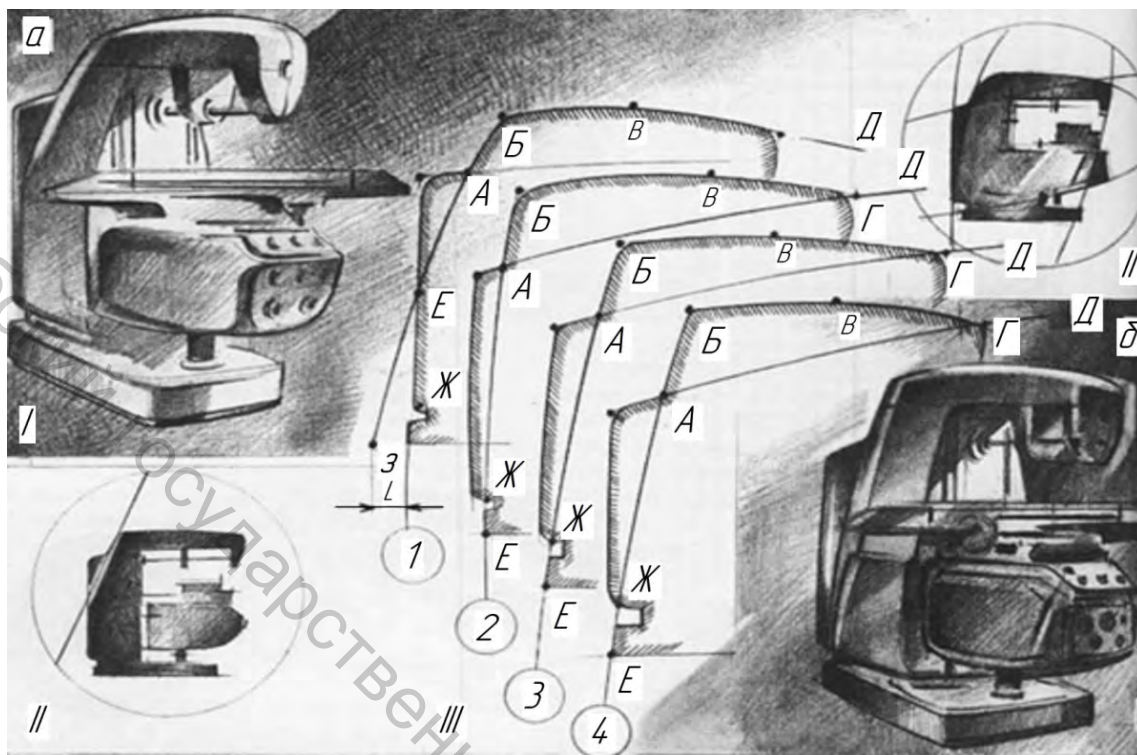


Рисунок 9.3 – Горизонтально-фрезерный станок

Активным дополнительным средством достижения соподчиненности элементов композиции является их объединение цветом (об этом специально говорится ниже). Существует немало различных приемов. В одних случаях используется общая цветовая конфигурация – единое цветовое поле, которое и объединяет разнородные элементы. В других это визуально подчеркнутая линейная цветовая коммуникация – своего рода цветовой каркас, связывающий разрозненные части машины. В третьих, это прием «мечения» разных элементов системы своим цветом, который создает связи даже между элементами, непосредственно не соседствующими друг с другом.

Итак, целостность формы и соподчиненность ее элементов связаны между собой, как следствие, с причиной. Если почему-либо не удастся соподчинить основные элементы и возникают серьезные композиционные противоречия между их формой и характером связей между ними, достижение целостности становится весьма проблематичным.

Важным свойством композиции является равновесие формы – такое ее состояние, при котором все элементы сбалансированы между собой. Композиционное равновесие не означает простого равенства величин. Оно зависит от распределения основных масс композиции относительно ее центра и, таким образом, связано с характером организации пространства, пропорциями, расположением главной (если она имеется)

и второстепенных осей, пластикой формы, цветовыми и тональными отношениями отдельных частей между собой и с целым.

Полезно проследить, как проявляются важные закономерности равновесия. Обратимся к простейшим моделям (рис. 9.4 а–г). Модель 1 на рисунке 9.4 а при заданной высоте и основании не вызывает особого беспокойства за устойчивость, хотя при таком наклоне передней стенки мы уже не очень уверены в ней. Модель 2 явно неустойчива – слишком велик вынос верхней части. Но вот мы распределили углы наклонов, как у модели 3, и глаз вновь доверяет форме, несмотря на то, что площадь верхней площадки у нее даже больше, чем у модели 1. Модель 4 еще более устойчива, и это достигнуто срезом части объема спереди. Попытка развить верхнюю часть, как у модели 5, недостаточно обоснована – здесь вновь возникает проблема достижения равновесия. Но у модели 6 оно вполне обеспечено.

Модель на рисунке 9.4 б не вызывает никакого доверия – кажется, чуть обопрись на консоль, и она упадет. Попытка достичь равновесия в модели 2 одним наклоном мало что дает, но зато координация наклонов у модели 3 приводит к зрительно более уравновешенной форме. Надежной кажется модель 4 – прием выраженного упора консоли при контр-наклоне стойки дает положительный результат. Модель 5 с развитым объемом и низкой стойкой воспринимается как почти уравновешенная, но вот парадокс: у модели 6 верхняя часть еще больше, а она при этом выглядит устойчивей, чем модель 5: зрительная пригрузка чуть уменьшенного основания пошла на пользу.

При той же высоте и основании, что у модели 1 на рисунке 9.4 а, ряд моделей в имеет свои преимущества в выражении композиционного равновесия. Даже при столь развитой верхней части, как у моделей 1 и 2 на рисунке 9.4 в, глаз вполне доверяет этим формам. Модель 3 в этом отношении хуже – что-то у нее не так! Видимо, дело здесь в недостаточной скоординированности наклонов передней и тыльной частей. Модель 4 вполне надежна, хотя у нее самый грузный верх, покоящийся на том же основании. Это объясняется расположением центра тяжести: при таких пропорциях модели он расположен низко, что и придает предмету устойчивость. Модель 5 – из области вариаций на ту же тему, но что-то в ней говорит о нарушениях равновесия. Видимо, опору нужно все же чуточку расширить и уточнить ее положение.

Что же касается ряда на рисунке 9.4 г, то модели 1 и 4 основаны на приеме усиления композиционного равновесия как бы искусственным путем – только с помощью тона и цвета, а также чисто пластических элементов формы. Как мы видим, они визуально несколько упрочивают равновесие, но не радикально. При таких пропорциях модели радикальным решением следует считать введение конструктивных опор (см. модели 5 и 6). Но это уже совершенно иные средства достижения равновесия.

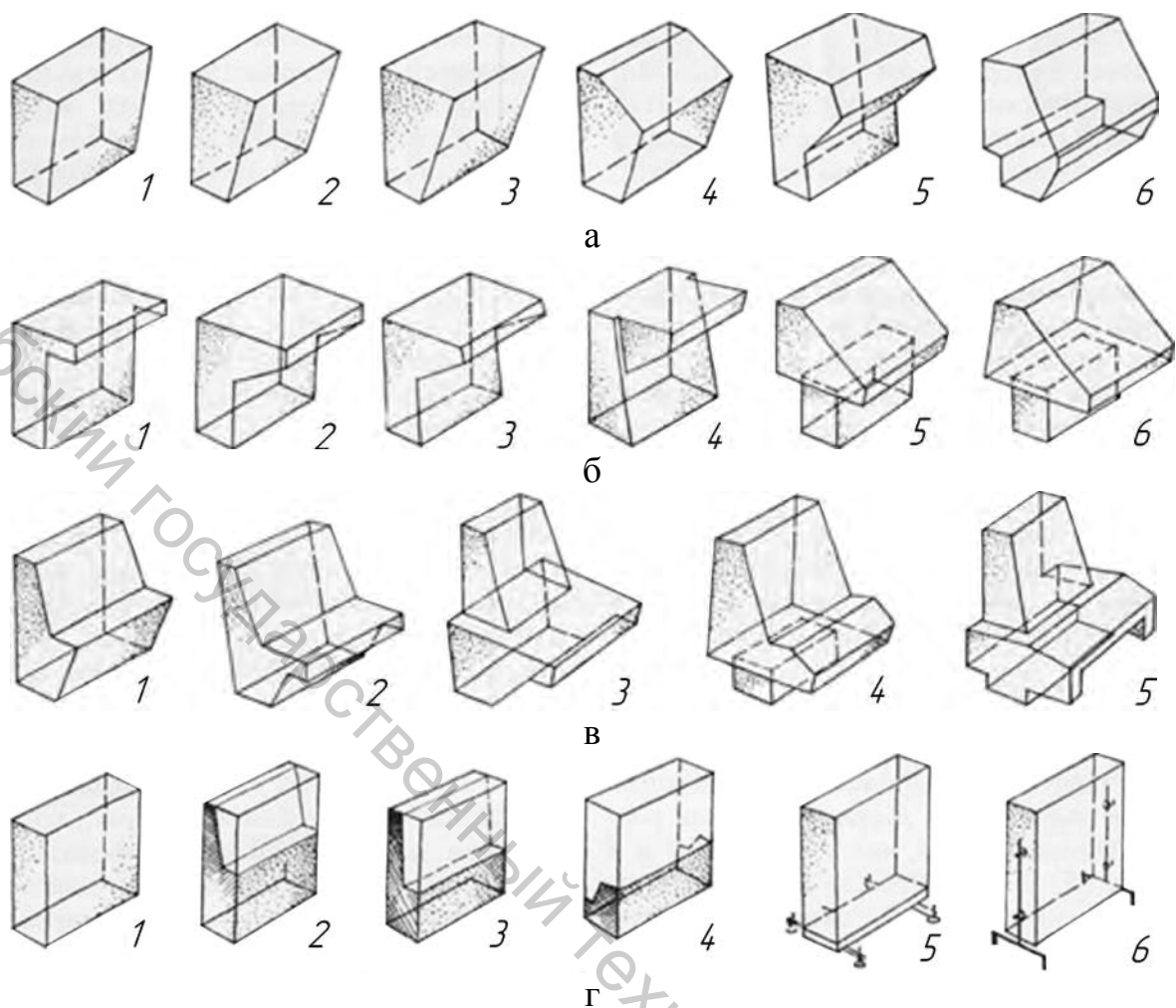


Рисунок 9.4 – Модели

Из сравнения этих моделей следует ряд выводов. Прежде всего, в рамках главных заданных параметров мы имеем немало возможностей достижения композиционного равновесия с помощью координации главных формообразующих плоскостей, пространственных смещений по отношению друг к другу верхней части и основания, а также путем визуального понижения центра тяжести модели. Почему визуального, а не реального? Потому, что их местоположение может и не совпадать. Если такие несовпадения невелики, то впечатление от формы будет адекватным действительному равновесию. Если же они будут существенными, то композиционное равновесие может оказаться ложным, не соответствующим действительному состоянию предмета. Именно так зачастую и бывает, и тогда приходится вводить дополнительные опоры. Но это уже негодный выход, так как предмет мог быть уравновешен и без опор, а пришлось прибегнуть к «костылям».

Если же предмету действительно требуются дополнительные опоры, то композиция должна свидетельствовать, что это не случайные

подпорки, а необходимые элементы, без которых равновесие неосуществимо.

Специфически проявляются закономерности композиционного равновесия у объектов подчеркнуто вертикальной формы с осевой симметрией. Здесь показаны условные модели, раскрывающие зависимость между физической устойчивостью и композиционным равновесием при увеличении высоты опоры. Модели *а* и *б* зрительно вполне устойчивы. Однако дальнейшее увеличение высоты опоры и ее утонение при неизменной верхней части приводят в конце концов к тому, что доверие к устойчивости формы начинает исчезать. Точно указать критический момент обычно бывает трудно – многое зависит от конкретных условий (абсолютной величины предмета, отношений отдельных частей, материала и пр.), но и на условных моделях видно, что формы с опорой, как у модели *в*, уже начинают вызывать некоторые опасения.

9.4 Симметрия и асимметрия

Абсолютной симметрии практически не существует в природе. Что касается техники, то форма станков, машин, приборов, различного оборудования, как правило, тоже имеет отступления от симметрии, вызванные условиями их функционирования, а, следовательно, и особенностями конструкции.

Асимметричное начало в симметрии может развиваться весьма различно. В одних случаях это асимметрия технической структуры, не находящая отражения во внешнем облике предмета (поперечное расположение двигателя, а в соответствии с этим и остальная компоновка в некоторых моделях легковых автомобилей, асимметричное размещение различных элементов внутри прибора при симметричном решении объема и лицевой панели). У станков при общей симметричной основе формы, как правило, асимметрично расположены отдельные части механизма, органов управления и т.д.

Вот тут-то, отступая от «закона», проектировщик сразу попадает в область таких отношений частей к целому и между собой, таких особенностей соподчинения, где начинают действовать закономерности, относящиеся уже к области проявлений композиционного равновесия (уравновешенности, по Вейлю). Пока законом строения формы оставалась симметрия, все было относительно ясно, но очень часто техническая функция и конструкция диктуют свои условия, и что-то уже не находит отражения в строгой системе «левое – правое», «верх – низ» и т.п. Тогда перед проектировщиком (если, конечно, он видит объект проектирования и как композиционную целостность) возникает немало сложных вопросов, поскольку случайные отступления от симметрии, а

тем более такие, когда форма находится на грани между симметрией и асимметрией, на практике вызывают неприятные последствия, особенно если явления композиционно не осмысливаются. Дисгармония в этих случаях может граничить с хаотичностью формы. В то же время с помощью ряда приемов можно сделать отступления от симметрии, не кажущейся ошибкой при формообразовании, а скорее достоинством формы, придав ей особую выразительность и индивидуальность и переведя из неопределенности в определенность. Существенных отступлений от симметрии обычно стараются избегать даже квалифицированные дизайнеры, считая, что в этих случаях лучше уж перевести форму в явно асимметричную. Работа над формой на грани между симметрией и асимметрией связана в основном с нахождением композиционного равновесия, и когда его удастся достигнуть, общее решение оказывается и рациональным и красивым.

Конкретные проявления асимметрии в симметричной системе столь разнообразны, подчас неожиданны, что эта сторона композиции не случайно пока еще менее всего изучена. Для уяснения некоторых ее особенностей обратимся вначале к условным моделям.

Чтобы можно было говорить о сколь-нибудь заметной симметрии параллелепипеда (рис. 9.5 а), придется привести в эту форму элементы, которые обозначили бы левое и правое (рис. 9.5 б). Чем сильнее влияние оси, тем активнее симметрия. Глубокий запад на рисунке 9.5 акцентирует ось. Ее влияние еще больше усиливается при глубинном развитии формы (рис. 9.5 г). При ослаблении влияния оси ослабевает и эффект симметрии.

Важной закономерностью является то обстоятельство, что если в модель б еще возможно внести какие-то элементы асимметрии, то модели г это уже противопоказано. Воздействие симметрии у нее настолько сильно, что внесение любого элемента асимметрии вошло бы в непримиримое противоречие со всей формой. С другой стороны, для форм, допускающих отступления от строгой симметрии, с развитием асимметричного начала может возникнуть момент, когда предмет перестанет быть симметричным, – всякое отступление от закономерного в форме возможно лишь в некоторых пределах: за этими пределами неизбежно наступает дезорганизация формы. Сложность заключается в том, чтобы увидеть эту грань. С того момента, как мы перестаем ощущать принцип развития формы, говорить о закономерной ее организации уже трудно.

Один из самых неприятных композиционных недостатков в конструировании промышленных изделий – это именно нарушение предела допустимых отклонений от симметричной основы, когда предмет уже не симметричен, но еще не полностью асимметричен. К сожалению, в технике это явление распространено довольно широко.

На рисунке 9.5 д – симметричная и направленная форма с акцентированной осью симметрии. Какие-либо изменения размеров в подобных случаях возможны лишь с учетом оси симметрии. Небольшое изменение размеров одного из фланкирующих объемов без ответных изменений другого ($l_m > l_1$), как на рисунке 9.5 е, приведет к весьма нежелательным для формы последствиям. Одностороннее изменение в подчеркнуто симметричной форме совершенно недопустимо. Здесь не может быть отступлений даже на «чуть-чуть», как в данном случае, что в инженерном конструировании, увы, не считается противозаконным. Конечно, и в такой композиции возможны отступления от строго зеркального повторения левого в правом, но они могут касаться лишь деталей, а не геометрической основы формы – ось симметрии не потерпит таких вольностей. Если же непременно потребуется одностороннее по отношению к оси изменение размера фланкирующего объема, то придется отказаться от симметрии и перейти к явно выраженному асимметричному решению.

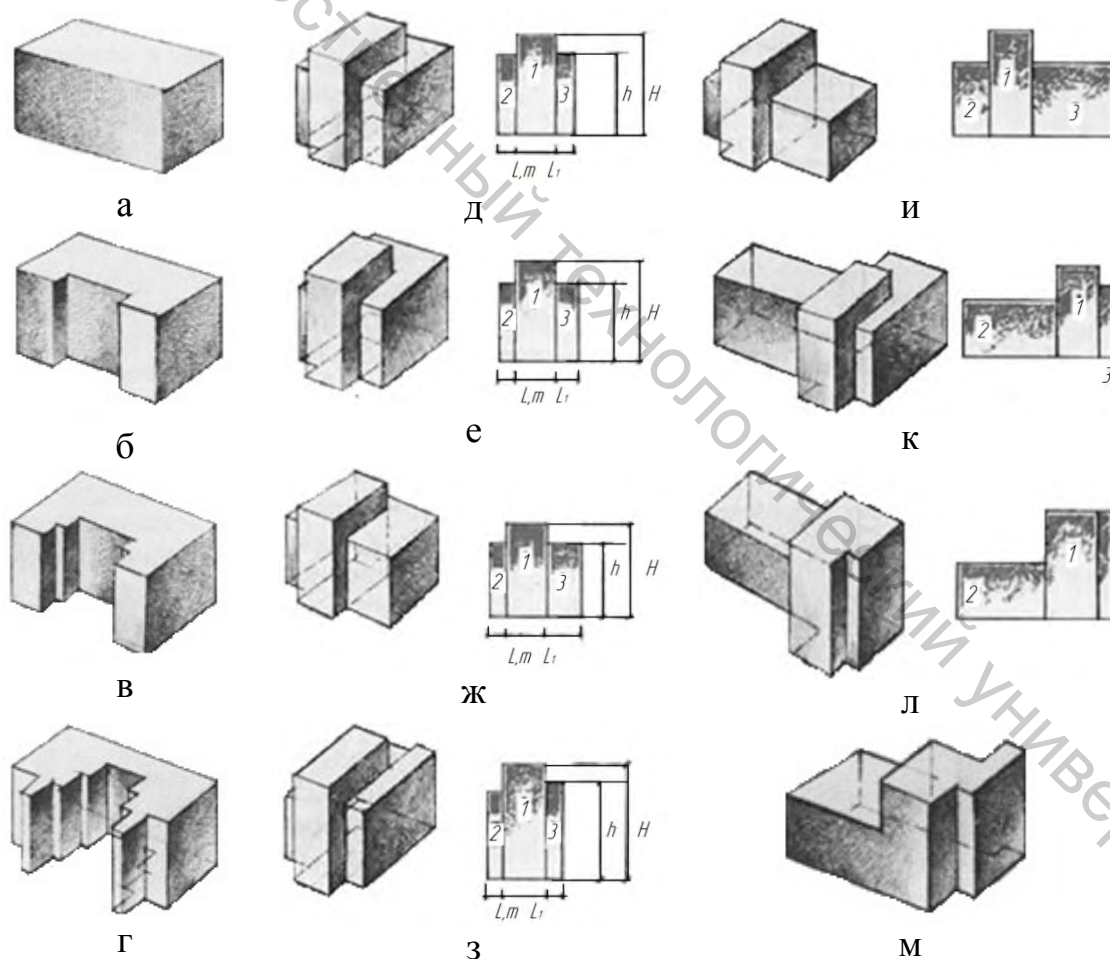


Рисунок 9.5 – Условные модели

Иначе выглядит форма на рисунке 9.5 ж. Объем 3 увеличен по фронту уже значительно. Разница между объемами 2 и 3 настолько оче-

видна, что симметрия почти утрачивает значение и форма воспринимается скорее как асимметричная. Однако она все же кажется «незаконной», а это результат ее неуравновешенности: фланкирующая роль объемов 2 и 3 сохранилась, центральная ось еще читается. Эта форма – незаконный гибрид симметрии и асимметрии, следствие случайного взаимодействия объемов.

Если решительно увеличить размер объекта 3 по фронту (рис. 9.5 и), то форма станет явно асимметричной, хотя гармония еще не достигнута. Сдвигая один объем и выдвигая другой, изменяя их по высоте или по фронту (рис. 9.5 к–м), можно найти немало приемлемых вариантов, если, конечно, задать одну из величин (например, неизменный по размерам центральный объем 1). Но здесь мы уже имеем дело с явно асимметричными формами.

Полезно проследить, в каких пределах мы имеем возможность вводить элемент асимметрии в этом ряду симметричных пультов. У модели а, наиболее нейтральной по отношению к оси, можно довольно свободно образовывать небольшие выступы или запады в верхней зоне. У модели б влияние оси сильнее, и с ней уже приходится считаться. А модель в активно симметрична, и тут можно маневрировать свободно лишь с размещением шкал и других приборных элементов, но уже только на плоскости, а не в объеме. Что касается модели г, то она предельно симметрична – сам оператор становится как бы центром этой композиции. Было бы совершенно незакономерным, например, смещать с оси центральный объем или произвольно менять форму одного крыла пульта.

На рисунке 9.6 еще один пример с анализом того, как могут проявляться в одной форме соотношения двух начал – симметричного и асимметричного, и каким образом может усиливаться одно начало и ослабляться другое. На этих примерах показаны и характерные проявления противоречий между симметрией и асимметрией. Исходная модель типична для форм многих станков. Модели а1, а2, а3 – с постепенным усилением симметрии. Здесь все ясно – усиливать влияние оси можно и дальше. Модели б1 и б2 не вызывают никаких вопросов, так как асимметричные элементы еще вполне подчиняются оси симметрии. Что же касается модели в1, то тут возникло противоречие, так как пульт управления сформирован довольно активным вертикальным выступом, который ничем не уравновешен. Эту независимость пульта определяют не только возросшие размеры его, но и постановка на собственном основании. Форма этой модели, строго говоря, композиционно неправомерна. На практике мы встречаемся с подобными нарушениями закономерности, но с позиций технической эстетики это существенный дефект. В модели в2 сделана попытка снять противоречие: пульт не представляет собой столь независимого объема, а как бы подвешен к корпу-

су. Улучшилось ли положение? Улучшилось, но немного, так как и здесь все же чувствуется нарушение закономерности симметрии.

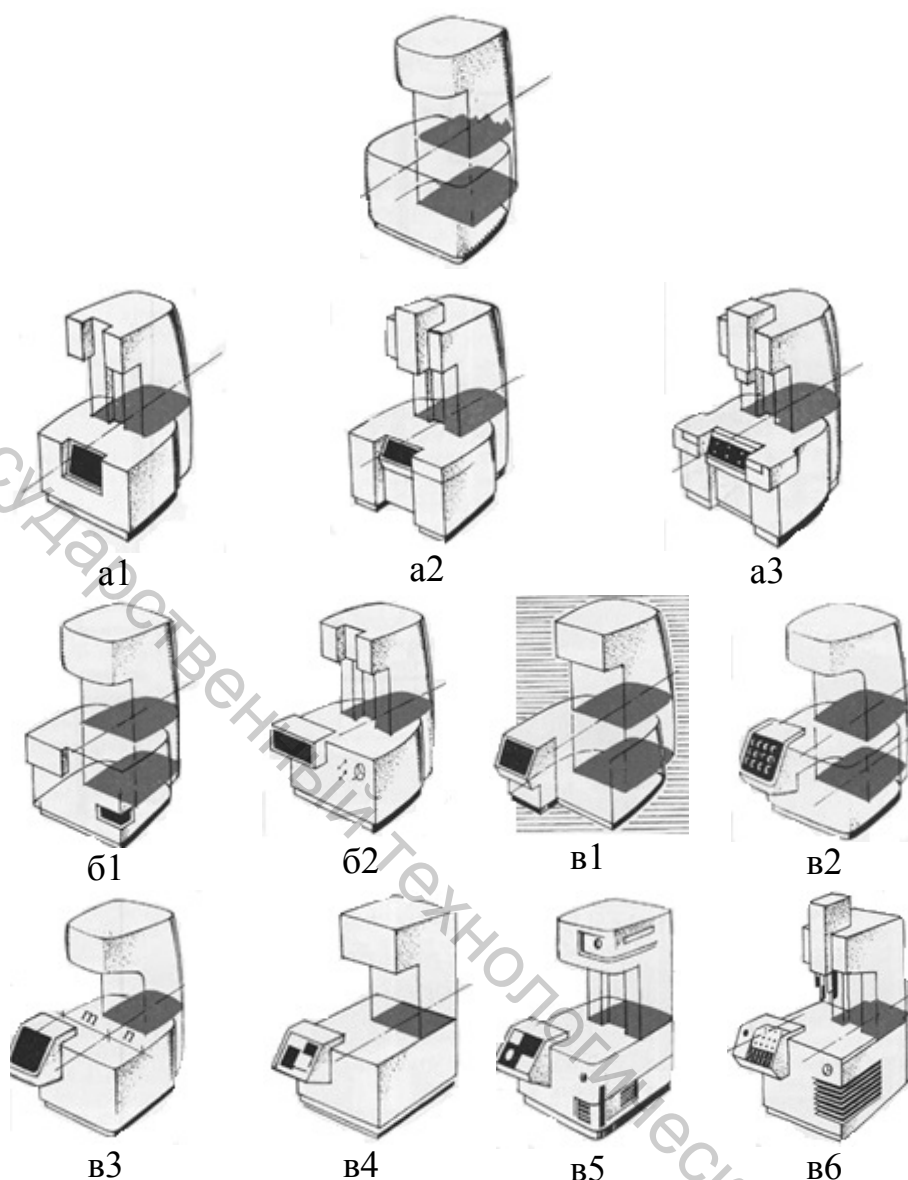


Рисунок 9.6 – Модель:

a1–a3 – постепенное нарастание активности оси симметрии,
b1–b2 – постепенное усиление активности асимметрии,
v1–v6 – нарушение закономерностей композиции

Модель на рисунке 9.6 v3 четко выражает асимметричный принцип формообразования – стойка предельно сдвинута вправо. Модели v4 и v5 последовательно развивают этот принцип строения асимметричной формы, что усиливается расположением остальных элементов. На этом примере видна широта возможностей конструктора в работе над формой станка.

Мы рассмотрели примеры проявления симметрии и развития асимметричного начала в рамках симметрии применительно к объемно-

пространственным композициям. Свою специфику в этом отношении имеют плоскостные композиции, например, системы приборных шкал на рабочих поверхностях пультов управления, компоновка щитов приборных комплексов в операторских центрах и т.п. Обеспечение целостности таких систем имеет особое значение, так как произвольные сбивки с общих осей отдельных элементов в системе информации или целых групп, возникновение случайных, визуально неопределенных сдвижек шкал, элементов сигнализации, органов управления могут иметь серьезные последствия.

Поэтому если какая-то приборная панель решена на основе явно симметричного принципа в расположении основных элементов, нужно стремиться к последовательному отражению его и в деталях. Если же в какой-либо группе элементов асимметрия неизбежна, важно, чтобы это было четко выражено тем или другим образом. Как воспринимается вся система? Нет ли в ней нарушений композиционных связей между группами шкал, сбивок и т.п.? Как организовано все это по цвету, по тональным отношениям? Тут закономерности отношений симметрия – асимметрия зачастую имеют особое значение. К сожалению, трудно установить даже приблизительные правила для всех случаев, ибо многое зависит от того, насколько активна ось симметрии, какова роль в композиции не имеющих зеркального отражения элементов, каково их отношение к основному объему или полю и зависимость от оси симметрии.

9.5 Динамичность и статичность

Каждый предмет характеризуется определенным местоположением в пространстве. Особенности такого местоположения выражают статичность и динамичность. Истоки восприятия статичности и динамичности лежат в разделении всего многообразия объектов природы и предметного мира на две основные группы – статичные и динамичные. Исходя из природных и общественных законов, человек формирует создаваемые предметы по законам статистики и динамики [147–152].

Статичность – это выражение в чувственном восприятии состояния покоя, неподвижности, незыблемости, устойчивости, равновесия. Статичные предметы характеризуются относительно постоянным местоположением в пространстве. Таковы здания, сооружения, многие бытовые машины и приборы, мебельные изделия, предметы посуды, станки и др. В их геометрическом строении, а также с помощью ряда приемов подчеркивается состояние устойчивого положения. Выражение статичности достигается распределением массы по высоте изделия, направленной к опорной поверхности, использованием опорных эле-

ментов с повышенной площадью, горизонтального членения массивного объема, расширяющимся книзу основанием. Соблюдение определенных закономерностей статичной композиции позволяет усиливать или ослаблять свойство статичности в зависимости от особенностей изделий.

Динамичность выражает в форме предмета одностороннюю направленность, как бы вторгающуюся в пространство. Динамичность свойственна предметам, которые постоянно изменяют свое местоположение в пространстве. Специфичность движущихся объектов отражается и в соответствующих формах. Их свойства проявляются в формах, выражающих способность преодолевать сопротивление среды, а также образную выразительность, свидетельствующую о присутствии реального или потенциального движения: ритмики, роста, развития. Такие формы характерны аэро- и гидроаппаратам, автомобилям, мотоциклам. Обтекаемость стала важнейшим средством их композиционного строения.

В реальной жизни абсолютная статичность и динамичность являются относительными. Большинство изделий характеризуется сложным местоположением в пространстве. Если обратиться к посуде для приема напитков, то она выставляется на стол и должна выражать устойчивость при ее наполнении, но вместе с тем из нее пьют и она перемещается в пространстве, ее убирают, моют, а, следовательно, ей присуща и статичность, и динамичность одновременно. Аналогичными свойствами обладает обувь, которая, с одной стороны, должна в своем образе выражать устойчивое положение человека не только стоя, но и при передвижении, а с другой – она должна отражать свободу движения. Даже скоростной автомобиль должен быть устойчивым в движении на полотне дороги.

Очевидно, что многим изделиям присуще статично-динамическое состояние как закономерное, соответствующее их сущности. Композиционные особенности их строения состоят в поиске меры, которая бы соответствовала именно статично-динамическому состоянию данного предмета. Например, в сопоставлении стола и стула мера статичности в форме у первого должна быть несколько выше, чем у второго.

Композиционные особенности статичности и динамичности, взаимодополняясь, придают изделию своеобразную выразительность, как бы вселяя в его материальную форму внутреннее движение, напряженность либо состояние уравновешенности, покоя. Статичность и динамичность в определенной мере взаимосвязаны с восприятием массы формы.

Масса – именно зрительно воспринимаемое количество материала, которое может заполнить пространство в пределах видимой геометрической формы (с учетом его плотности). Большей по объему форме зрительно соответствует большая масса, а сам предмет представляется

статичнее. Восприятие массы взаимосвязано с геометрическим строением формы.

Наибольшей массой зрительно обладают формы с равными или близкими измерениями по трем координатам.

Минимальной массой обладают формы, приближающиеся к линейным.

9.6 Пропорции, масштаб и масштабность

Масштабность – это наиболее сложное средство композиции, которое характеризует соразмерность предметов в сравнении друг с другом. *Масштабность* – соразмерность принятому эталону (человеку). «Человек есть мера всех вещей». Эти слова, высеченные на мраморе Дельфийского храма, довольно точно выражают суть масштабности предметного мира – всего того, что создает человек [149–154].

Восприятие реальной величины, т.е. размера, предметов возникает только в сравнении друг относительно друга. Для характеристики соразмерности используют понятия масштаб и масштабность. При достижении масштабности большую роль играют мелкие детали. Достаточно свободно можно использовать масштабность, исходя, прежде всего из соображений художественной выразительности. Масштаб и пропорции неразрывно связаны между собой.

Размер выражает абсолютную величину формы. Эта величина ни с чем не сравнивается. Она оценивается просто как большая или малая. Исходной для него является некая абстрактная единица, включаемая в ту или иную систему мер – метр, дюйм и т.д. В зависимости от размера форма характеризуется в композиционном плане как высокая или низкая, длинная или короткая и т.д.

Масштаб же выражает относительную величину формы, соразмерную в той или иной степени с другой исходной величиной или, в композиционном плане, с тем впечатлением, которое производит эта форма на человека.

В чисто композиционном, художественном значении масштаб представляет собой соразмерность, выраженную не в числах или отрезках, а в зрительном соответствии формы человеку. В принципе композиционный масштаб так же, как любое средство гармонизации, подчинен раскрытию художественной идеи, заключенной в форме. Разделяется он на крупный и мелкий. В соответствии с ним форма может выглядеть либо крупной, монументальной, либо мелкой, легкой. Крупным композиционным масштабом не обязательно отличается большая форма. В большой форме часто поражает абсолютная величина – размер, но не масштаб, соразмерный человеку. Добиться его, т.е. сделать так, что-

бы натуральная форма зрительно не подавляла человека и в то же время не выглядела игрушечной, – очень сложная композиционная задача. Решается она в основном именно за счет членения формы. Крупный масштаб относим со слабо расчлененной формой, мелкий – с сильно расчлененной формой. Всякое членение придает форме мелкий (легкий) характер, подчеркивая при этом, как правило, ее большие размеры. Уточним, что формы, включаемые в пространство, зрительно оцениваются по масштабу в связи не только с человеком, но и с этим пространством. Таким образом, они приобретают сложный, двойственный масштаб. Выражается он в одновременном укрупнении и размельчении формы.

При масштабном сопоставлении форм с человеком выявляется одна важная композиционная закономерность: чем меньше форма, тем она должна быть крупнее, и наоборот, чем больше – тем мельче. Вытекает эта закономерность из естественного процесса развития форм в природе. Вначале любая природная форма мала и слабо расчленена (как, например, росток), в конце своего развития – велика и сильно расчленена (как куст или дерево).

Пропорция – это закон размещения и выразительное сложное средство композиции, согласно которому отдельные части в целом находятся в определенном отношении друг к другу (т.е. высота к ширине или ширина к глубине). Пропорциональные величины зависят друг от друга настолько, что с увеличением одной в несколько раз, соответственно во столько же раз увеличивается другая величина. Пропорционирование следует воспринимать как творческий процесс. Все должно быть взаимосвязано пропорциями, т.к. они определяют соразмерность и гармоническую согласованность всех элементов композиции, всех ее частей между собой и целым. Все необходимо выверить на столько, что чтобы ни прибавить, ни убрать ничего было бы нельзя.

Удачно выбранные пропорции помогают в создании гармоничного изделия. Существует ряд систем пропорций, применяемых при проектировании изделий: арифметические (модульные), геометрические, «золотого сечения» (частный случай геометрической пропорции), пропорция с применением иррациональных величин и др. Считают, что наиболее удачное членение объемов имеет станок, построенный на принципах «золотого сечения». Согласно этим принципам линейные размеры поверхностей, ограничивающих объемы, должны определяться отношениями 2:3, 3:5, 5:8, 8:13, 13:21 и т.д.

9.7 Контраст, нюанс и нюансировка

Контраст и нюанс характеризует степень сходства и различия элементов композиции. Она может быть выявлена только при сравне-

нии элементов по одному композиционному свойству, например, размеру или геометрическому виду. Разнородные по свойствам элементы, оцениваемые раздельно, скажем, отличающиеся размером и цветом, несопоставимы [149–152].

В цвете, интонациях, речи, в музыкальных произведениях контраст подчеркивает явно выраженную противоположность, а нюанс несет в себе едва заметный переход, оттенок. Тем не менее, контраст и нюанс имеют общую цель – подчеркнуть, выделить отдельные детали конструкции с целью индивидуализации изделия, лучшей организации формы, во избежание монотонности и т.п. Использование и применение их должно быть продуманным и оправданным. Контрасты и нюансы достигаются формой и цветом.

Контраст – это резко выраженная противоположность: длинный – короткий, толстый – тонкий, крупный – мелкий.

В художественном конструировании контраст составляет одно из основных средств композиции. Путем контраста можно усилить выразительность изделия. Это достигается путем применения разных материалов (например, в телевизоре – экран из стекла, коробка из дерева, ручки регуляторов и решетки из пластмассы, окантовка – металлическая), и за счет обработки поверхности материала – полированная поверхность металла или грубошероховатая фактура, дерево полированное или просто покрытое лаком. При умелом использовании контраст может сыграть решающую роль в композиции. Подчиненный интересам композиции, он активизирует форму. При отсутствии контраста форма оказывается маловыразительной и скучной.

Контрастные сопоставления способствуют обострению восприятия целого. Контраст усиливает, подчеркивает различие свойств форм, делает их единство более напряженным, впечатляющим.

Показательным примером контраста может служить связь геометрических фигур, когда одна из них увеличивается по своим размерам по отношению к другим, чтобы определить центр композиции. Находясь в определенной связи друг с другом, такие композиции представляют пример конструктивного и комбинаторного соединения. Такие упражнения имеют особое значение и являют собой необходимую принадлежность основ композиции.

Когда геометрические элементы, сопрягаясь друг с другом, образуют нечто целое, гармоничное, и это целое представляет собой определенную связную композицию, то этим самым в какой-то мере решается проблема комбинаторных построений. Общность всех участвующих элементов говорит о том, что сочетание этих элементов создает явление, которое мы называем композицией, конструкцией.

Связь элементов условной композиции становится органичнее и понятнее, если в ней имеется главный элемент, вокруг которого на художественной основе объединяются остальные. Этот главный элемент

условно называется центром композиции. Подчинение детали сложной композиционно развитой формы также может иметь свой центр, но по силе выразительности он должен быть менее значительным, чем центр общий. Введение главного композиционного элемента и надлежащая соподчиненность остальных деталей усиливает внутреннюю связь деталей между собой и повышает общую выразительность. Композиционный центр приобретает особое значение при построении условных композиций.

Рассмотрим несколько вариантов условных композиционных схем, выполненных графическим приемом на плоскости из геометрических фигур, при помощи которых организуется взаимодействие мотивов, определяющих центр композиции.

С выразительностью в композиции тесно связана гармоничность, основной задачей которой является создание впечатления уравновешенности, изящности и точности образа формы и художественной согласованности комбинаторных элементов.

Использование контраста в технике связано еще и с необходимостью создания оптимальных условий для рабочего. Контраст должен быть умеренным, поскольку чрезмерно резкие контрасты будут способствовать преждевременному утомлению, а полное отсутствие контраста – создавать монотонность, обуславливать притупление внимания рабочего. Цветовой контраст (пятно, фон) весьма широко распространен в композиции промышленных изделий. Контрастные цветовые отношения позволяют выделить наиболее ответственные зоны станка, пульта управления, сосредоточить внимание рабочего на важнейших системах управления. Ввиду этого при работе над проектом промышленного изделия контраст, как и многие другие категории, следует рассматривать не только в чисто композиционном плане, но и с практической стороны, в связи с определенной деятельностью человека.

Очень сильный контраст, сочетание больших и малых объемов может зрительно разрушить композиционный строй. Поэтому степень применяемого контраста ограничивается требованиями сохранения цельности впечатления. Выбор степени контраста определяется на основании художественного чутья и практического опыта дизайнера и в большей степени зависит от назначения и места применения промышленного изделия.

Нюанс, как и контраст, – способ проявления выразительности в художественном конструировании. Он представляет собой как бы градации отношений однородных качеств предмета: размеров, пропорций, цвета, фактуры и т.д.

Нюанс – это отношение форм, незначительно, в отличие от контраста, различающихся своими свойствами. Нюанс сглаживает монотонность и жесткость формы в построении композиции изделий.

В технике нюанс – это разнообразная гамма вариантов в тончайших отношениях различных материалов, фактуры, цвета.

Нюансировка формы требует самой высокой квалификации проектировщика, тонкого чутья, к ней прибегают обычно на завершающей стадии конструирования, когда основа формы сложилась. Именно нюансировка, шлифовка, формы в конечном счете завершают дело. Нюансировка – это главное, что делает вещь более совершенной, элегантной.

9.8 Метрический повтор и ритм

Метрический повтор в композиции, или «метр», как его иногда называют, – это неоднократное, с одинаковым интервалом повторение какого-либо элемента. Повторы в технике носят весьма разнообразный характер в зависимости от того, какие это элементы, каков их размер и шаг, повторяется ли один элемент или одновременно несколько разных каждый со своим шагом чередования. Это могут быть одинаково оформленные и расположенные с одним и тем же интервалом шкалы, сигнальные лампы, кнопки или тумблеры прибора, несущие конструктивные опоры, кронштейны, косынки, отверстия и т.п. В композиции могут акцентироваться повторяющиеся стыки одинаковых элементов, места разъемов, даже крепежные детали. Для современных технических структур тема повтора особенно характерна. В эпоху многосерийного индустриального производства, основанного на стандартизации и унификации, все большее значение приобретают системы элементов, основанные на едином модуле [149, 155–156].

Некоторые наиболее общие закономерности, связанные с метрическим повтором, попытаемся выяснить на условных моделях. На рисунке 9.7 а изображен простой метрический ряд. Одинаковые кубики расставлены с равными интервалами. Число элементов ряда невелико, и он воспринимается как нечто завершенное. Но это еще не ряд, а только три элемента. Если к ним добавлять новые кубики, тогда ряд из завершенного превратится в бесконечный, и дальнейшее добавление кубиков принципиально уже ничего не изменит в характере восприятия ряда (рис. 9.7). Интересно установить его крайние пределы: с одной стороны, когда элементы читаются уже как ряд, а не поштучно, и с другой – когда количество элементов еще может восприниматься как завершенность, а не бесконечность.

Повтор как некий порядок начинает восприниматься с того момента, когда мы перестаем мгновенно улавливать количество элементов. С этой точки зрения и пять повторов еще не ряд, так как при таком количестве элементов мы их подсознательно считаем. Когда число элементов превышает шесть или семь, мы воспринимаем их не в отдельно-

сти, а как группу (рис. 9.7 б). С этого момента на наше восприятие воздействует закономерность уже многократного повтора. Но следует отметить, что метрические повторы объемных и плоскостных элементов воздействуют на наше восприятие неодинаково. Объемные элементы сложнее, они прочитываются в перспективе и вызывают ощущение многократного повтора раньше, чем плоскостные (сравните рис. 9.7 в и г).

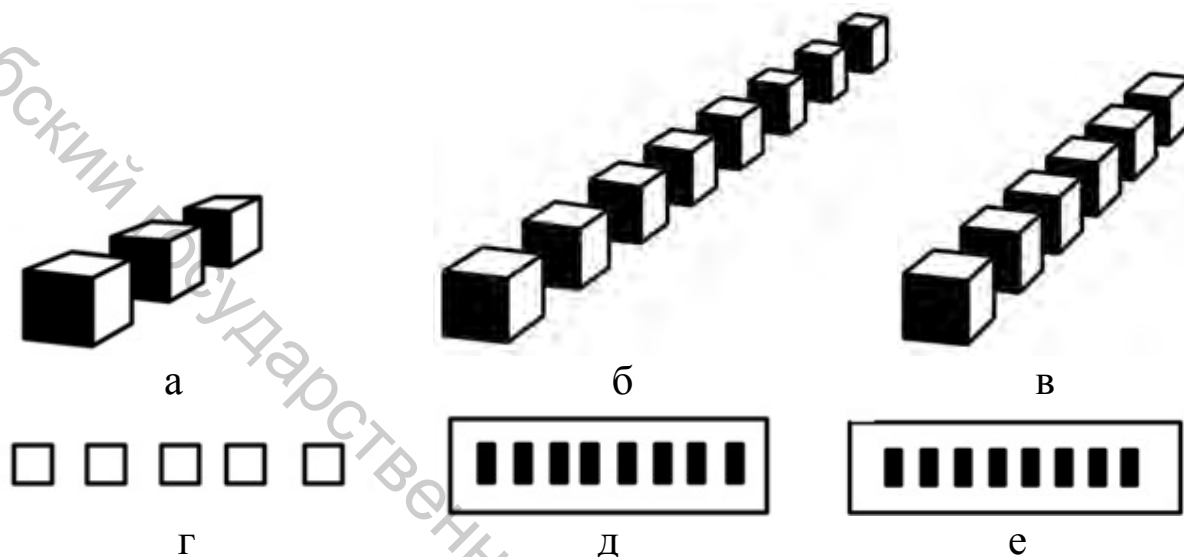


Рисунок 9.7 – Метрический повтор

Труднее почувствовать момент, когда ряд элементов при добавлении к нему новых перестает восприниматься как целостность. Если рассматривать конкретный ряд, многое зависит не только от количества элементов в ряду, но и от того, как они оформлены в совокупность. Например, ряд элементов на рисунке 9.7 д ограничен полями, которые по величине равны интервалам между элементами, а на рисунке 9.7 е — полями более крупными. Впечатление фрагментарности и монолитности ряда возникает раньше в первом случае.

Зачастую в одной системе элементов параллельно развивается несколько рядов метрически повторяющихся объектов. Композиционная стройность такой системы, покоряя своей упорядоченностью, облегчает ход сложного трудового процесса. Если же метрический порядок в рядах нарушается непредусмотренными, случайными включениями одного или нескольких элементов, мы невольно регистрируем это нарушение закономерности. Метрический повтор в технике чаще всего отражает характер функциональных процессов и связан с конструкцией. Но иногда повтор вводится искусственно и используется как дополнительное средство организации формы. В технике немало примеров развития целых рядов метрических повторов. У поезда метро, например, довольно сложный метрический повтор окон, шага дверей и межвагонных промежутков.

Хотя метрический повтор сам по себе весьма активная закономерность, он еще не гарантирует гармонии, да и вообще повышения эстетических параметров. Если бесконечно повторять одну и ту же ноту в музыкальном произведении или строить архитектурную композицию на повторении только одного элемента, гармония не возникает, напротив, неизбежны унылая монотонность. В то же время в прекрасных памятниках архитектуры тема метрического повтора (шаг колонн, контрфорсов, скульптур и т.п.) всегда использовалась очень широко. Но повтор в них не оставался примитивным, а развивался иногда в весьма сложные системы гармонично скоординированных элементов, где одни поддерживали и обогащали повтор других. Организующая роль метрического повтора зависит от многих условий и прежде всего от активности самого повторяющегося элемента, от его роли в композиции. Наиболее активны повторы в объемно-пространственной структуре изделия при сильных светотеневых контрастах, которые обычно становятся ведущей темой и держат всю композицию. Не столь сильно выражены повторы обрамлений шкал на панелях приборов и т.п., хотя и здесь многое зависит от контраста пятна и фона.

Правоммерно рассматривать два вида метрических повторов – основанных на контрасте элемента и фона и на нюансных их отношениях. В каждом конкретном случае необходимо соразмерять степень контрастности метрично повторяющихся элементов по отношению к фону и метрическим рядам других элементов. Метрический ряд может быть простым, основанным на повторе одного элемента; более сложным, когда он скоординирован с другим; весьма сложным, когда в композиции развивается одновременно несколько рядов метрических повторов.

Любое изменение в метрическом ряду может быть только явным и, разумеется, композиционно обоснованным, обыгранным, акцентированным. Близкое к метрическому повтору средство композиции – ритм – вообще исключает возможность каких бы то ни было отступлений. Сбой ритма, как правило, ведет к серьезным нарушениям целостности, в то время как композиционно продуманное изменение в метрическом ряду не только возможно, но подчас во многих отношениях желательно. Иногда возникает такое явление, как перенасыщение метрического ряда слишком близко расположенными элементами или целыми группами элементов; в этом случае фон уже не служит организующим началом, а сам метрический повтор перестает восприниматься. И, наоборот, при разреженности ряда его элементы теряются («плавают») на слишком большом, пустынном фоне.

Ритмические повторы могут быть: равномерными, нарастающими и убывающими. В зависимости от этого повторяемость может быть двух типов: статическая и динамическая.

Статический ритм состоит из элементов, повторяющихся через одинаковый интервал. Ряды могут быть простыми и сложными.

Простой ряд основан на повторе одного и того же с одним и тем же интервалом. Сложный ряд образован сочетанием простых.

По способу чередования подразделяется на:

- чередование на одинаковых интервалах;
- чередование одинаковых элементов с неравными интервалами;
- ряд с чередованием неравных элементов.

Динамический ритм – это ряд в перспективном увеличении или уменьшении размеров элементов и интервалов, или тех и других одновременно.

1. Развитие динамических рядов может происходить по арифметической прогрессии, т.е. постоянно сохраняется разность между любыми двумя соседними элементами.

2. Развитие динамических рядов может происходить по геометрической прогрессии, т.е. величина каждого последующего интервала равна величине предыдущего, умноженного на постоянное число. Главное, в ряду должно быть более 6 элементов, т.к. меньшее количество не составляют ряд.

9.9 Тени и пластика

Термин *пластика* – один из наиболее употребительных в художественном конструировании. Им постоянно пользуются дизайнеры, обсуждая проекты будущих станков, машин, приборов, однако если сравнить толкования его разными специалистами, окажется, что едва ли не каждый из них понимает пластику формы по-своему. Пластика формы характеризует прежде всего особенности объемно-пространственной структуры, определяя ее рельефность, глубинность, насыщенность светом и тенями. Пластичная форма – это форма рельефная, скульптурная, с мягкими переходами основных образующих. И наоборот, форма, которой не хватает пластичности, суха, аскетична, для нее характерна бедная светотеневая структура [149, 156–157].

Хотя художнику-конструктору приходится глубоко вникать в инженерную основу конструкции, в процессе поиска формы наступает момент, когда нужно увидеть станок или прибор не как технический организм, способный выполнять определенную функцию, но как своего рода скульптуру с ее особой пластикой, выявленной только тенями и светом. Если конструктор ограничивается ортогональными чертежами в линиях, ему трудно представить реальный объем с его сложной пластикой. Как лягут тени? Как пройдут блики? Не деформируют ли они объемно-пространственную структуру? Не окажется ли она скучной, сухой и просто некрасивой?

Сегодня, когда качество любого промышленного изделия определяется и его эстетическим совершенством, нельзя мыслить чисто «чертежными» категориями. Не только художник, но и инженер должен уметь грамотно оттушевать ортогональный чертеж, построить тени, выявить блики.

Если, прищурясь, посмотреть на предмет так, чтобы все второстепенные детали оказались размытыми в контурах, а форма – обобщенной, предмет предстанет таким, словно он прорисован одними тенями и светом. Тогда выявится его светотеневая структура, яснее раскроется и главное в композиции, и ее недостатки. Профессионалы часто прибегают к этому приему, особенно в работе над изделиями со сложной объемно-пространственной структурой. Вызывая на себя одну плоскость, чуть заглубляя другую, выдвигая один объем по отношению к другому, художник-конструктор лепит форму, следя за распределением света и теней.

Организирующая сила теней в композициях промышленных изделий несомненна, однако зададимся вопросом, вправе ли мы на этом основании причислить «нематериальные» тени к числу средств композиции. Ведь, строго говоря, свет и тени, создающие в совокупности светотеневую структуру, не являются компонентами самой формы: стоит изменить местоположение и силу источника света, как меняется и структура теней и света. Правда, во многих случаях в технике существует стационарное освещение объектов, что создает условия для поисков лучшего варианта светотеневой структуры. При данных условиях освещения взаимодействие света и теней, характер их распределения, глубина и другие факторы есть результат определенного пластического решения объемно-пространственной структуры.

Тени связывают воедино все элементы формы, укрепляют ее основу. Объект становится особенно рельефным и выразительным, когда он оптимально освещен. Но как быть с предметами, изменяющими свое положение в пространстве (а таковы многие промышленные изделия)? Ведь в этих условиях трудно говорить об устойчивом оптимальном освещении. Значит, работая над формой, художнику-конструктору придется учитывать различные варианты освещения, а при этом и характер поверхностей, и особенности покрытия, и распределение световых бликов на самых высоких образующих формы, т.е. изменение всей светотеневой структуры движущихся объектов.

При разработке сложных поверхностей в процессе художественного конструирования нельзя не учитывать влияния световых бликов. Основное внимание при этом необходимо акцентировать на соблюдении закономерностей в геометрическом построении сложных поверхностей, ибо здесь световой блик служит самым строгим контролером.

На рисунке 9.8 а – небольшой токарный станок. Если эту форму передать одними тенями (собственными и падающими), выявится глав-

ное в ней (рис. 9.8 б): здесь горизонтальная светотеневая структура полностью доминирует над вертикалями, играющими подчиненную роль. Такая структура света и теней органична для данной формы, она отражает и выявляет весь ее строй?

Если светотеневая структура объективно отражает особенности формы, то не значит ли это, что она получается сама собой и ей незачем уделять специальное внимание? Нет, совсем не значит. Пластическая разработка не может быть полноценной без параллельной разработки светотеневой основы формы – без теней, без контраста ярко освещенных поверхностей или острых световых бликов и глубоких темных выпадов, без нюансов легких скользящих теней. Вот и форта этого станка получилась целостной и лаконичной не только благодаря последовательному развитию композиционного приема, основанного на выявлении строгой системы горизонталей, но и благодаря четкой структуре света и теней. Можно было бы усложнить пластику станка, изменить профиль корыта, сделать более глубокими подрезки и т.п., но только так, чтобы светотеневая структура не нарушила целостности. Этого и не произойдет, если она соответствует определенному принципу (рис. 9.8 в). Этот принцип нарушен в композиции на рисунке 9.8 г – здесь появились случайные вертикальные тени, вступившие в противоречие со всем горизонтальным строем формы, с самим приемом данной композиции. На практике это способно сильнейшим образом дезорганизовать форму. Именно так часто и происходит, а проектировщик не понимает, в чем же всё-таки дело.

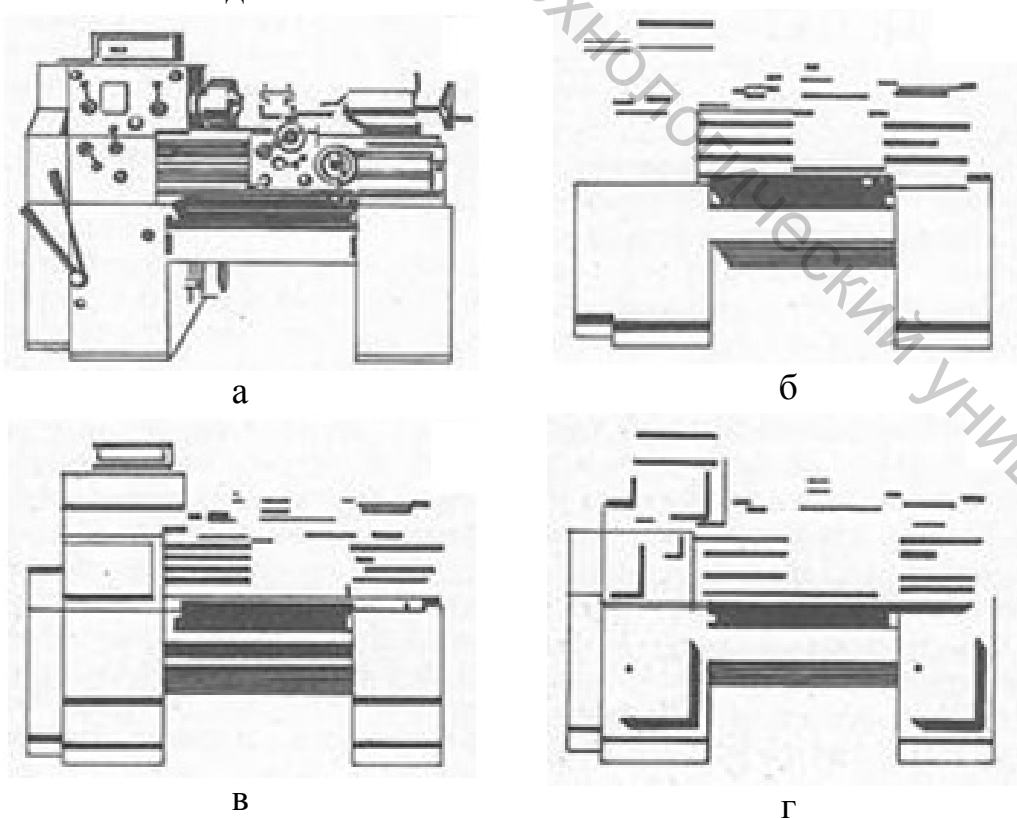


Рисунок 9.8 – Тени токарного станка

Итак, сложное взаимодействие теней и света нельзя считать второстепенным в работе над формой промышленного изделия – от светотеневой структуры во многом зависит целостность композиции.

9.10 Цветовые решения в проектировании и производстве станочного оборудования

В отношении к *окраске станков* в последние годы наблюдаются противоречивые тенденции, что вызывается буквальным следованием тем эргономическим «стандартам», которые, с одной стороны, быстро устаревают, поскольку эргономические исследования постоянно развиваются, а с другой – не всегда полно учитывают собственно композиционные особенности станков. По-видимому, не случайно многие станкостроительные фирмы большое внимание уделяют привлекательности станка – именно привлекательности как таковой, т.е. как некоей скульптурной формы. Распространилось даже любопытное мнение, что именно привлекательность окраски должна выступать своеобразным эргономическим требованием для создания в цехе благоприятного психологического климата. Действительно, если окрашенные по всем эргономическим рекомендациям станки почему-то непривлекательны, т.е. вызывают негативную эмоциональную реакцию, очевидно, в этих рекомендациях не учтены какие-то важные особенности восприятия. Думается, сегодня в эргономических исследованиях становится необходимым учет композиционных требований, и прежде всего целостности сложной технической формы, выражения тектонической основы станка, его объемно-пространственной структуры и, наконец, психологических особенностей восприятия [147–149, 158–160].

Если у станка много неокрашиваемых металлических поверхностей, то красивая теплая гамма окраски других плоскостей вполне рациональна – создается эстетически выразительный контраст между холодными и теплыми частями спектра. Темно-зеленый, травянистый и мрачноватый цвет, который часто избирают как вынужденный, снижает эстетический уровень станков. Вообще грязноватые тона во всех местах поднутрений и заглублений воспринимаются уже не цветом, а скорее результатом неопрятности – следов подтеков масла и т.п.

Вообще следует в принципе различать «грязные» цвета от сложных составных, воспринимаемых как привлекательные. Например, кобальтово-синие (так называемые индиго) смотрятся отлично, а теплая зелень с примесью сажи дает неприятные грязные оттенки.

Разрабатывая *цветовую композицию* промышленного изделия, дизайнер имеет дело не только с окрашиваемыми частями, но и с естественным цветом многих материалов – металлов, пластмасс, дерева,

кожи и т.п. Благодаря достижениям химии и технологии цветовая палитра этих материалов непрерывно обогащается, и нужно большое мастерство, чтобы гармонизовать сочетание отделочных материалов по цвету и фактуре, учесть отражающие свойства разных поверхностей. Даже отличная имитация дерева в пластмассе все-таки не может передать глубины и живой игры ценных пород дерева. Что касается металлизации поверхностей пластмассы напылением металла, то здесь создается хотя и тонкое, но естественное покрытие, и цвет при хорошей отделке бывает глубоким и сильным.

Порою, правда, важно использовать даже тончайшие оттенки цвета, особенности фактуры поверхности покрытия, характера полировки и т.п. Полированный металл бликует, и эти цветовые блики в зависимости от решения композиции могут дополнять цвет окрашенных поверхностей. Но если данный материал не подходит по цвету к другим, его использование вносит диссонанс в цветовую гамму. Хромированное покрытие, холодное, в тених темно-серо-голубое, может оказаться чужеродным в теплой цветовой гамме. Точно также теплое золотистое гальванопокрытие композиционно не увязывается с гаммой голубовато-холодных цветов. Особенность цветовой гармонии в том, что это своеобразная система, в которую нельзя произвольно вносить изменения, не рискуя нарушить целостность всей вещи. Изменение цвета одной детали требует корректировки цвета других элементов.

Дизайнер не должен оставлять цвет напоследок. Еще работая над композиционным приемом, сознательно выбирая его, он должен думать и о цвете, чтобы использовать это средство в развитии и дополнении идеи композиции. Уже на этой эскизной стадии художественного конструирования необходимо строить композицию цветом и тоном.

На ранних этапах можно корректировать и саму форму, идя от цвета. Идея цветового решения может не только помочь выявлению композиционного приема, но выявить и характер формы, и нюансные отношения вплоть до мельчайших деталей.

Как же все-таки строить цветовую композицию станка? Сегодня проектировщику приходится либо целиком доверяться некоторым материалам нормативного характера, не имеющим порой никакого отношения к конкретной композиции, либо полагаться на собственную интуицию. Оба эти пути трудно считать достаточно надежной основой работы, так как разнообразие форм в технике и условий эксплуатации диктует необходимость индивидуального отношения к цветовой гамме, ее оптимизации как с композиционной, так и с эргономической точек зрения.

Развитие техники и связанные с этим условия деятельности человека вызвали потребность глубже изучить влияние цвета на психику человека, установить «цветовой климат», который благоприятно влияет на организм человека (который был назван комфортным).

Какие же эмоции могут вызвать определенные цвета? Интересные характеристики цветов по их психофизиологическому воздействию на человека дал французский ученый М. Дерибере. Свои выводы он сделал на основании многочисленных опытов, не исключая и частные случаи, которые зависят от настроения, пола и физического состояния каждого человека. Итак, вот эти характеристики.

Красный – люди воспринимают как цвет возбуждающий, горячий, энергичный. *Оранжевый* – близок к красному, также горяч, напоминает раскаленный металл или знойные краски пустыни. *Желтый* – уже совсем лишен жгучести, он скорее теплый, веселый, может располагать к шутке, хорошему настроению, создать атмосферу солнечного, ласкового, мягкого весеннего дня. Но свойства желтого цвета резко меняются в зависимости от его чистоты и яркости. *Зеленый* – это цвет обновления, весны и юности. Он может быть холодноватым и нести в себе свежесть, бодрость весеннего утра, а в сочетании с желтым – быть мягким и теплым, как смолистый запах соснового бора. В том и другом случае он рождает душевный покой, хорошее настроение. *Синий* – так же как все его оттенки, напоминают о холоде, о воде, дали. Этот цвет свеж и прозрачен, он кажется воздушным и легким. *Фиолетовый* – цвет утомленности и взволнованности. *Коричневый* – имеет широкий диапазон воздействия. Вообще гамма коричневых цветов получается при смешивании серого с оранжевым. При преобладании оранжевого компонента и умеренной насыщенности коричневый цвет – теплый, способен выражать крепость, устойчивость, создает спокойное, мягкое настроение. Но этот же цвет, если в нем преобладает серый тон, будет располагать к мрачному настроению. Он настораживает человека, вызывает тревогу, ожидание неприятностей. *Белый* – холодный и благородный. *Черный* – говорит о тяжести и мрачности окружающей обстановки. Вполне понятно, что он резко ухудшает настроение. Но сочетание черного с белым создает состояние подъема и его используют в торжественных случаях. *Серый* – цвет деловой обстановки, который навевает уныние и скуку, а иногда даже апатию.

Дальнейшие исследования психофизиологов показали, что цвет не только действует на психическое состояние человека, он может, например, подчеркивать тяжесть или легкость предмета.

Существующие в природе цвета делят на ахроматические – не имеющие цветных оттенков (белый, черный и серый) и хроматические – цветные (голубой, зеленый, красный и др.). Цвета разделяют также на две группы: теплые (красные, оранжевые, желтые, пурпурно-красные) и холодные (фиолетовые, синие, голубые, пурпурно-фиолетовые). Эти группы цветов по-разному действуют на психику и зрение человека: а) холодные цвета зрительно воспринимаются дальше, а теплые – ближе; б) теплые возбуждают и поднимают настроение, а холодные успокаивают и даже угнетают; в) теплые цвета понижают слуховую чувстви-

тельность, а холодные повышают; г) при теплом цветном окружении мышечная работоспособность больше, чем при холодном; д) холодные цвета помогают переносить высокие температуры, а теплые – затрудняют и т.д.

Воздействие цвета на человека зависит не только от цветового тона, но и от других характеристик: а) темные цвета действуют на психику подавляюще, а светлые – повышают настроение; б) темные цвета более тяжелые, а светлые – более легкие; в) светлые цвета увеличивают размеры предметов, а темные – уменьшают и т.д.

Чем больше площадь поверхности, окрашенной в отдельный цвет, чем он ярче и насыщеннее, тем сильнее его воздействие. Длительное восприятие одного цвета (или группы похожих цветов может привести к цветовому утомлению). Наименее утомляющими являются желто-зеленые, зеленые (цвета середины спектра) и светлые ахроматические цвета. Вопросы воздействия на человека цветовых сочетаний гораздо сложнее, чем воздействие отдельных цветов, они связаны с теорией цветовых гармоний.

Зная все характеристики цвета, можно говорить о таких понятиях, как контраст и нюанс двух цветовых пятен. Под *контрастом* понимают такое сочетание двух или нескольких цветовых пятен, при котором цвета резко различны по яркости, насыщенности или по тону. *Нюанс* – это оттенок, едва заметный переход цвета. Нюансное сочетание представляет собой объединение в композиции цветов, которые имеют незначительные расхождения по основным параметрам. При наличии характеристик можно с их помощью задать строго определенный цвет.

Говоря о цвете, было бы ошибкой выпустить из вида такой важный вопрос, как взаимодействие цвета и света. Эти два явления непосредственно связаны между собой. Падающий пучок света может происходить от естественного источника – солнечного луча и от искусственного освещения: лампы накаливания и лампы холодного свечения. Качественно новый пучок света даст и несколько иное разложение цветов. Так, при освещении лампами накаливания отсутствуют синие и фиолетовые излучения.

Красные цвета становятся более чистыми, оранжевые краснеют, голубые – зеленеют, синие и фиолетовые – краснеют, превращаясь в пурпурный. Освещение ртутными лампами приводит к тому, что кремновые цвета становятся зеленоватыми, желтый цвет – ярко-зеленым, желто-красные – желтовато-зелеными, бледно-голубой – серо-голубым, темно-голубой – более ярким, зеленый – более глубоким, розовый – серовато-бурым, оранжевый – блеклым и сероватым, красный – бурым, фиолетовый – блестящим, серый приобретает зеленоватый тон. При конструировании необходимо учитывать указанные выше свойства цвета и применять соответствующие цвета в каждом конкретном случае.

Размеры станка оказывают влияние на выбор цвета для окрашивания. Малые станки следует окрашивать в один цвет, многоцветность может нарушить цельность формы, иногда можно использовать более насыщенные цвета. Для окрашивания же крупных станков можно применять несколько цветов, это служит средством объединения отдельных частей (объемов) станка. Для окрашивания станков, имеющих поверхности больших площадей, доминирующих в производственном интерьере, следует применять светлые и ненасыщенные цвета. Однотипные станки (например, по их технологическому назначению) и станки, устанавливаемые на одном участке, в одном пролете, могут иметь одинаковое цветовое решение.

Очень важно правильно выбрать фон для выделения обрабатываемой детали. Если на станке будут обрабатывать детали из разных материалов (чугуна, стали, бронзы и т.п.), то в конструкции станка следует предусмотреть специальные сменные щиты с соответствующей окраской. Рекомендуемые цвета фона для выделения обрабатываемой детали приведены в таблице 9.1.

Для работающего на станке исключительно важное значение имеет цветовое оформление органов управления станка и правильный выбор фона для них. Если органы управления темного цвета, то фон для них должен быть светлым и наоборот.

При выборе цвета для окрашивания станков необходимо учитывать также тип источника освещения (естественное освещение лампы накаливания, лампы дневного света и т.д.) и освещенность, так как при различных источниках света и различной освещенности цвет краски меняется.

Таблица 9.1 – Рекомендуемые цвета фона для выделения обрабатываемой детали

Обрабатываемый материал	Цвет фона	Обрабатываемый материал	Цвет фона
Сталь, чугун	Кремовый, светлый	Отливки загрунтованные	Серо-голубой, светлый
Алюминий и другие лёгкие сплавы	Кремовый, тёмный	Медь, латунь, бронза	Серо-голубой, тёмный

9.11 Организация рабочего места

Соответствие конструкции производственного оборудования и организации рабочего места антропометрическим и физиологическим данным человека способствует рациональному взаимодействию между

человеком и орудием труда и приводит к повышению работоспособности и эффективности трудовой деятельности [149, 159–160].

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя, стоя или сидя и стоя. Рабочая поза определяется условиями трудового процесса и конструкцией производственного оборудования с учётом физиологической тяжести работ, размеров рабочей зоны и необходимости передвижения в процессе выполнения работ. Так, медленные и точные движения, требующие статических усилий мышц, целесообразно выполнять в положении сидя, а быстрые, со значительными траекториями – в положении стоя.

Конструкция оборудования и рабочего места, их размеры и взаимное расположение элементов (пультов, органов управления, кресла) должны учитывать требуемую точность и скорость движений при осуществлении управления, частоту использования органов управления, допустимые динамические и статические нагрузки, антропометрические характеристики двигательного аппарата человека, возможность различения органов управления.

При конструировании оборудования и трудовых процессов, выборе органов управления и их размещения в рабочей зоне следует стремиться к ограничению трудовых движений первыми тремя группами и учитывать физиологические особенности двигательного аппарата человека.

Основой рабочего места являются пульты и панели, на которых размещены органы управления и средства отображения информации. Они должны обеспечивать удобное и достаточное по размерам рабочее пространство для операторов, свободный подход их к месту, место для ведения записей, просмотра и хранения текущей информации.

Рабочие места отличны в зависимости от специфики исполнения трудовых функций. Труд может осуществляться сидя, стоя и лежа. В любом случае должна учитываться производственная эргономика. Зона работы должна обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах осуществления выполнения работ.

Под рабочим местом понимается часть производственной площади с размещенным на ней технологическим оборудованием и инвентарем, необходимым для эффективного выполнения рабочим или бригадой определенного производственного задания. Рабочее место является первичной ячейкой производственной структуры предприятия. Организация рабочего места представляет собой комплекс мероприятий, направленных на создание на рабочем месте всех необходимых условий для высокопроизводительного труда, на повышение его содержательности и охрану здоровья рабочего. Она включает: выбор рациональной специализации рабочего места и его оснащение оборудованием, оснасткой и инвентарем; создание комфортных условий труда; рациональную планировку; бесперебойное обслуживание рабочего места по всем

функциям. Конкретное содержание работ по рациональной организации рабочих мест зависит от многих факторов: вида труда (умственный или физический, тяжелый или легкий, разнообразный или монотонный), условий труда (комфортные или неблагоприятные), типа производства и т.д.

Организация и обслуживание рабочих мест в значительной степени зависят от типа производства. В единичном и мелкосерийном производствах на рабочих местах выполняется большое число разнообразных операций: рабочие места оснащены универсальным оборудованием, разнообразной технологической оснасткой и инвентарем. В серийном производстве преобладают рабочие места, на которых выполняется ограниченное число технологических операций. Такие рабочие места оснащаются специализированным оборудованием, оснасткой и инструментом. Для массового производства характерно закрепление за рабочими местами одной или двух технологических операций, что позволяет оснащать их специальным оборудованием и инструментом.

В зависимости от характера выполняемой работы рабочие места могут быть стационарными или передвижными. На стационарных рабочих местах чаще всего организуется зона для обслуживания рабочих (слесарей-ремонтников, электриков, наладчиков и др.).

Оснащение рабочих мест определяется их производственным профилем, специализацией, степенью механизации и автоматизации технологических процессов. Комплект типового оснащения рабочего места в машиностроении включает: основное технологическое оборудование (станок, верстак, пульт); вспомогательное оборудование (подъемно-транспортное, подставки, сиденья); инвентарь (инструментальные шкафы, тумбочки и др.); тару для заготовок и готовых деталей (ящики, поддоны, кассеты и др.); технологическую оснастку и инструмент (зажимные и базирующиеся устройства, ключи и др.); организационную оснастку (устройства связи и сигнализации, планшеты для документации и др.); устройства охраны труда, бытовые и санитарно-гигиенические устройства и др.

Главным требованием при выборе основного технологического оборудования является обеспечение на рабочем месте необходимой производительности труда при соблюдении заданных параметров технологических процессов. *Оборудование должно соответствовать требованиям эргономики и эстетики*, а рабочему должны быть обеспечены комфортные и безопасные условия труда. Для повышения уровня автоматизации управления технологическими процессами основное оборудование обеспечивается микропроцессорными устройствами, активными средствами контроля, системами связи с управляющей ЭВМ и т.д.

Эргономические требования устанавливаются к тем элементам оборудования, которые связаны с человеком при выполнении им трудо-

вых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения оборудования. При создании оборудования необходимо таким образом распределять функции между человеком и системой управления машиной, предусмотреть такой уровень автоматизации технологического процесса, чтобы обеспечить высокую эффективность функционирования системы при оптимальной или допустимой степени тяжести труда работающих. При этом должны быть ограничены не только верхний (чрезмерная нагрузка), но и нижний (недостаточная нагрузка) пределы рабочих нагрузок.

Удобство выполнения трудовых действий обеспечивается конструированием элементов оборудования и организацией рабочего места в соответствии с антропометрическими особенностями человека. Рабочее место следует проектировать так, чтобы выполнение трудовых действий осуществлялось в наиболее рациональных рабочих положениях, учитывающих интенсивность физической нагрузки при работе, размеры рабочей зоны и необходимость передвижений в ней, особенности технологического процесса, в том числе требуемую точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др. При этом работа в любом положении должна выполняться в рациональных рабочих позах, вызывающих наименьшее утомление работающих.

При планировании рабочих мест должна выполняться эргономическая оценка производственного оборудования.

9.12 Эргономика станков

Эргономика охватывает большой круг вопросов. Рассмотрим основные моменты, относящиеся к проектированию оборудования: закономерности зрительного восприятия; антропометрические данные; биомеханические возможности человека.

Закономерности зрительного восприятия. Усталость глаз влияет на весь организм. Конструктор должен знать и учитывать это при проектировании станков. Для этого ему надо знать границы зрительного поля, зоны обзора и некоторые особенности зрительного восприятия. *Зрительным полем* называют пространство (измеряемое в угловых единицах), которое видит человек, когда он смотрит на неподвижную точку, находящуюся на уровне глаз (рис. 9.9).

Кроме зрительного поля конструктор должен знать и другие закономерности зрительного восприятия. Вот некоторые из них:

1. Различительная чувствительность глаза (в пределах поля зрения) резко уменьшается от центра к периферии (для горизонтальной плоскости).

2. В пределах зрительного поля границы восприятия отдельных монохроматических цветов различны. Наиболее широкие границы имеют желтый и голубой цвет; наиболее узкие – красный и зеленый.

3. При хорошем освещении и на небольшом расстоянии более четко воспринимаются черные объекты на белом фоне, при плохом освещении и на большом расстоянии – белые на черном.

4. Подвижные объекты воспринимаются периферическим зрением значительно лучше, чем неподвижные.

5. Глаз человека может воспринимать одновременно не более 5–7 отдельных объектов.

6. Горизонтальные движения глаз быстрее, чем вертикальные.

7. Вертикальные движения глаз утомительнее, чем горизонтальные.

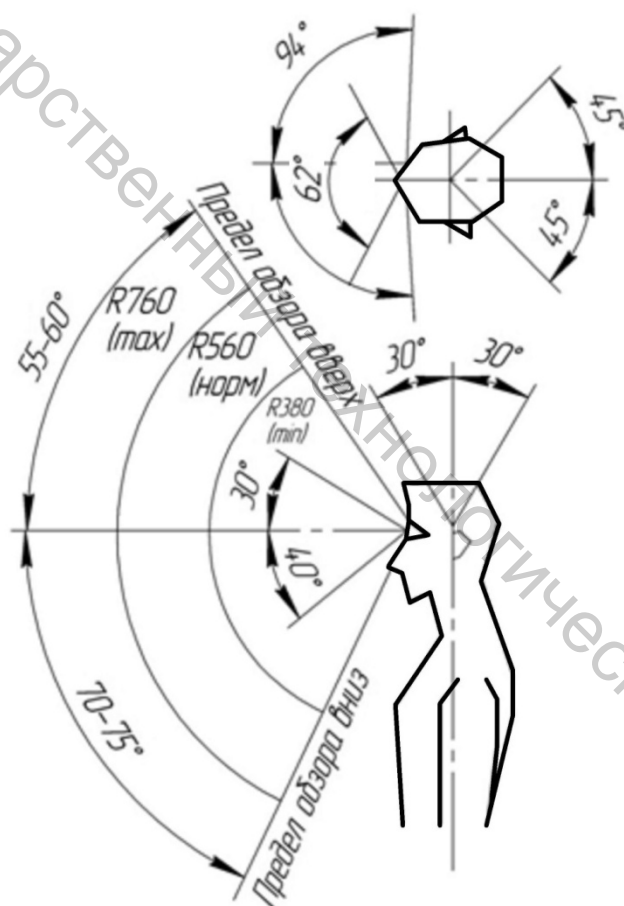


Рисунок 9.9 – оны зрительного обзора

8. Горизонтальные размеры и пропорции оцениваются взглядом точнее, чем вертикальные.

9. Прямолинейные контуры прослеживаются взглядом легче, чем криволинейные, а плавные, сопряженные переходы линий – легче, чем ломаные.

10. Зрительное утомление больше обусловлено утомлением от движения глаз, чем утомлением от светоощущения. Значит, для снижения зрительного утомления надо сокращать «маршруты» глаз в процессе их работы.

11. При быстрой смене объектов восприятия предшествующие образы оказывают влияние на последующие. Например, прямая линия кажется кривой, если на нее взглянуть после длительного и внимательного рассматривания искривленной линии и т.д.

12. Зрительные иллюзии – ошибки в оценке и сравнении длин отрезков, величин углов, форм предметов и др.

Знание их законов и умелое использование дает возможность конструктору исправить некоторые недостатки формы деталей и всего станка.

Антропометрические данные. При проектировании станков необходимо учитывать соответствующие антропометрические данные, которые включают основные размеры человеческого тела и пределы движения конечностей. Антропометрические данные населения разных стран отличаются друг от друга.

Антропометрические данные нужно использовать в совокупности с анатомо-физиологическими особенностями и биомеханическими возможностями человеческого тела, так как учет только антропометрических данных может привести к неправильным решениям.

В процессе проектирования новых и изучения существующих станков желательно провести антропометрический анализ, который дает возможность выявить недостатки компоновки отдельных узлов и расположения органов управления. Для облегчения выполнения такого анализа обычно используют модель фигуры человека (оператора) с шарнирными сочленениями, изготовленными из оргстекла. На рисунке 9.10 показана схема антропометрического анализа шлифовального станка. Данная схема показывает, что у станка органы управления расположены неудачно (рис. 9.10 а) и для управления станком требуется человек с такими примерно размерами, как показано на рисунке 9.10 б.

Биомеханические возможности человека. Движения в пределах оптимальной рабочей зоны (рис. 9.11) являются наименее утомительными, работа за ее пределами связана с дополнительным напряжением. Это необходимо учитывать при компоновке станка. Вот некоторые данные о биомеханических возможностях человека, которые надо принимать во внимание каждому конструктору:

а) рука человека двигается лучше и быстрее в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной, причем правая – против часовой стрелки, левая – по часовой;

б) там, где требуется быстрая реакция, нужно использовать движение по направлению «к себе»;

в) движения вперед и назад быстрее, чем движение в стороны;

г) движения, выполняемые одной рукой, совершаются наиболее точно и быстро под углом около 60° к направлению прямо – вперед (рис. 9.12 а) движения, выполняемые обеими руками одновременно, – быстрее под углом около 30° к прямому направлению (рис. 9.12 б) и точнее в направлении прямо – вперед (рис. 9.12 в);

д) максимальная частота движений руки (например, при сгибе) – около 80 раз в минуту, ноги – 45, корпуса – 30, частота движений пальца – 6 раз в секунду, кисти – 3;

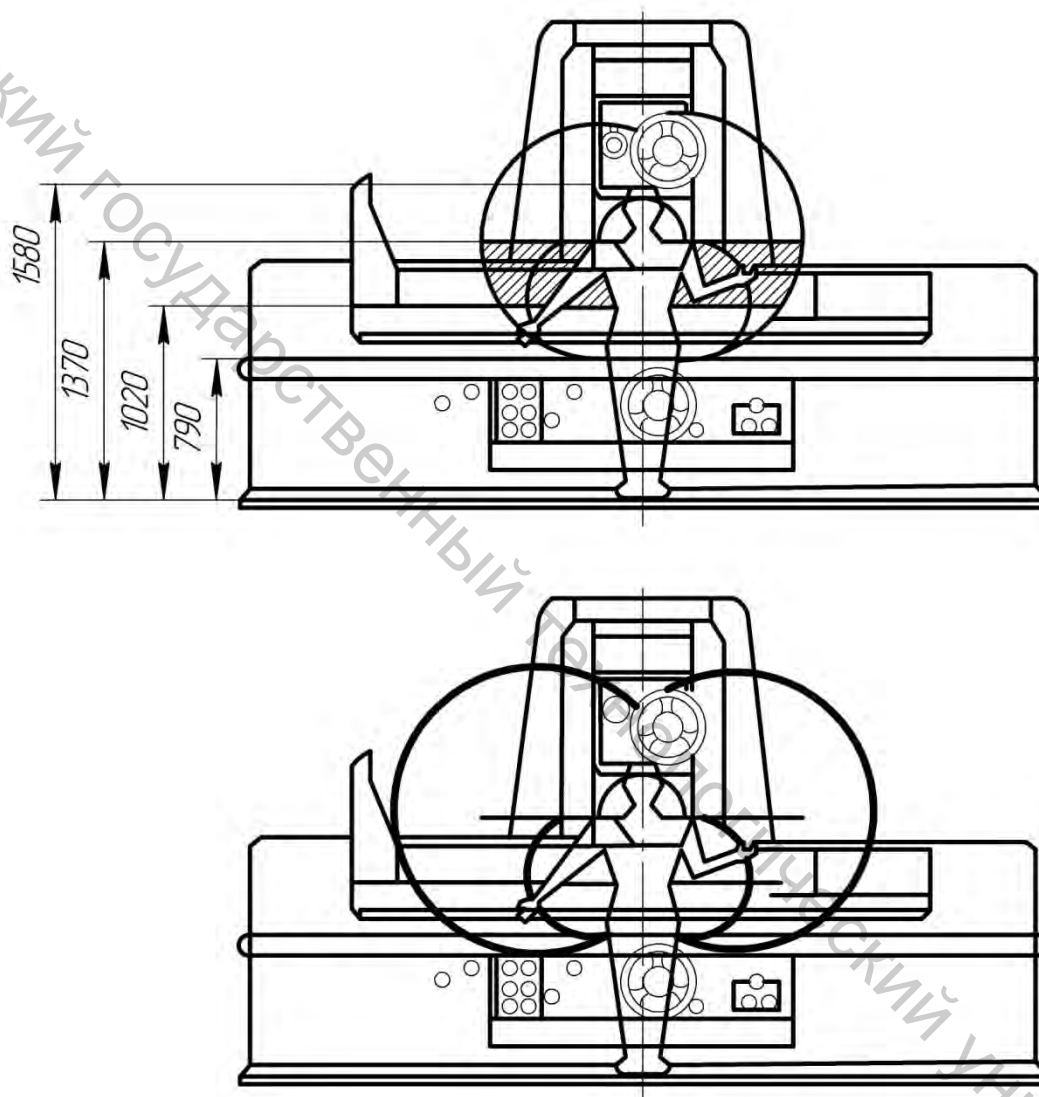


Рисунок 9.10 – Схема антропометрического анализа шлифовального станка

е) каждое движение должно заканчиваться в положении, удобном для начала следующего движения;

ж) при работе двумя руками движения должны быть симметричны и иметь противоположное направление, по возможности обе руки должны одновременно начинать и заканчивать действия;

з) мускулы меньше утомляются при динамической работе, чем при статической; статическая работа при обслуживании станка должна сокращаться до минимума;

и) время переключения органа управления должно быть минимальным;

к) движение менее утомительно, если оно направлено вниз;

л) движения рук по окружности предпочтительнее, чем прямолинейные движения;

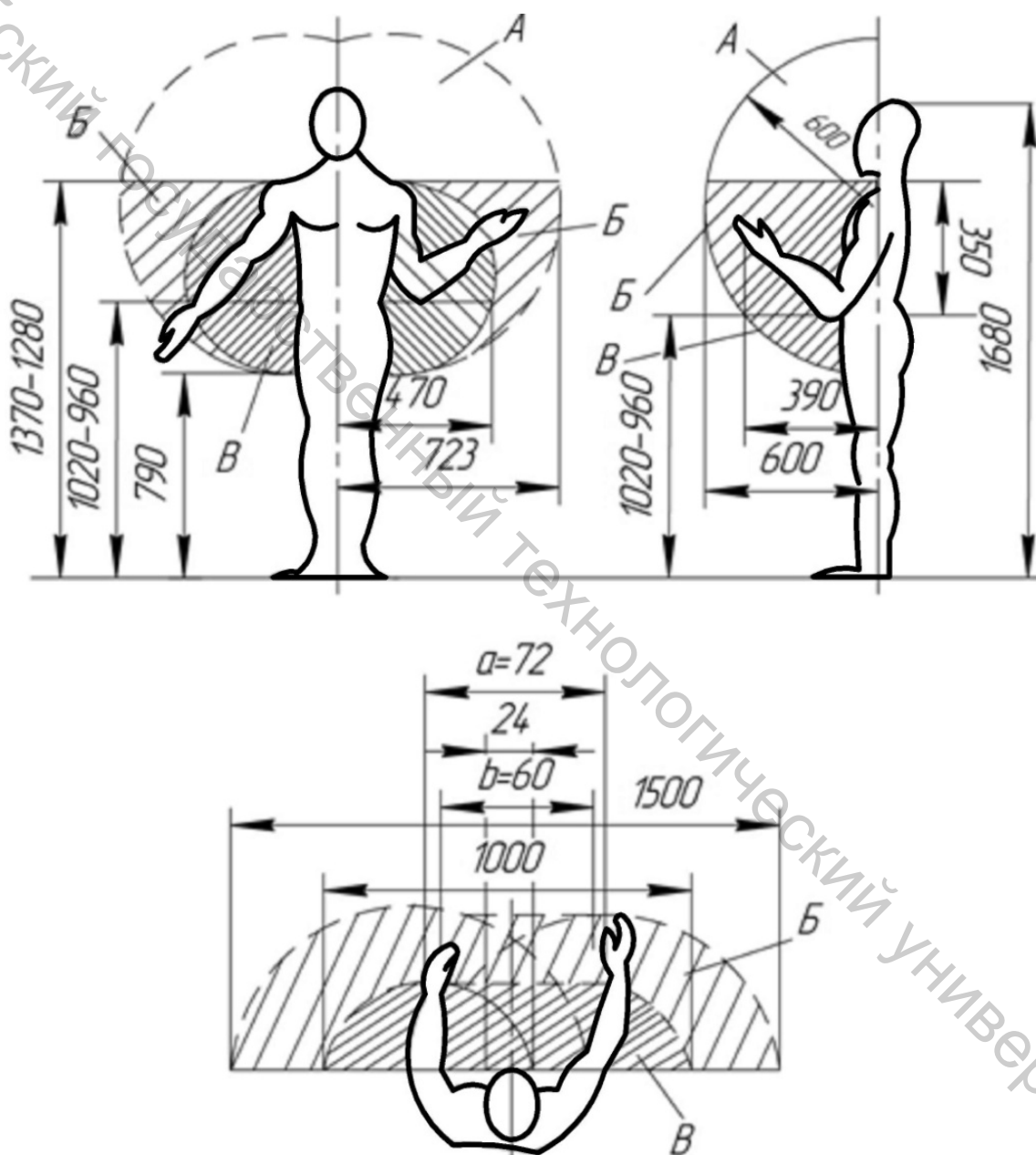


Рисунок 9.11 – Рабочие зоны:

А – рабочее пространство; Б – зона удобного размещения устройств обслуживаемых руками; В – оптимальное рабочее пространство;
а – зона, удобная для обеих рук

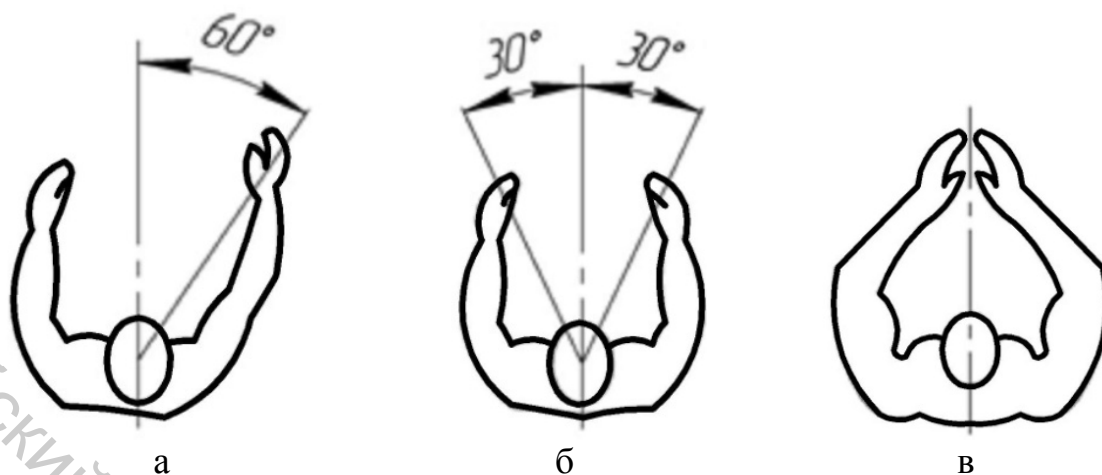


Рисунок 9.12 – Рабочие зоны рук

м) движение под прямым углом изменяется значительно быстрее, чем под тупым; плавно закругленные движения быстрее движений прямолинейных и имеющих резкое и внезапное изменение направления;

н) точные движения лучше выполнять сидя, чем стоя;

о) скорость движения «слева – направо» (для правой руки) несколько больше, чем в обратном направлении;

п) движения, ориентированные механическими устройствами, совершают быстрее, чем движения, зависящие только от визуальной оценки;

р) сила в предплечье больше при согнутой руке, чем при вытянутой.

Необходимо, чтобы:

а) напряжение органов зрения и слуха было в пределах обычных способностей человека;

б) тело находилось в наиболее естественном положении, имелась возможность смены положения при работе и возможность работы сидя;

в) органы управления создавали удобную рабочую позу, имели рациональную форму, были легкодоступными, а устройства контроля и сигнализации хорошо просматриваемыми, четкими и понятными;

г) органы управления, располагаемые близко друг от друга, различались по форме и цвету; установлено, что рука человека может различать на ощупь около восьмидесяти различных по форме рукояток;

д) взаимосвязанные органы контроля и управления были удобно расположены, а также ясно различимы по форме и цвету;

е) движения совершались в пределах поля зрения;

ж) число и сложность движений были уменьшены до минимума; движения были простыми и ритмичными;

з) усилия, которые надо приложить к органам управления, не превышали допустимых величин.

9.13 Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию тектоника.
2. На какие группы можно разделить промышленные изделия по признаку объемно-пространственного строения?
3. Как Вы понимаете понятия целостность формы, соподчиненность элементов, композиционное равновесие в художественном конструировании?
4. Приведите примеры проявления целостности технических форм при художественном конструировании станков.
5. Приведите примеры проявления равновесия в композиции при художественном конструировании станков.
6. Приведите примеры проявления симметрии и асимметрии в композиции при художественном конструировании станков.
7. Дайте определение понятиям динамичности и статичности в художественном конструировании станков.
8. Как Вы понимаете понятия пропорции, масштаб и масштабность в художественном конструировании?
9. Как Вы понимаете понятия контраст, нюанс и нюансировка в художественном конструировании?
10. Приведите примеры метрических повторов при конструировании станков.
11. Для чего в художественном конструировании станков применяются тени и пластика?
12. Какие тенденции наблюдаются при выборе цвета для окраски станков?
13. Как влияют цветовые решения на восприятие станка?
14. Какие общие тенденции характерны для организации рабочих мест станочников?
15. Как влияют на эргономику станков закономерности зрительного восприятия, антропометрические данные и биомеханические возможности человека?
16. Какие закономерности зрительного восприятия следует учитывать при конструировании станков?
17. Какие данные о биомеханических возможностях человека следует учитывать при конструировании станков?

10 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

10.1 Обработывающие центры

Задачу наибольшей централизации станочных работ решают станки с ЧПУ нового поколения, которые имеют несколько названий в технической литературе, обозначающих одно и то же: «многоцелевые станки», «многооперационные станки», «обработывающие центры» [161–168].

Многоцелевым данный станок вряд ли можно назвать, т.к. цель на самом деле одна – изготовить качественную деталь с наименьшими издержками. Неверно, называть такой станок можно и многооперационным, поскольку, согласно определению, операция – это часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Самым «удачным» представляется название *обработывающий центр (ОЦ)*, из-за наибольшей централизации всего разнообразия станочных работ в пределах одного станка.

Под ОЦ понимаются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые могут проводить комплексную механическую обработку 3-мерных заготовок при помощи различных инструментов.

В общем случае ОЦ классифицируются по виду обрабатываемых деталей, конструкции инструментального магазина, расположению шпинделей, виду стола, конструкции главного привода, характеру работы привода подачи, конструктивному исполнению механизма автоматической смены, методу крепления инструмента.

Различают две основные группы ОЦ: *токарные обработывающие центры* и *обработывающие центры фрезерно-сверлильно-расточной группы*. В основе такого деления – классификация деталей на «тела вращения» и «корпусы», поскольку их поведение в ходе изготовления на станке принципиально отличается: «тела вращения» обязательно должны вращаться, а «корпусы» – нет.

Обработывающие центры оснащаются инструментальными магазинами и устройствами для автоматической смены инструмента, что существенно повышает их производительность. На ОЦ производят черновую, получистовую и чистовую обработку заготовок, содержащих множество обрабатываемых поверхностей, а также выполняют разнообразные технологические переходы: фрезерование плоскостей, уступов, канавок, окон, колодцев; сверление, зенкерование, развёртывание, растачивание различных отверстий; специальное растачивание отверстий инструментом с тонким регулированием на размер и др.

Для осуществления всех этих операций обрабатывающему центру необходимо иметь большой запас металлорежущих инструментов.

Следующая особенность обрабатывающих центров заключается в наличии у некоторых из них рабочего стола или делительного приспособления с определённым угловым шагом деления. Поворот детали позволяет обработать её с нескольких сторон без переустановки. Иногда ОЦ оснащаются дополнительными столами (паллетами) и устройствами для автоматической смены заготовок. Смену заготовки на паллетеспутнике проводят во время работы станка (не останавливая обработку детали, которая в этот момент стоит на другой паллете), что помогает увеличить производительность.

Точность перемещений по осям в ОЦ обеспечивается с помощью сервоприводов и управляющей системы ЧПУ. В добавок к этим «встроенным функциям» станков имеются дополнительные системы измерения/калибровки как инструмента, так и детали. Применение таких контактных и бесконтактных лазерных устройств экономит время, необходимое на установку детали и её привязку к системе координат станка. Подобные системы также дают возможность контролировать износ инструмента, взаимное положение детали и инструмента, геометрию обрабатываемой поверхности, что увеличивает точность, повторяемость и качество обработки.

По причине высокой стоимости обрабатывающих центров их используют для обработки наиболее технологически сложных заготовок. В среднем один обрабатывающий центр может заменить до трёх-пяти станков с ЧПУ или пять-десять универсальных станков.

В то время, как большинство обрабатывающих центров имеет 3-мерную систему перемещения инструмента относительно детали, для обработки изделий сложной формы зачастую требуется управление режущим инструментом или деталью (столом) ещё по одной или нескольким дополнительным координатам (осям). Для таких работ предназначены 4-, 5- и 6-координатные обрабатывающие центры. Многие 3-координатные станки по заказу могут быть изготовлены в 4- или 5-координатном исполнении.

Для всех видов станков с ЧПУ применяют единую систему обозначений координат, рекомендованную ISO (рис. 10.1).

Координатами обозначают:

- положение оси вращения шпинделя (на станках с вращающимся инструментом) или оси вращения заготовки (на станках с вращающейся заготовкой), при этом направление вращения инструмента/заготовки координатой не обозначается;
- движение подачи инструмента или заготовки (прямолинейное или круговое).

Все прямолинейные перемещения рассматривают в 3-мерной Декартовой системе координат X , Y , Z . Вращение вокруг каждой из «основных» осей обозначают буквами A , B , C (A – вращение вокруг X , B – вокруг Y , C – вокруг Z). По умолчанию во всех станках положение оси Z

совпадает с осью вращения инструмента (или заготовки – на станках с вращающимися заготовками).

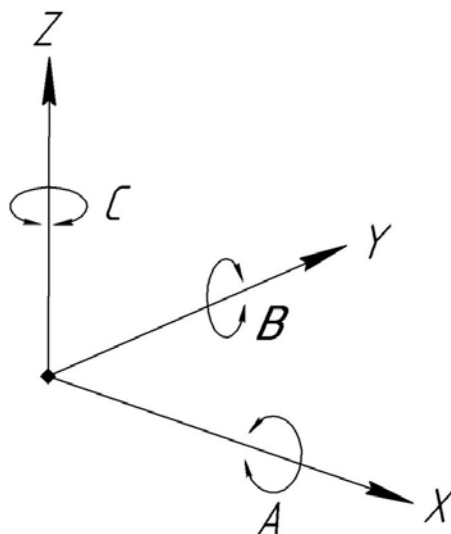


Рисунок 10.1 – Система обозначений координат, рекомендованная ISO

Кроме перемещения по основным осям X , Y , Z , возможны перемещения по параллельным, или «вторичным», осям (U , V , W) и третичным (P , Q , R) осям.

В отдельных случаях для того, чтобы на схеме расположения координат станка показать, каким образом осуществляется движение подачи – перемещением инструмента (совместно со шпиндельной бабкой, ползуном, стойкой станка и т.п.) или заготовки (совместно со столом станка) – принято следующее:

- перемещение инструмента обозначают буквами X , Y , Z и A , B , C ;
- для перемещения заготовки используют те же буквы, но со штрихом – X' , Y' , Z' и A' , B' , C' .

Например, перемещение инструмента вокруг оси X при обходе криволинейного контура обозначают A , поворот заготовки при обработке в поворотном приспособлении – A' . Соответственно, для перемещений вокруг оси Y используются обозначения B и B' , вокруг оси Z – C и C' .

Токарные обрабатывающие центры (ТОЦ) наиболее эффективны при выполнении токарных, сверлильных и фрезерных работ над заготовкой круглого сечения (прутками, трубами) для изготовления сложных деталей типа «тела вращения» малых и средних размеров.

При этом доля сверлильных и фрезерных работ должна составлять не более 20 % от общего объема станочных работ.

Рассмотрим основные конструктивные и технологические особенности ТОЦ.

На станке имеются два шпинделя с возможностью синхронного вращения и позиционирования (рис. 10.2).

Главный шпиндель расположен в неподвижной шпиндельной бабке, а контршпиндель – в подвижном механизме задней бабки или в револьверной головке (РГ). На каждом шпинделе смонтирован самоцентрирующий патрон для установки заготовки.

В связи с этим появляется возможность:

- а) автоматической переустановки заготовки из одного патрона в другой;
- б) двухстороннего закрепления заготовки в двух патронах;
- в) одновременного изготовления двух коротких деталей, расположенных в разных патронах, при наличии 2 и более РГ (рис. 10.3).

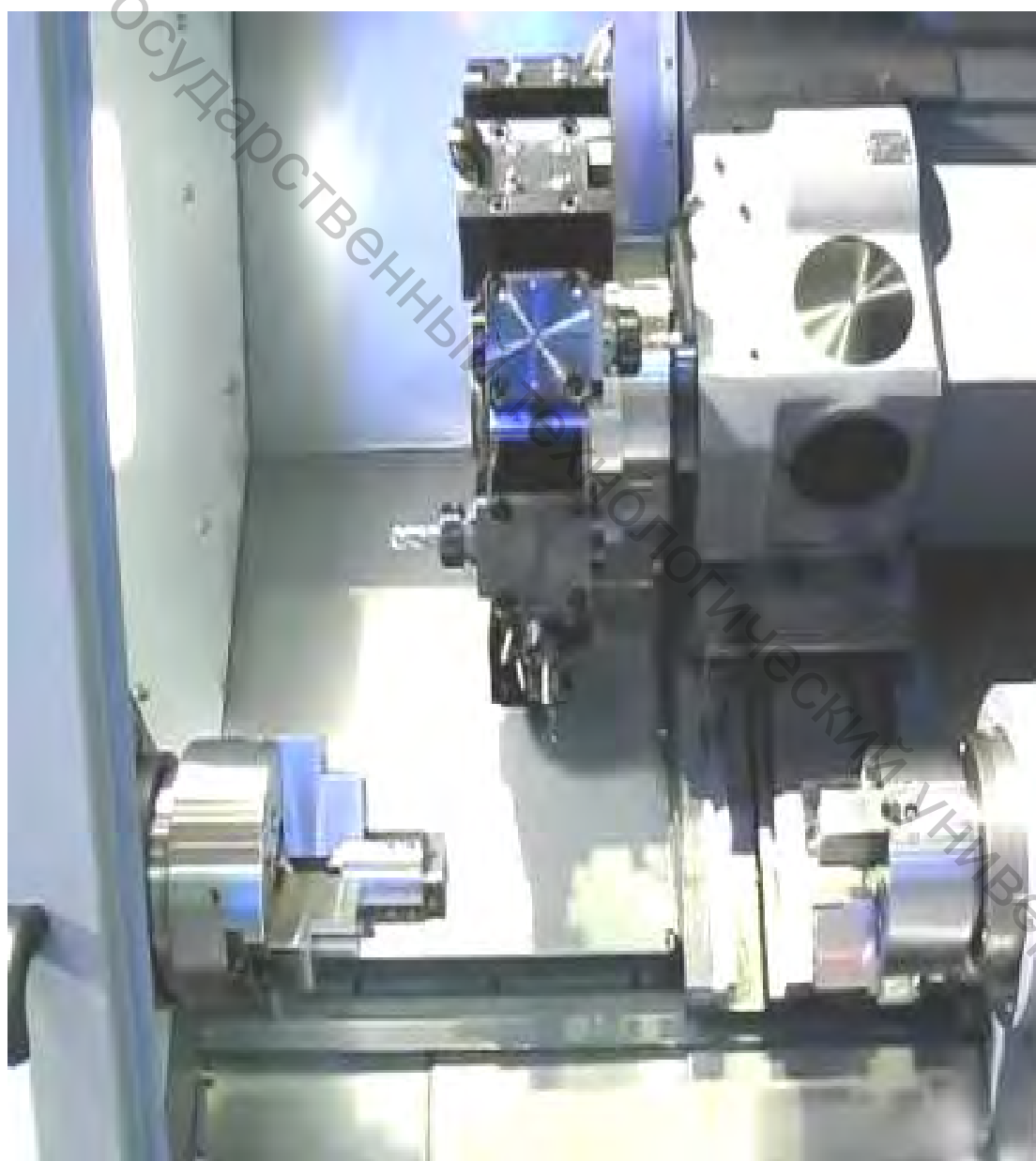


Рисунок 10.2 – Рабочая зона токарного ОЦ с двумя шпинделями

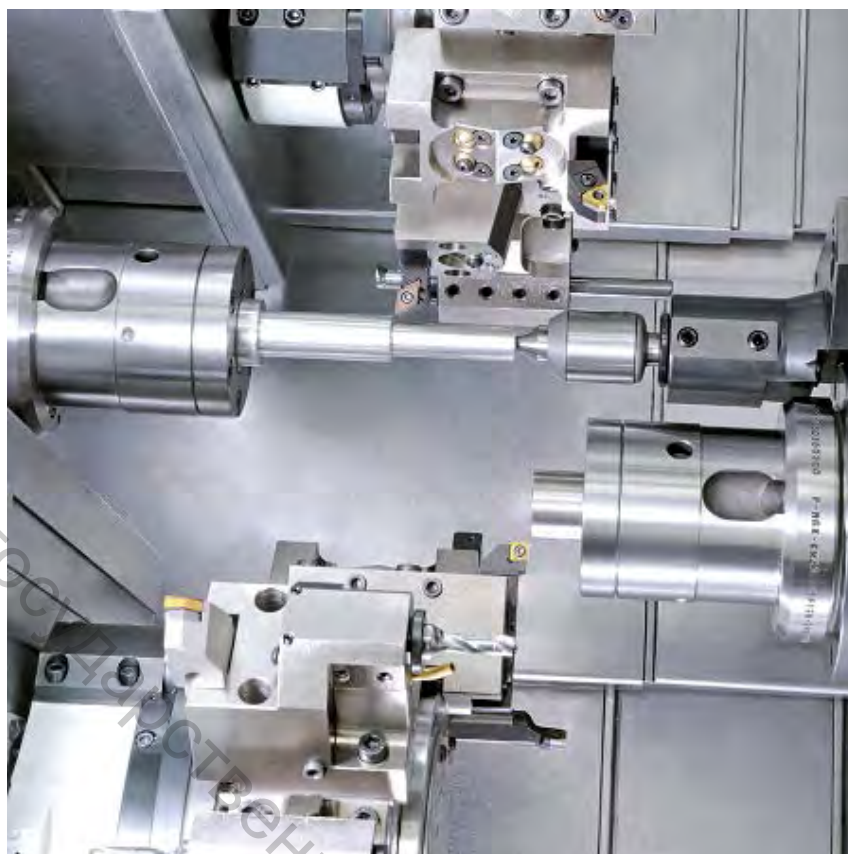


Рисунок 10.3 – Одновременная обработка двух деталей

Основными инструментоносителями являются одна, две или три РГ. Как правило, половина гнезд в каждой из них являются приводными, т.е. вращают установленный в них инструмент при фрезеровании, сверлении и т.д. (рис. 10.4).

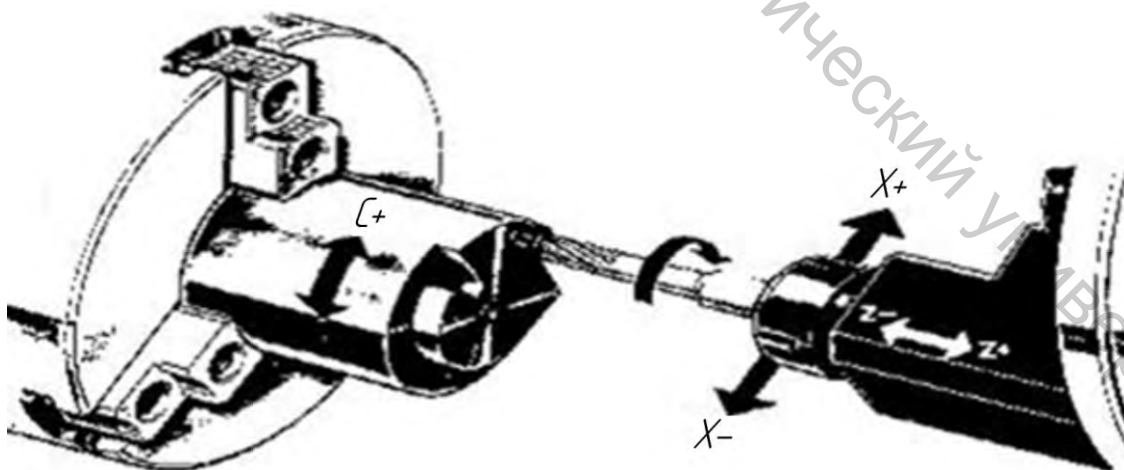


Рисунок 10.4 – Пример получения криволинейной поверхности на торце заготовки за счёт одновременного перемещения вращающейся концевой фрезы (по X, Z) и поворота заготовки (по C)

Существуют компоновки обрабатывающих центров, в которых возможна обработка под углом (рис. 10.5).

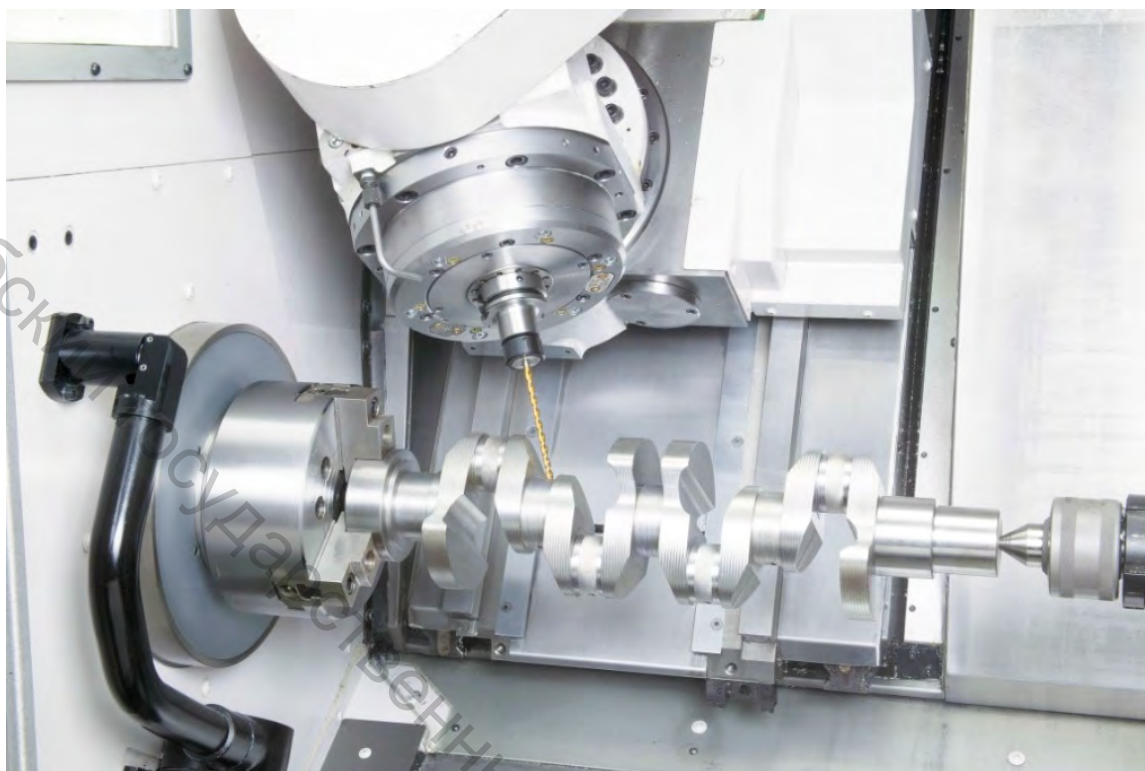


Рисунок 10.5 – Дополнительная координата инструмента токарного ОЦ

Возможна одновременная обработка заготовки двумя инструментами, расположенными в разных РГ.

Кинематика станка обеспечивает следующие сочетания движений во время обработки (рис. 10.4–10.7): «вращается заготовка – вращается и поступательно движется инструмент»; «вращается заготовка – инструмент не вращается, но поступательно движется»; «заготовка не вращается – вращается и поступательно движется инструмент»; «заготовка поворачивается – вращается и поступательно движется инструмент» (рис. 10.4).

Рабочая поверхность станины с направляющими расположена не в горизонтальной плоскости, как на традиционных станках, а под углом 60° . Это улучшает удаление стружки и охлаждающей жидкости, и делает наглядным процесс обработки.

Рабочая зона станка изолирована от оператора защитным ограждением кабинетного типа, повышая тем самым комфортность работы человека.

ОЦ фрезерно-сверлильно-расточной (ФСР) группы предназначены для централизованного и окончательного изготовления сложных деталей типа «корпус».

В основе компоновки станков – один шпиндель и два варианта его расположения: или вертикальное, или горизонтальное. При вертикальном положении шпинделя рабочий стол станка перемещается по двум прямоугольным координатам в горизонтальной плоскости, а шпиндельная бабка имеет вертикальное перемещение. Такая компоновка предпочтительна для изготовления деталей с односторонней доступностью обрабатываемых поверхностей.

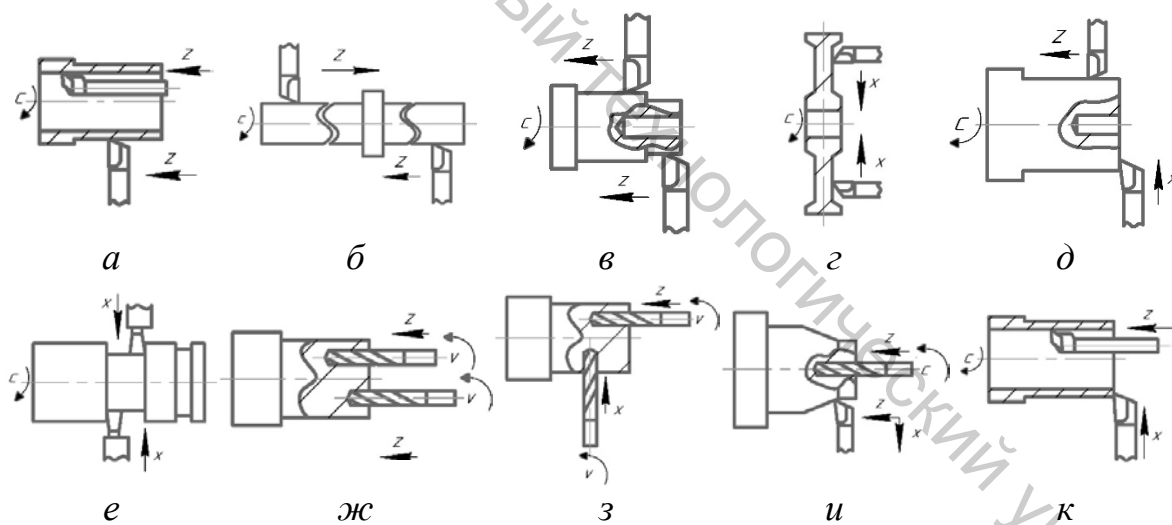


Рисунок 10.6 – Примеры одновременных работ инструментами разных револьверных головок:

а – обтачивание и растачивание, б – обтачивание в противоположных направлениях, в – обтачивание в одном направлении, г – обработка торцов, д – обтачивание и подрезка торца, е – точение канавок и пазов с радиальной подачей, ж – продольная обработка двумя осевыми инструментами, з – продольная и поперечная обработка двумя осевыми инструментами, и – продольная обработка осевым инструментом и обтачивание, к – растачивание и подрезка торца

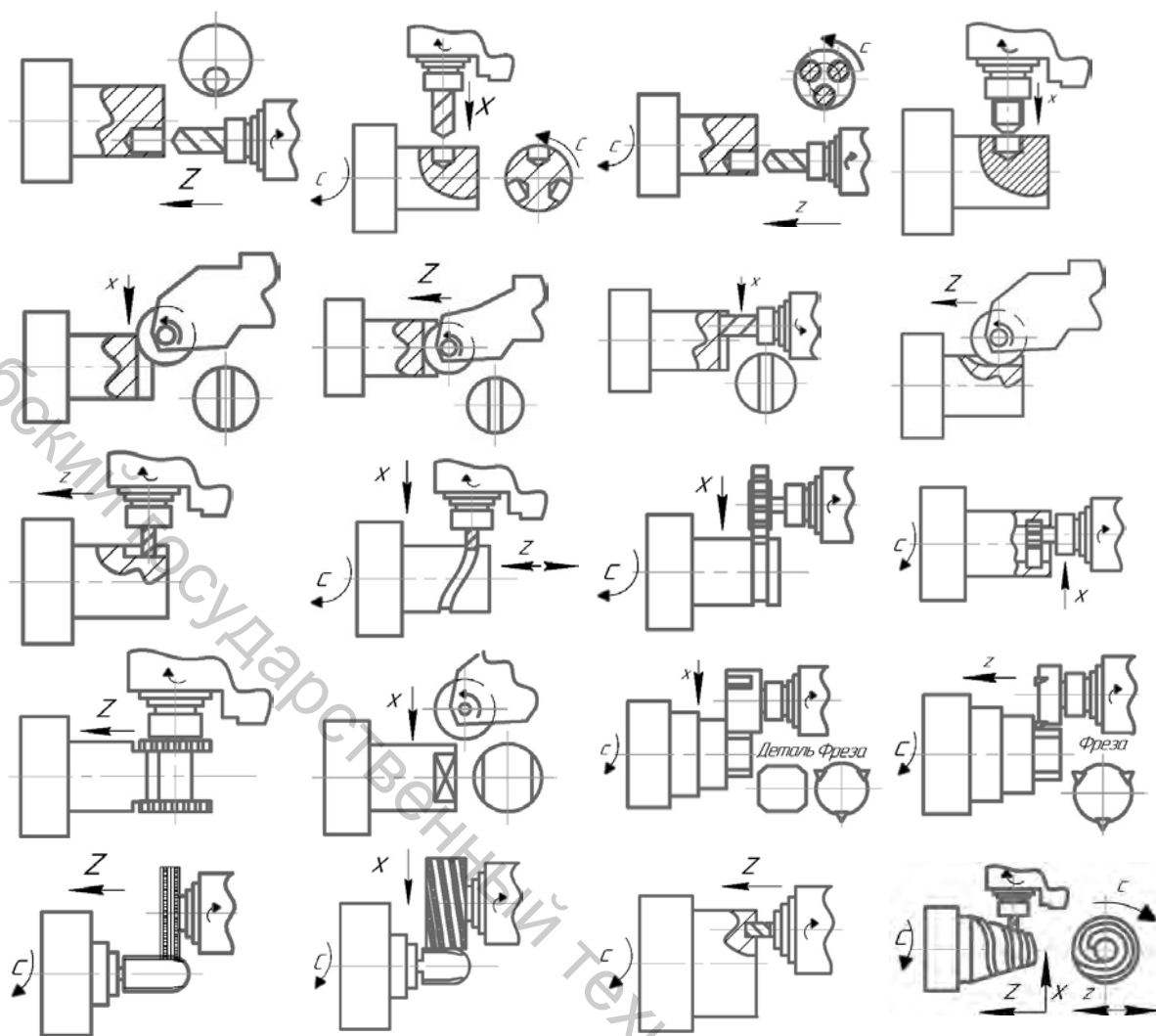


Рисунок 10.7 – Примеры станочных работ, выполняемых вращающимся инструментом

При необходимости обработки с разных сторон на столе станка устанавливаются переналаживаемые многопозиционные приспособления, в том числе поворотные. Однако необходимо отметить, что поворотные приспособления, расширяя возможности станка, понижают жёсткость системы и занимают значительную часть рабочей зоны станка.

В ОЦ заложена возможность одновременного размещения большого числа (до 200 единиц) разнообразных по конструкции (расточных головок, фрез, свёрл и т.п.) и по назначению (режущих и контрольно-измерительных) инструментов. Инструменты размещаются в инструментальных магазинах поворотного, цепного и стеллажного типов. Иногда применяются комбинированные накопители инструментов, обычно инструментальный магазин применяется в сочетании с револьверной головкой (см. главу 3).

На ОЦ ФСР группы предусмотрена автоматическая смена инструментов (рис. 10.8, см. главу 4).



Рисунок 10.8 – Автооператор с двумя захватами для смены инструмента

Основными станочными приспособлениями, в которых устанавливаются заготовки, являются простые универсально-сборные перенастраиваемые приспособления (УСП), применяемые взамен малопроизводительных универсальных и дорогих специальных приспособлений.

Предусмотрена возможность автоматической смены столов-спутников (т.н. палет) с приспособлениями и заготовками, настраиваемых на станке в начале операции и во время её выполнения.

К основным переходам, выполняемым на ОЦ ФСР группы, относятся:

- торцовое фрезерование плоскостей и бобышек;
- контурное торцовое фрезерование плоскости;
- фрезерование плоских пазов и уступов концевыми и дисковыми фрезами;
- контурное боковое фрезерование криволинейных поверхностей;
- планетарное фрезерование отверстий концевыми фрезами;
- планетарное фрезерование круговых пазов в отверстиях дисковыми фрезами;
- сверление, зенкерование, развертывание любого числа отверстий различной глубины;
- нарезание резьб метчиками;
- нарезание резьб гребёночатыми фрезами;
- растачивание отверстий;
- растачивание канавок.

Требования, предъявляемые к режущему и вспомогательному инструменту, аналогичны требованиям, предъявляемым к инструменту для традиционных станков с ЧПУ. Однако следует отметить, что комплект режущего и вспомогательного инструмента для ОЦ СФР имеет расширенную номенклатуру.

Вертикальные ОЦ ФСР группы – наиболее распространенный тип обрабатывающих центров. Более высокая производительность неразрывно связана с высокой скоростью обработки и, как следствие, нагревом и зоны обработки детали, и самого инструмента. Для отвода тепла в вертикально-фрезерных обрабатывающих центрах охлаждающая жидкость поступает к месту обработки по внешним гибким каналам, либо подается в зону резания сквозь шпиндель. В последнем случае охлаждение группы шпиндель-инструмент-деталь является более эффективным, что позволяет увеличить скорость и точность обработки.

В отличие от фрезерных станков, имеющих колонну с фиксированным на ней шпинделем, у вертикальных обрабатывающих центров не стол, а шпиндель ходит вертикально по направляющим колонны (ось Z), а направляющие стола (оси X и Y) опираются непосредственно на станину, стоящую на фундаменте (рис. 10.9). Такая конструкция вертикальных обрабатывающих центров обеспечивает им более высокую жесткость и точность обработки по сравнению с их предшественниками – фрезерными станками консольного типа. Это преимущество позволяет обрабатывать детали большей массы и размеров.

Автоматические сменщики инструмента в вертикальных обрабатывающих центрах, как правило, имеют до 24–30 позиций. Связано это с тем, что увеличение диаметра барабана сменщика ограничено глубиной станка. Применение сменщиков инструмента цепного (ленточного, гусеничного) типа в горизонтальных обрабатывающих центрах этого ограничения позволяет избежать.

Опционально вертикальные обрабатывающие центры могут дооснащаться поворотными или поворотно-наклоняемыми столами, применение которых превращает 3-координатные в 4- или 5-координатные обрабатывающие центры (см. главу 4). Однако такое решение подходит для небольших деталей, поскольку поперечные размеры «накладного» стола заметно меньше, чем у штатного. При использовании дополнительного стола (делительного приспособления) ход по вертикальной оси тоже уменьшается: примерно на расстояние между «накладной» плоскостью и плоскостью «родного» рабочего стола.

В некоторых случаях из-за конструктивно-прочностных особенностей деталей, особенностей их обработки, а также необходимости отвода охлаждающей жидкости и стружки из зоны резания, более целесообразным является применение *горизонтальных обрабатывающих центров*: для таких задач горизонтальное расположение шпинделя является более удобным, а иногда без него просто не обойтись.

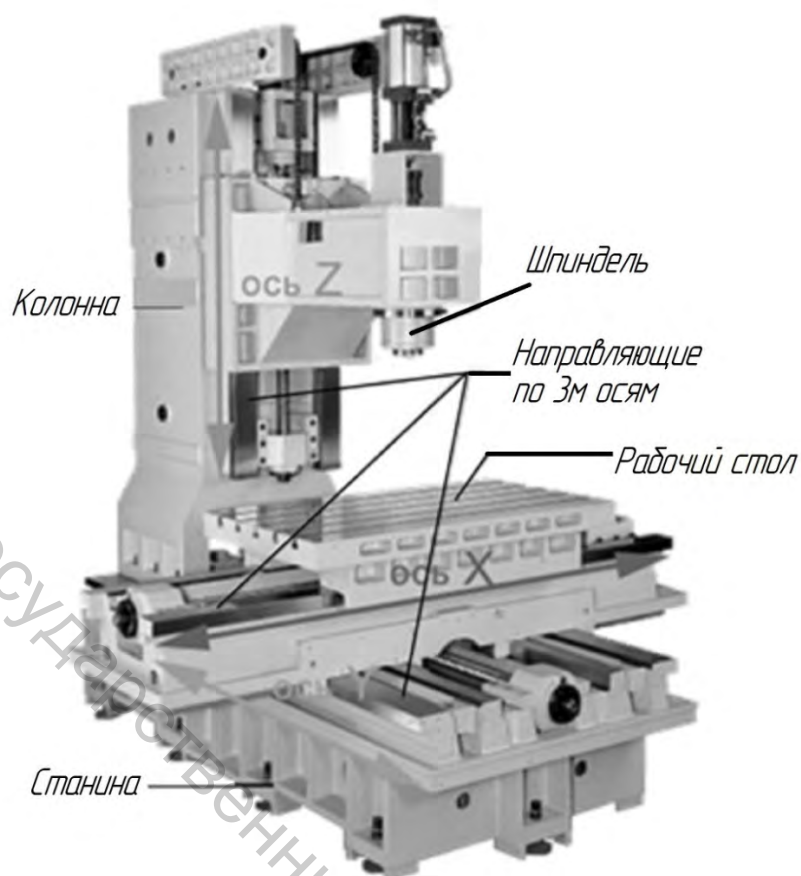


Рисунок 10.9 – Компонировка вертикального ОЦ ФСР группы

По сравнению с вертикальными, горизонтальные обрабатывающие центры имеют три базовых преимущества:

- первое – горизонтальное расположение шпинделя, благодаря чему стружка не скапливается в больших количествах в зоне обработки. Горизонтальные шпиндели выполняют по более жёсткой схеме, с системой противодействия вибрациям (например, пневматической);

- вторым преимуществом является двухпаллетное исполнение рабочего стола в сочетании с 4-й координатой: вращением в горизонтальной плоскости (ось «В») с шагом 1° или $0,001^\circ$. Наличие второй паллеты позволяет сэкономить время на снятии и установке заготовок, что особенно выгодно при массовом производстве, а поворот стола – обработать все боковые стороны детали;

- третье преимущество обусловлено горизонтальным расположением инструмента и возможностью реализации сменщика инструмента в виде «гусеничной» конструкции.

Если используется более 2-гусеничных колес – «гусеница» может иметь сложную форму, что позволяет в малом объёме разместить большое количество инструмента: 40, 90 и даже 120 позиций (рис. 10.10).

Детали сложной формы требуют обработки, при которой инструмент должен одновременно описывать траекторию в трёх Декартовых

измерениях в сочетании с наклоном инструмента и доворотом детали (т.е. ещё по двум «круговым» осям). Для этого у различных 5-координатных станков может быть использована пара $A+B$ или $B+C$ (рис. 10.11 и 10.12) круговых осей. Такие задачи решаются с помощью 5-координатных обрабатывающих центров.

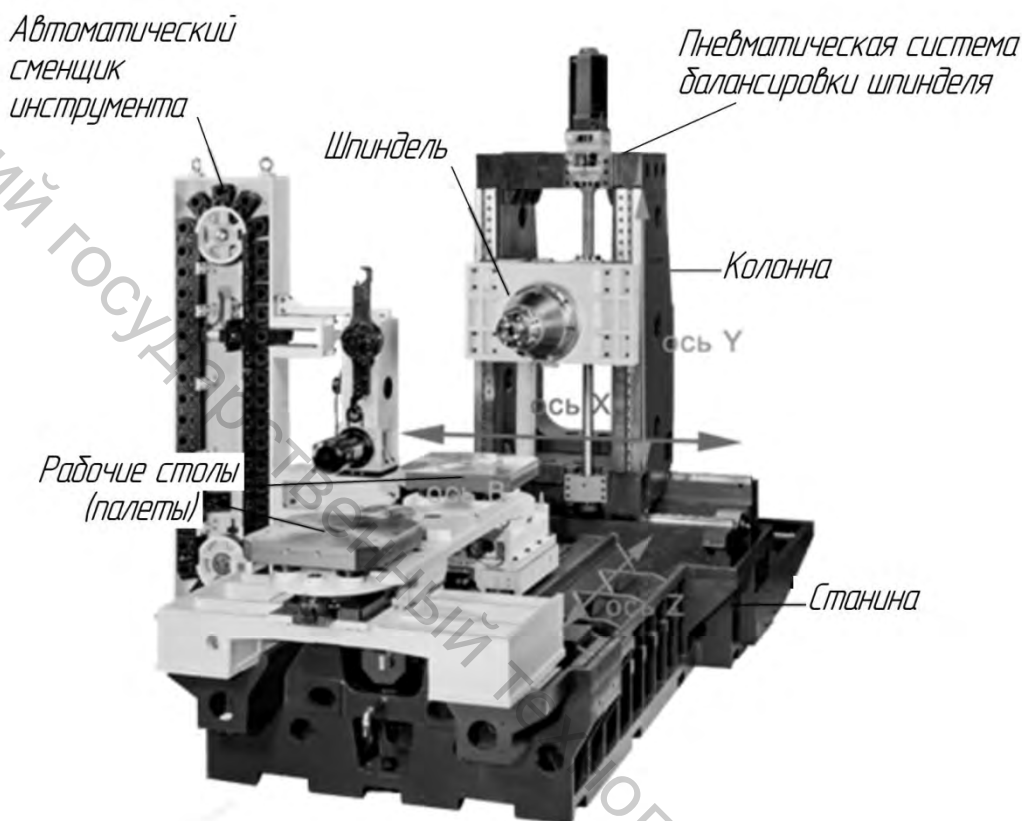


Рисунок 10.10 – Пример компоновки горизонтального ОЦ ФСР группы

Применение 5-координатных обрабатывающих фрезерных центров имеет ряд преимуществ перед описанными в предыдущих разделах «классическими» 3-осевыми обрабатывающими центрами с вертикальным или горизонтальным направлением оси вращения шпинделя. Появление двух дополнительных осей (наклона шпинделя влево-вправо) и вращения детали вокруг горизонтальной (на манер токарного станка) или вертикальной (на манер токарно-карусельного станка) осей даёт возможность обрабатывать детали сложных профилей за один установ, экономя время обработки при гарантированной точности. Ведь любое перезакрепление (установ) заготовки на рабочем столе требует времени, а также вносит дополнительную погрешность. Кроме того, 5 координат дают возможность обрабатывающим центрам создавать более сложные в математическом смысле газо- и гидродинамические поверхности: лопасти и крыльчатки пропеллеров, роторов и т.п.

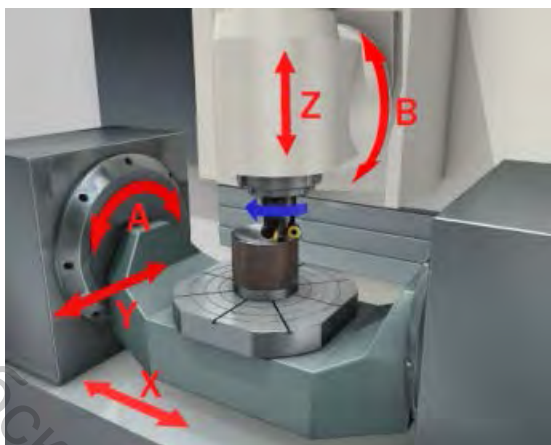


Рисунок 10.11 – Рабочие зоны 5-координатных станков с парой координат A+B

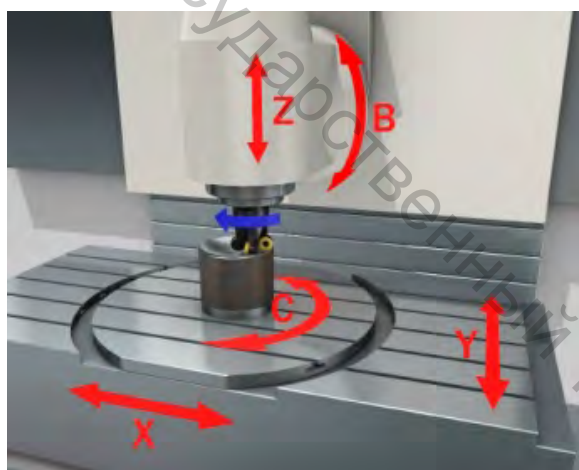


Рисунок 10.12 – Рабочие зоны 5-координатных станков с парой B+C

В целом, 5-координатные фрезерные обрабатывающие центры обладают следующими преимуществами по сравнению с 3-координатными:

- становится возможным изготавливать канавки и другие углубления более сложной конфигурации, гарантировать точность внутреннего профиля;
- появляется возможность использования более коротких фрез и обеспечивается более высокая точность обработки при высокой скорости резания;
- исключается погрешность базирования детали в приспособлении, что особенно важно для отверстий с произвольными углами, включая большие диаметры (в настоящее время с появлением износостойких материалов фрез большие отверстия стало эффективнее расфрезеровать, чем растачивать на расточных станках);
- отсутствие переустановок сокращает время обработки и исключает вероятность появления брака по вине оператора;

– снижается нагрузка на станок, износ инструмента, а также повышается качество обработки поверхности вследствие более рациональной, чем у 3-осевых обрабатывающих центров, ориентации оси вращения инструмента по отношению к поверхности детали и траектории движения фрезы.

Все эти преимущества проявляются в неразрывной связи с цифровой системой управления 5-координатными обрабатывающими центрами (ЧПУ) и с применением компьютерных программ, называемых САМ-системами, предназначенных для подготовки и предварительной проработки исполняемых программ. САМ-системы обеспечивают расчёт траектории движения инструмента, её оптимизацию для увеличения скорости обработки и снижения нагрузки на станок/деталь/инструмент. Предварительный расчёт траекторий движения позволяет исключить соударения между фрезой (шпинделем), деталью и элементами станка во время обработки, визуализировать процесс обработки на мониторе и с помощью компьютерного моделирования достигать специфических целей в обработке отдельных участков детали.

При выборе модели обрабатывающего центра следует полагаться на свои инженерные знания и опыт работы. Необходимо особенно обратить внимание на следующие характеристики станков:

Размер рабочей зоны позволяет определить габариты обрабатываемой заготовки. Для изготовления мелких деталей не нужен большой ОЦ. Достаточно малогабаритной модели с таким рабочим столом, чтобы его размер превышал размер обрабатываемой заготовки ровно настолько, сколько нужно для ее удобного закрепления. Если же стол вакуумный, то можно обойтись и без этого запаса.

Высота рабочего портала – это расстояние между кромкой инструмента и плоскостью рабочего стола. Немаловажен и диапазон хода шпинделя. Чем больше будут эти параметры, тем шире спектр размеров заготовок и, как следствие, готовых изделий.

Возможность реализации необходимого качественного и количественного состава переходов обработки заготовки. Для этого перед выбором станка необходимо проанализировать конструкторскую информацию, определить обрабатываемые конструктивные элементы и назначить список переходов обработки конструктивных элементов

Комплектация. ОЦ даже одной модели могут различаться техническими характеристиками:

- мощность привода, от нее зависит максимальная масса детали;
- ход шпинделя;
- тип сменщика режущего инструмента, от этого зависит спектр выполняемых операций;
- тип рабочего стола;
- тип электрического двигателя.

Управление станком. Этот параметр определяет производительность:

- работа под непосредственным управлением ПК целесообразна при несерийном производстве единичных деталей. В этом случае в программу компьютера вносятся все необходимые для изготовления детали режимы – скорость подачи, чистота вращения и прочее;

- если производство изделий массовое, то нет нужды в изменении параметров рабочей программы. Для этого обрабатывающий центр должен быть оснащен специальными контроллерами. Для загрузки технологической информации используется флеш-накопитель памяти;

- самые совершенные системы управления предоставляют возможность изменения рабочих параметров в автоматическом режиме.

Характеристики работы шпинделя. Это:

- скорость вращения;
- плавность остановки, скорость разгона;
- уровень шума;
- мощность электрического двигателя привода;
- возможность замены инструмента в автоматическом режиме.

Охлаждение. ОЦ с водяным охлаждением менее шумные и стоят дешевле. Для серийного производства на промышленных предприятиях используются ОЦ с воздушным охлаждением.

Параметры станины. Чем более она массивна, тем лучше будет гаситься вибрация. Для крупносерийного производства выбирайте станок с литой станиной. Для производства небольшого количества деталей подойдет станок на цельносварной раме.

10.2 Станки-комплексы с лазерной и механической обработкой

Одним из самых быстроразвивающихся направлений производственных процессов на данный момент является обработка материалов с применением направленного излучения лазера. В силу универсальности она находит применение в машиностроении, автомобилестроении, авиации и судостроении, других отраслях промышленности, а также на рынке медицины и телекоммуникаций. Замена традиционных технологий на лазерные в некоторых случаях позволяет существенно сократить цикл выпуска продукта. Этот факт объясняет расширение области применения лазера и лазерных технологий (ЛТ) по отраслям [169–170].

Стандартным техническим решением при реализации той или иной лазерной технологии является применение так называемых лазерных технологических комплексов (ЛТК). Стандартный ЛТК включает

в себя источник лазерного излучения, координатную систему, систему ЧПУ и технологическую головку.

Мировым трендом промышленного оборудования является расширение технологических возможностей стандартного металлообрабатывающего оборудования за счет введения в зону обработки дополнительного инструмента.

Мировым лидером в создании такого гибридного станочного оборудования является компания DMG MORI. Ее линейка станков серий Ultrasonic и Lasertec позволяет наряду с традиционной механической обработкой в рабочей зоне станка выполнять операции ультразвуковой или лазерной обработки (рис. 10.13).

Такое оборудование зачастую позволяет выполнять законченный цикл при изготовлении детали. К примеру, он может включать:

- лазерное прямое выращивание заготовки детали;
- механическую черновую обработку;
- механическую чистовую обработку;
- получение высокоточных отверстий, резьбовых соединений;
- лазерное упрочнение отдельных элементов детали;
- лазерную маркировку детали.

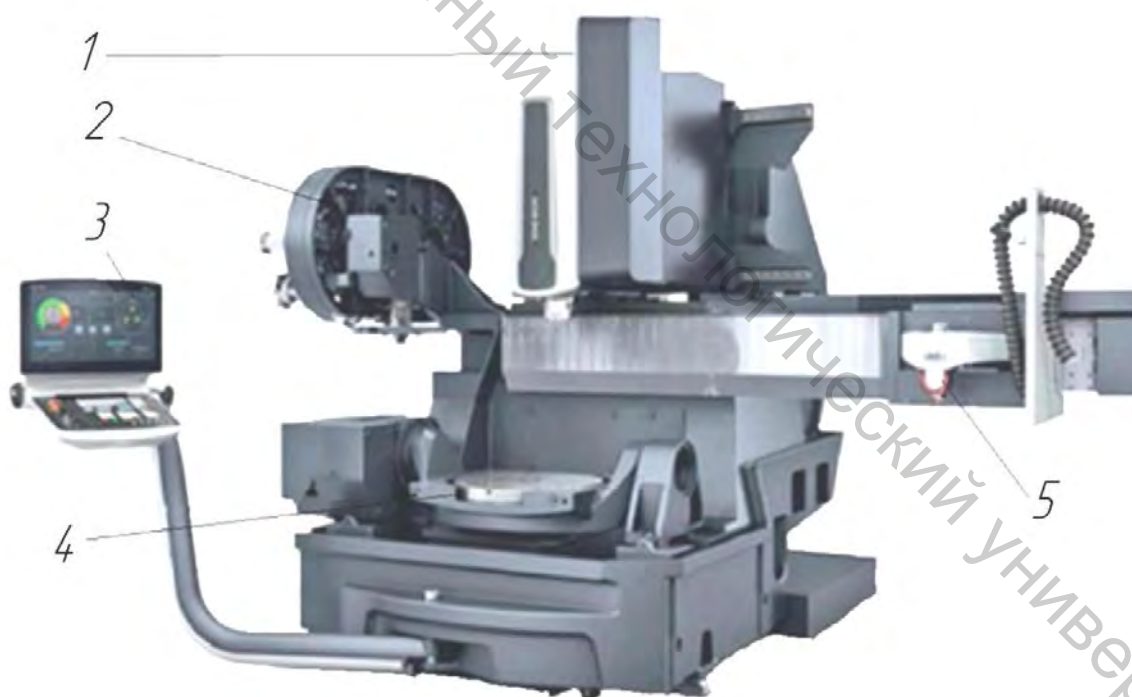


Рисунок 10.13 – Общая схема гибридного станка Lasertec 65D:
1 – шпиндельный узел; 2 – инструментальный магазин; 3 – стойка ЧПУ;
4 – координатная система; 5 – лазерный модуль

Схема традиционного цикла в таком исполнении показана на рисунке 10.14.

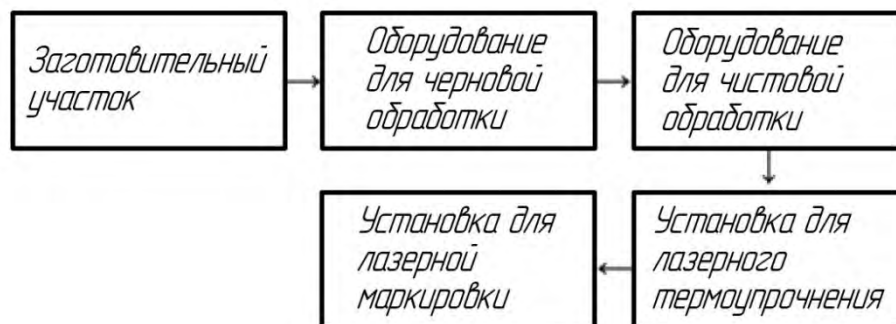


Рисунок 10.14 – Схема традиционного производственного цикла при изготовлении детали

Гибридный производственный цикл исключает из технологического процесса заготовительную операцию в традиционном исполнении (различные виды литья, прокат, штамповку и др.).

Заготовка может представлять собой практически конечную деталь за исключением нескольких обрабатываемых поверхностей, но, в отличие от заготовок, получаемых литьем, гораздо сложнее по форме. Примером такой детали может послужить авиационный кронштейн, разработанный с применением современных инженерных пакетов при оптимизации массы детали (рис. 10.15).



Рисунок 10.15 – Вариант авиационного кронштейна

Ввиду совмещения в одном оборудовании нескольких функций отпадает необходимость приобретения отдельных единиц оборудования. *Экономические выгоды для предприятия очевидны:* отсутствие необходимости приобретения дополнительной единицы лазерного оборудования; сокращение производственных площадей; сокращение рабочего персонала; сокращение затрат на логистику.

Технологическая цепочка от получения заготовки до ее маркировки замыкается на одном рабочем месте. С точки зрения технологии машиностроения выполняется единство конструкторской и технологической базы в процессе всей технологической цепочки.

С учетом того, что базирование заготовки при ее лазерном прямом выращивании происходит относительно рабочего инструмента, погрешность базирования равна нулю. С учетом сплавления материала при получении заготовки погрешность закрепления равна нулю ввиду отсутствия зажимной оснастки. Погрешность положения заготовки также равна нулю. Мы получаем идеальный вариант технологического процесса, при котором заготовка в процессе перехода от одной операции к другой не накапливает погрешности. Для точного машиностроения, приборостроения это является очень важным преимуществом.

Но наряду с преимуществами такое оборудование обладает и недостатками. В первую очередь, это высокая стоимость (стоимость станка серии Lasertec доходит до миллиона евро и выше). Также к числу технических недостатков можно отнести: ограничение габаритных размеров рабочего стола; ограничение технологических возможностей лазерной обработки.

Следующим логическим шагом в развитии данной тематики является переход от совмещения ЛТК и металлообрабатывающего станка к разработке специальных лазерных модулей. Такой модуль может быть установлен в инструментальную систему станка ЧПУ и будет работать как отдельная единица инструмента. Это позволиткратно снизить конечную (потребительскую) стоимость технологий лазерной обработки за счет исключения дублирующих элементов станочных систем, синтеза структурно-компоновочных решений. Рабочие позиции ЛТК формируются из единой компонентной и информационной базы узлов современных станков с ЧПУ, включая системы перемещений по координатным осям, инструментальные системы, системы технологического оснащения. При этом разработка различных технологий лазерной обработки будет осуществляться на базе существующих разработок и исследований по данным тематикам.

10.3 Гибкие производственные системы

10.3.1 Основные понятия

Стремление повысить эффективность многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства привело к пониманию того, что в современных многономенклатурных технологических комплексах должны обеспечиваться интенсификация и автоматизация технологических операций, компьютеризация технологического процесса и их согласование с операциями транспортирования, складирования и управления. Это привело к появлению новых принципов организации и управления технологическими процессами, которые называются гибкими производственными системами (рис. 10.16).

Гибкие производственные системы (ГПС) в машино- и приборостроительных отраслях промышленности начали создаваться с 80-х гг. XX в. Основой появления ГПС явилось создание: оборудования с числовым программным управлением (в ряде случаев обслуживаемого роботами, манипуляторами и другими устройствами, обеспечивающими автоматизацию вспомогательных и установочных операций); устройств автоматического хранения, поиска, транспортирования и установки изделий, использующих компьютерную технику управления; надежной и дешевой компьютерной техники [171–176].



Рисунок 10.16 – Гибкая производственная система

Главными компонентами ГПС являются гибкий производственный модуль (ГПМ), автоматическая транспортно-складская система (АТСС) и автоматизированная система управления.

Организационная структура гибкого производства делится на четыре уровня: гибкий производственный модуль (ГПМ), гибкий автоматизированный участок (ГАУ), гибкий автоматизированный цех (ГАЦ), гибкий автоматизированный завод (ГАЗ).

Гибкий производственный модуль (ГПМ) – единица технологического оборудования (один или несколько объединенных одной задачей станков), автоматически осуществляющая технологические операции в пределах ее технических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или гибких производственных ячеек.

Автоматизация ГПМ осуществляется:

- с помощью устройств ЧПУ для автоматизации последовательности действий рабочих органов технологического оборудования,

включая смену заготовок, изделий, инструмента, подачу СОЖ, удаление отходов и переналадку;

- устройствами адаптивного управления для автоматизации регулирования параметров технологического процесса при изменении условий его выполнения;

- устройствами контроля и измерения во время или после операции для автоматизации подналадки оборудования;

- устройствами диагностики оборудования для автоматизации выявления и устранения неисправностей.

Гибкий производственный модуль как элемент ГПС является ее основой. В зависимости от методов обработки, формообразования, сборки и контроля различным будет и оборудование, входящее в ГПМ.

Гибкий автоматизированный участок (ГАУ), гибкая автоматизированная линия (ГАЛ), являющиеся совокупностью ГПМ, объединенных автоматизированной системой управления и работающих по технологическому маршруту с возможностью изменения последовательности работы станков.

Гибкий автоматизированный цех (ГАЦ) – гибкая производственная система, представляющая собой в различных сочетаниях совокупность гибких автоматизированных линий, роботизированных технологических линий, гибких автоматизированных участков, роботизированных технологических участков для изготовления изделий заданной номенклатуры.

Гибкий автоматизированный завод (ГАЗ) – это комплекс ГАЦ, ГАЛ, ГАУ, ГПМ (литейных, кузнечно-прессовых, металлорежущих, термических и т.д.) и других типов основного оборудования, переналаживаемых на выпуск деталей, входящих в план основного производства.

10.3.2 Оборудование ГПС

ГПС включает довольно широкий круг оборудования, межстаночных механизмов и механизмов управления (рис. 10.17).

Станки, входящие в ГПМ, могут быть специализированными или универсальными, одинаковыми или разных моделей. Они должны иметь: автоматический зажим и разжим заготовки; автоматический подвод-отвод ограждения; датчики, фиксирующие наличие в приспособлении заготовки; систему ЧПУ и электроавтоматику, обеспечивающие диалог «станок – робот»; автоматическую смену инструмента; автоматическую уборку стружки; автоматический контроль износа инструмента и подналадку станка.

Тип обрабатываемых деталей определяет станочное оборудование для ГПМ. При обработке деталей типа тел вращения используются

оснащенные ЧПУ или автоматические токарные, круглошлифовальные, фрезерно-сверлильные станки. Кроме этого учитываются типовые особенности станков. На станках токарной группы заготовку можно крепить либо в патроне, либо в центрах. В каждом конкретном случае необходимо определить, на каких станках обрабатывать: центровых или патронно-центровых.

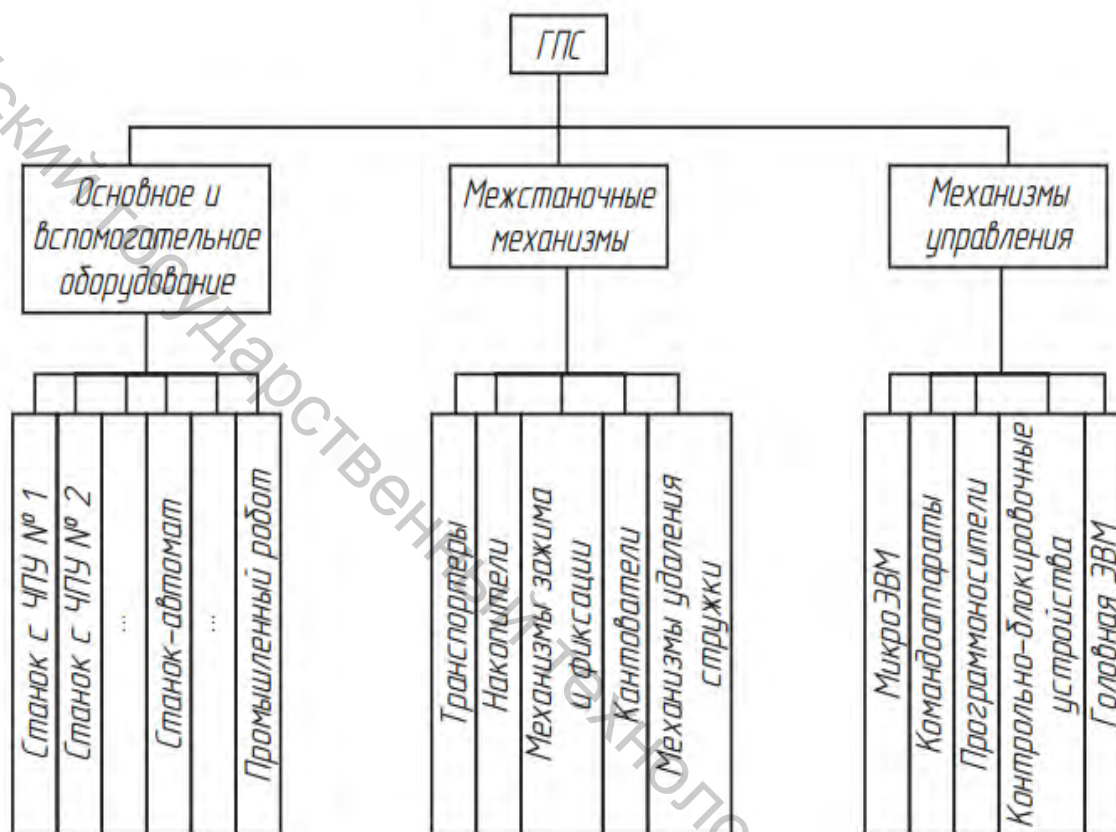


Рисунок 10.17 – Классификация оборудования ГПС

Применение патронно-центровых токарных станков с ЧПУ повышает универсальность ГПС вследствие широкой номенклатуры обрабатываемых деталей, но в то же время увеличивает ее габариты.

Для обработки корпусных и плоскостных деталей применяются обрабатывающие центры (ОЦ) и модули на их основе. Используются ГПМ на базе фрезерных, сверлильно-расточных, зубо-, резьбообрабатывающих, электрофизических, электрохимических и других станков. Простейший ГПМ включает ОЦ с одним или двумя инструментальными магазинами. Обычно станок имеет два рабочих стола. Заготовку вручную устанавливают на стол, в то время как на другом столе производится обработка детали. Более современным является ГПМ, содержащий ОЦ с накопителем заготовок.

Вторая составляющая ГПС – *промышленные роботы*, которые выполняют основные (покраска, сварка, термообработка, сборка) и

вспомогательные (транспортирование, загрузка и разгрузка станка, сбрасывание детали в тару, управление включением автоматического цикла работы станка) функции. Промышленный робот, входящий в состав ГПМ, в большинстве случаев оснащается датчиками внешней информации и может обеспечивать помимо названных функций поиск деталей в накопителе, измерение обработанных деталей или заготовок, отбраковку заготовок, межстаночное транспортирование и складирование деталей. Установка заготовок осуществляется в ориентированном виде. В зависимости от вида заготовок ПР может оснащаться различными типами схватов.

Выполнение технологических операций может быть как с индивидуальным, так и с групповым применением ПР. Индивидуальное выполнение операций осуществляется одним универсальным или многоцелевым ПР, вокруг которого размещаются различные транспортные, ориентирующие, вспомогательные устройства и механизмы. Работа такого ГПМ организуется и контролируется многопрограммным устройством ЧПУ (для каждого устройства своя программа), которое дополнительно выполняет функции адаптивного управления. При групповом использовании несколько специализированных и многоцелевых ПР, выполняющих определенные технологические операции, объединяются вместе со вспомогательным оборудованием в ГАУ с законченным технологическим процессом.

Выполнение автоматизированного перемещения грузов в ГПС, кроме промышленных роботов, организуется с помощью, как было отмечено ранее, с помощью *автоматизированной транспортно-складской системы (АТСС)*, которая включает в себя транспортеры, автоматические тележки, склады для создания задела заготовок, хранения полуфабрикатов и готовых деталей.

АТСС гибкого производства могут быть межцеховыми, цеховыми и локальными. Транспортные связи охватывают грузопотоки и все элементы перемещений, включая ориентацию, установку заготовки, съём изделия, укладку в кассеты и т.д.

Система транспортировки может быть организована для перемещения деталей, оснастки, спутников или только для перевозки деталей. Может быть жесткой (например, линия на роликах с приводом) или гибкой (например, самоходные тележки на рельсах или с управлением по проводу). Может перевозить только детали либо детали и инструмент.

Технические средства АТСС делятся на две группы: основное и вспомогательное оборудование. К основному оборудованию относятся автоматические стеллажные и мостовые краны-штабелеры, транспортные и погрузочные роботы, конвейеры непрерывного и циклического действия, накопители, перегрузочные и ориентирующие устройства, технические средства автоматического управления и транспортно-

складская тара, а к вспомогательным средствам – толкатели, сбрасыватели, адресователи, ориентаторы, подъемники, питатели и др.

Наибольшее распространение получили замкнутые и разомкнутые структуры транспортно-накопительных систем.

Замкнутые транспортно-накопительные системы работают в режиме автоматической подачи поддонов с заготовками по заранее заданному порядку. Однако имеется возможность оперативно направлять желаемый поддон в зону смены заготовки.

Разомкнутая транспортно-накопительная система имеет, как правило, линейную конфигурацию. Передача заготовок на спутниках к станку осуществляется автоматически движущейся тележкой-оператором по заранее заданной программе независимо от порядкового номера спутника.

Транспортная система должна безошибочно распознавать спутники с нужными в данный момент заготовками. Существуют разные способы идентификации – от примитивного вворачивания штырей определенной длины в плиту спутника до современных. Фирмой Siemens, например, разработана бесконтактная система MOBY. Она представляет собой комплект из семи устройств чтения–записи информации, три из которых размещены на местах загрузки заготовок, а еще четыре – на обрабатывающих центрах. Оператору после установки на спутнике очередной заготовки достаточно ввести в память ЧПУ ее уникальный код, который одновременно записывается в имеющийся на каждом спутнике энергонезависимый элемент памяти MOBY и является заданием для вызова системой ЧПУ из памяти станка соответствующей программы обработки.

Расстановка станочных модулей зависит от вида выбранного транспорта (конвейеры, рольганги, рельсовые тележки или робокары), а также от организации централизованного или децентрализованного складирования заготовок (общий склад, общие накопители спутников, индивидуальные накопители у каждого станка и различные комбинации этих трех видов).

Система инструментаобеспечения, АСИО, имеющая общие черты с транспортной системой, включает участки подготовки инструментов, их транспортирования, накопления, устройства смены и контроля качества инструмента, обеспечивающие подготовку, хранение, автоматическую установку и замену инструмента. Гибкость станочных модулей зависит от видов связей для подачи режущего инструмента к станкам. Это может быть:

- центральный инструментальный склад, единый для всех станков;
- индивидуальный сменный магазин для каждого станка;
- индивидуальная подача инструмента на каждый станок с участка предварительной настройки инструмента.

Одной из определяющих функций ГПС является *автоматический контроль качества обработки*, который нужен для организации безлюдного производства. Автоматизированный контроль качества обработки и подналадка режимов или режущего инструмента позволяют:

- реализовать необходимую точность обработки с учетом состояния системы станок – приспособление – инструмент – деталь;
- получить информацию о точности установки заготовки на станке, о точности установки режущего инструмента и его размерном износе;
- автоматически контролировать поверхность заготовки детали непосредственно на станке и по результатам измерения ввести соответствующую коррекцию величины износа инструмента;
- определить фактические размеры заготовки с целью автоматического расчета соответствующих режимов обработки.

Система автоматического измерения (САК) сравнивает фактический размер с программно заданным и выдает команду или на продолжение обработки, или на повторную обработку с коррекцией или подает сигнал о браке.

Широкое распространение получили системы автоматического измерения и коррекции, включающие специальные измерительные устройства, смонтированные в инструментальных оправках, которые помещаются в инструментальных магазинах станков.

В ГПМ, оснащенных промышленными роботами для установки заготовок и снятия деталей, контролировать размер обработанной поверхности можно измерительным щупом, установленным непосредственно на схвате робота. На время измерения модуль превращается из обрабатывающего комплекса в измерительный и продукцию не производит, что снижает производительность ГПС.

Можно осуществлять контроль как по окончании обработки, так и после предварительной обработки или непосредственно перед выполнением чистовой обработки поверхности. Команда на осуществление контроля включается в управляющую программу обработки. Сейчас все более широкое распространение получает контроль, организованный на специальной измерительной машине.

Наиболее распространенной *типовой системой ЧПУ* для ГПС является распределенное числовое управление группой станков, каждый из которых имеет свое устройство ЧПУ. Система состоит из управляющего компьютера-сервера, имеющего интерфейсный блок для связи с устройствами ЧПУ, и пультов операторов для обмена информацией между сервером и операторами станочного оборудования.

Система числового программного управления может быть простейшей (управление только одним движением тележек или деталей) или усложняться и быть системой, которая управляет программой обработки деталей, магазином с инструментами, качеством обработки, стра-

тегией, которые изменяются в зависимости от требований производства. Наконец, она может быть сложнейшей системой комплексного управления цехом, включая все его составные части.

10.3.3 Особенности развития ГПС

В настоящее время существуют две *тенденции формирования гибких производственных систем*.

Первая тенденция предусматривает создание гибких производственных систем на многоцелевых многоинструментальных станках – обрабатывающих центрах, объединенных транспортно-накопительной системой. При этом станки могут дублировать друг друга. Они управляются от собственной системы ЧПУ, а вся система – от центральной ЭВМ, способной непосредственно управлять каждым станком в случае необходимости.

Вторая тенденция заключается в формировании гибких производственных систем из специальных станков-модулей, агрегатных станков различных типов. Управление этой системой осуществляется централизованно – от одной ЭВМ. В ней, как правило, отсутствует дублирование станков.

Недостатком гибких производственных систем первого типа по сравнению со вторым является их большая стоимость вследствие использования дорогих многоцелевых станков. Минусами систем второго типа являются их меньшая гибкость при обработке и сложность переналадки при смене или расширении группы обрабатываемых деталей.

Гибкая производственная система должна удовлетворять одновременно двум противоречивым требованиям: сочетать высокую производительность, свойственную автоматическим линиям и специальным станкам, с гибкостью, характерной для станков с ЧПУ. Это противоречие в гибких производственных системах устраняется за счет использования универсального оборудования, в частности, многоинструментальных станков.

Характерные особенности и преимущества гибких производственных систем:

- в одной ГПС обеспечивается эффективная обработка партии деталей, размер которой изменяется в широких пределах; на одном станке можно обрабатывать детали в произвольной последовательности, в соответствии с потребностями участка сборки, что исключает необходимость в промежуточных складах;

- применяемые в ГПС средства ЧПУ и адаптивного управления сводят к минимуму численность обслуживающего персонала и в ряде случаев обеспечивают работу ГПС в ночную смену без участия людей;

– средства ЧПУ позволяют широко варьировать при обработке деталей инструменты и многошпиндельные головки; максимальное повышение производительности достигается путем сочетания одно- и многошпиндельной обработки;

– системы оптимизации с использованием ЭВМ обеспечивают высокую загрузку станков и учет приоритета выпуска деталей;

– использование ГПС обеспечивает рациональное сочетание станков с ЧПУ различных конструкций и группирование их в целях достижения максимальной производительности;

– внедрение ГПС позволяет получить значительный экономический эффект в результате централизованного управления всеми производственными процессами и быстрой двухсторонней передачи административной и технической информации.

10.4 Автоматические заводы

Завод-автомат, высшая форма автоматизированного производства, управляемая центральной электронно-вычислительной машиной. В состав систем управления завода-автомата также входят системы обработки заготовок, складирования и транспортировки, диагностики оборудования, управления производством, переработкой отходов. Заводы-автоматы в основном предназначены для изготовления функциональных узлов, унифицированных деталей машин и оборудования без прямого участия человека. Используемые на заводе-автомате технологическое оборудование и оснастка, транспортирующие системы и промышленные роботы обладают высокой универсальностью, обеспечивающей лишь минимальную переналадку производства при изменении типов обрабатываемых деталей.

В настоящее время появляются реально действующие образцы полностью автоматических заводов. Так, подразделение *Mecanica Lorenzi* построило заводы-автоматы THERMEX в Италии и России. На заводе THERMEX тихо и безлюдно. Пара инженеров периодически проверяет показания компьютеров. Сначала трудно поверить, что это один из самых высокопроизводительных заводов в мире. Каждые тридцать секунд с конвейера сходит новый водонагреватель. Со стороны кажется, что все эти механизмы, агрегаты, роботы и погрузчики являются единым симфоническим оркестром, исполняющим хорошо отрепетированную пьесу – именно так работает завод-автомат.

Китайская компания *Changying Precision Technology* открыла в городе Дунгуань новый завод, на которой все производство полностью автоматизировано и не требует физического участия человека (рис. 10.18). Завод производит комплектующие элементы для сотовых телефонов, и

для их создания компания оснастила сборочные линии роботизированными манипуляторами общим числом 60 штук. Еще несколько месяцев назад для функционирования завода необходимо было 650 работников, теперь же за каждой технологической линией наблюдает по 3 специалиста технического персонала.



Рисунок 10.18 – Цех завода Changying Precision Technology

По словам руководства компании, сейчас для обслуживания производства используется 20 техников. Все управление происходит из удаленного помещения при помощи компьютеров и мониторов. На протяжении ближайших пары лет компания планирует автоматизировать и другие сборочные линии, увеличив количество используемых в работе роботов до 1000 штук.

10.5 Реконфигурируемые производственные системы

На сегодняшний день широкое распространение получили автоматизированные поточные линии и гибкие производственные системы. Поточные жесткие линии основываются на дорогой автоматике и производят изделия одной номенклатуры в больших объемах. Высокая производительность достигается за счет многоинструментальной обработки. Применение таких систем экономически оправдано только тогда, когда спрос на выпускаемые изделия превышает предложение. Изменчивость требований рынка велика, поэтому автоматические линии не всегда работают на полную мощность, следовательно, срок окупаемости возрастает. ГПС принесли в производственный процесс гибкость. Гиб-

кость – способность произвести продукт высокого качества по низкой цене в кратчайшие сроки. ГПС состоит из дорогостоящих многоосевых станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и системы транспортировки материалов и деталей. При этом система управляется одним или более компьютерами, что позволяет ей вести обработку изделий одной или нескольких групп без человеческого вмешательства. Из-за отсутствия многоинструментальной обработки производительность ГПС ниже, чем узкоспециализированных производственных систем. При этом стоимость ГПС очень высока, так как при проектировании станков с ЧПУ станкостроители стараются вложить в них изначально как можно больше различных функций, чтобы сделать систему универсальной, а это дорогостоящее решение.

В мировой практике развития машиностроения с развитием ГПС широко осуществляются научные исследования по созданию *реконфигурируемых производственных систем*, изменяющейся компоновки и конфигурации. На сегодняшний день реконфигурация появляется как важная новая тенденция в проектировании производственных систем.

Реконфигурируемая производственная система (РПС) или *reconfigurable manufacturing systems (RMS)* – это система, используемая производителями, в которой подчеркивается важность способности быстро изменяться и развиваться для регулировки производительности и функциональности. Когда происходит внезапное изменение на рынке, реконфигурируемая производственная система изменяется в ответ, что позволяет компании эффективно производить продукты или товары.

Реконфигурируемые производственные системы должны не только переналаживаться и иметь автоматические устройства смены инструмента, оснастки и отдельных узлов, а могли бы автоматически изменять структуру и компоновку в реальном времени из различных узлов для решения конкретной производственной задачи, не останавливая переходного процесса смены технологий.

В отличие от традиционных узкоспециализированных линий и ГПС производственные возможности РПС могут изменяться плавно в зависимости от требований производителя и конечного потребителя. В таблице 10.1 представлена сравнительная характеристика возможностей существующих систем с реконфигурируемым и производственными системами.

Основным компонентом РПС являются переналаживаемые станки – новый тип модульных станков с изменяющейся структурой, что позволяет переналаживать их ресурсы (например, добавлять второй шпиндель). В добавлении к РПС также есть реконфигурируемые системы управления, что позволяет быстро изменить и объединить в открытую структурную среду. Такие системы соединяют промежуток между специализированными линиями и ГПС, и комбинируют преимущества обоих подходов.

Профессору Корену [177–185] приписывают разработку парадигмы RMS и разработку ее основных технологий. Следовательно, RMS стала новой международной исследовательской дисциплиной со многими практическими применениями. Неудивительно, что Корен признан «отцом реконфигурируемого производства». В начале 1990-х годов Корен предсказал, что глобализация станет основным фактором промышленной конкуренции, что сделает способность быстро реагировать на изменяющиеся рынки жизненно важной задачей для промышленности. Поэтому Корен добавил быструю отзывчивость к двум традиционным целям производства: низкая стоимость и высокое качество.

Таблица 10.1 – Сравнение характеристик производственных систем

Типы систем	Автоматические линии	ГПС	РПС
Оборудование	Недорогая автоматика	Обрабатывающие центры	Реконфигурируемые станки
Машинная структура	Неподвижная	Неподвижная	Приспосабливается к изменениям
Продукция	Партии однотипных деталей	Изготовление в пределах известного семейства	Машинная адаптация к производству новых продуктов
Масштабируемость	Отсутствует	Да	Да
Гибкость	Отсутствует	Общая	Настроенная
Программное управление	Закрытое	Закрытое	Открытая архитектура
Сравнительная стоимость	Низкая	Высокая	Средняя

Шесть характеристик RMS:

Модульность – машины, органы управления, инструменты и другие элементы в производственной системе должны быть модульными, то есть их можно относительно легко добавлять, удалять и переключать для других элементов.

Интегрируемость – компании-производители должны иметь возможность быстро и эффективно интегрировать модули как на уровне оборудования, так и на уровне системы.

Индивидуальная гибкость – система должна быть достаточно гибкой, чтобы производители могли обновлять и добавлять новые модули.

Масштабируемость – это относится к способности системы добавлять новые продукты путем перестройки производственной системы.

Конвертируемость – способность трансформировать существующие системы и конструкции в соответствии с новыми производственными линиями.

Диагностируемость – способность автоматически считывать и анализировать систему на наличие дефектов, ошибок и связанных с ними проблем.

Принципиальная схема типичной архитектуры RMS показана на рисунке 10.19. Масштабируемость емкости достигается путем добавления машин к существующим этапам без изменения базовой архитектуры системы.

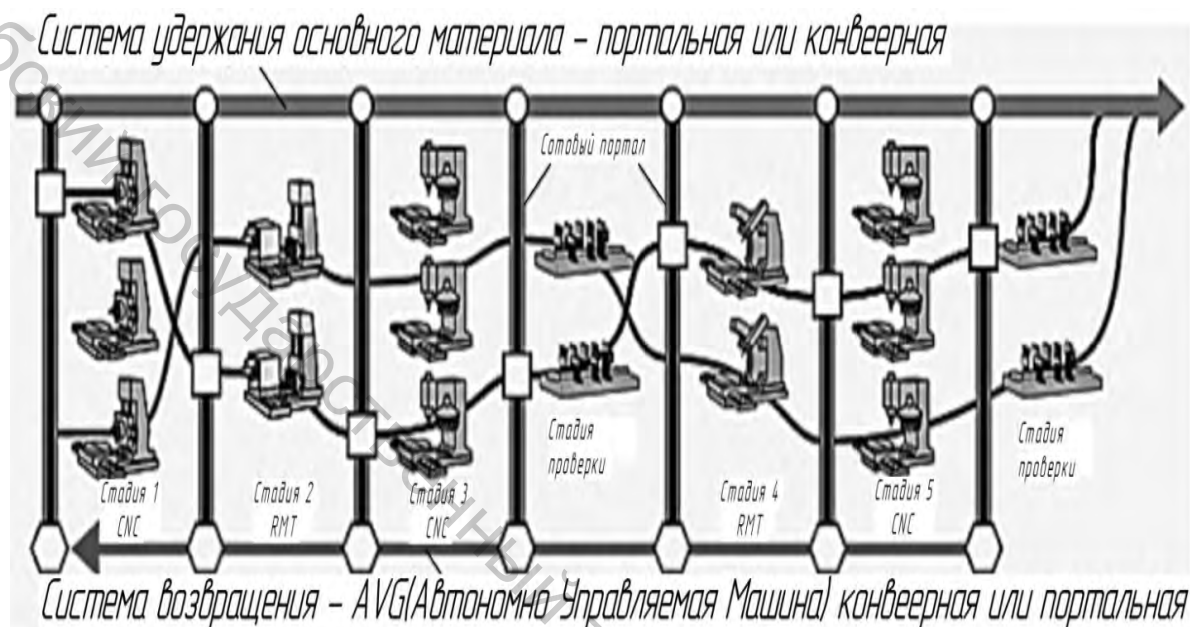


Рисунок 10.19 – Принципиальная схема RMS

Принципы RMS:

1. RMS предназначен для регулируемых производственных ресурсов для удовлетворения неотложных потребностей.

2. Чтобы повысить скорость реагирования производственной системы, основные RMS-характеристики должны быть встроены во всю систему, а также в ее компоненты.

3. RMS спроектирован вокруг семейства деталей с достаточной гибкостью, необходимой для производства всех частей в этой семье.

4. RMS содержит экономичную смесь оборудования из гибких (например, CNC) и реконфигурируемых машин с индивидуальной гибкостью, например, 12 Reconfigurable Machine Tools, Reconfigurable Inspection Machines и Reconfigurable Assembly Machines.

5. RMS обладает аппаратными и программными возможностями для экономичного реагирования на непредсказуемые события – как внешние (изменения рынка), так и внутренние события (отказ машины).

Уникальность реконфигурируемой системы производства заключается в том, что как ее структура, так и машинное управление могут быстро меняться в зависимости от изменения рынка.

10.6 Аддитивные технологии и производства

10.6.1 Общие понятия

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing – от слова аддитивность – прибавляемый) – это послойное наращивание и синтез объекта с помощью компьютерных 3D-технологий [186–200]. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Суть аддитивного производства – в сложении, а не вычитании. Если при традиционном производстве вначале имеется заготовка, от которой потом отсекается все лишнее, то в случае с аддитивными технологиями новое изделие создается из ничего, а точнее, из расходного материала (рис. 10.20).



Рисунок 10.20 – Общая схема аддитивного производства

В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или, наоборот, получать различные свойства. Изобретение принадлежит Чарльзу Халлу, в 1986 г. сконструировавшему первый стереолитографический трехмерный принтер.

Первые аддитивные системы производства работали главным образом с полимерными материалами. Сегодня 3D-принтеры, олицетворяющие аддитивное производство, способны работать не только с ними, но и с инженерными пластиками, композитными порошками, различными типами металлов, керамикой, песком.

Относительно недавно в 3D-сфере началась новая эра – печать из металлических материалов. Именно данная технология аддитивного производства является основой происходящей сейчас промышленной революции.

В наши дни аддитивные технологии используются повсеместно: научно-исследовательские организации с их помощью создают уни-

кальные материалы и ткани, промышленные гиганты используют 3D-принтеры для ускорения прототипирования новой продукции, архитектурные и конструкторские бюро нашли в 3D-печати нескончаемый строительный потенциал, в то время как дизайн-студии буквально вдохнули новую жизнь в дизайнерский бизнес благодаря аддитивным машинам. Динамически развивающиеся быстрыми темпами аддитивные технологии 3D-печати используются в прогрессивных производствах.

10.6.2 Виды аддитивных технологий

Существует несколько инновационных видов аддитивных технологий.

SLM (*Selective Laser Melting*) – инновационная технология производства сложных изделий посредством лазерного плавления. Метод представляет собой процесс послойного сплавления деталей из металлического, керамического или полимерного порошкового материала. Чаще всего используют металлические порошки с размером зерен в диапазоне 10–40 мкм. Гранулы порошкового материала связываются между собой путём их проплавления при помощи, движущегося в каждом слое по определённой траектории в соответствии с выбранной стратегией обработки и согласно трёхмерной модели изделия в компьютерной среде, которая была предварительно определённым образом подготовлена.

С помощью SLM создают как точные металлические детали для работы в составе узлов и агрегатов, так и неразборные конструкции, меняющие геометрию в процессе эксплуатации.

Физико-механические свойства изделий, построенных по технологии SLM, зачастую превосходят свойства изделий, изготовленных по традиционным технологиям.

Технология SLM включает в себя: подготовку трёхмерной модели изделия в компьютерной среде; нанесение порошка на рабочую платформу распределителем порошка, формирующим слой толщиной 20–40 мкм; очерчивание контура и выборочное расплавление порошка лучом лазера высокой мощности, движущимся в каждом слое по определённой траектории в соответствии с выбранной стратегией обработки и согласно трёхмерной модели изделия в компьютерной среде. Процесс повторяется для каждого слоя, до полного формирования изделия (рис. 10.21).

В процессе SLM происходит полное расплавление порошка, что существенно улучшает микроструктуру и характеристики изделия. Плотность 99,99 % для металлических изделий достижима без последующей термической обработки. Итоговые характеристики материала сопоставимы с характеристиками деталей, полученных механообработ-

кой, так показатели удельной и усталостной прочности не уступают аналогичным показателям деталей, изготовленных из материалов методами традиционной обработки из кованных или литых заготовок. Преимуществом SLM является также возможность работать с цветными металлами (титан, алюминий и медь), кобальтохромовыми и титановыми сплавами, инструментальными сталями.

Однако процесс селективного лазерного плавления требует высокой мощности лазера (0,05–1 кВт), хорошего качества лазерного пучка и малой толщины порошкового слоя (что означает замедление изготовления). Более того, при затвердевании детали склонны давать сильную усадку, вызывая значительные остаточные напряжения в изготовленных изделиях. Эти остаточные напряжения могут приводить к деформациям и даже расслоениям в конечном продукте. Для нависающих элементов изделия нужны поддерживающие структуры, а термические напряжения, порождаемые процессом, требуют наличия фиксаторов.

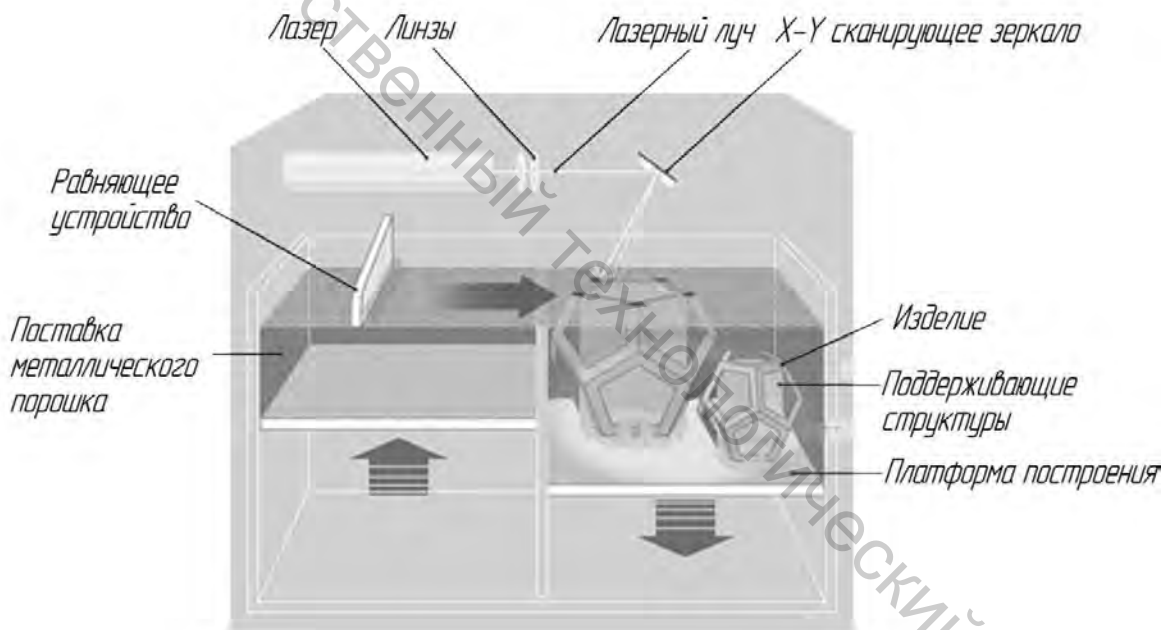


Рисунок 10.21 – Процесс изготовления детали с помощью технологии SLM

Наиболее популярными материалами являются порошковые металлы и сплавы, включая нержавеющую сталь, инструментальную сталь, кобальт-хромовые сплавы, титановые сплавы, титан, алюминий, золото, платина и др.

Области применения: изготовление функциональных деталей для работы в составе различных узлов и агрегатов; изготовление сложных конструкций, в том числе неразборных, меняющих в процессе эксплуатации геометрию, а также имеющих в своем составе множество элемен-

тов; производство формообразующих элементов пресс-форм для литья термопластов и легких материалов; изготовление технических прототипов для отработки конструкции изделий; создание формообразующих вставок для кокильного литья; производство индивидуальных стоматологических протезов и имплантатов; изготовление штампов.

DLMD (Direct laser metal deposition) – технология прямого лазерного нанесения металла основана на применении лазерного излучения и соосной с ним (или боковой) подаче порошка на подложку, при этом поток порошка и лазерное излучение сфокусированы в одну точку.

CLAD (Direct additive laser construction) – прямое лазерное аддитивное построение – технология, применяемая исключительно на промышленном уровне ввиду сложности и относительно узкой специализации.

В основе CLAD лежит напыление металлического порошка на поврежденные детали с немедленной наплавкой с помощью лазера (рис. 10.22). Металлический порошок определенной фракции через специальную головку подается непосредственно в место построения. Далее порошок под воздействием энергии лазерного излучения расплавляется и кристаллизуется. Суммарное количество степеней свободы при изготовлении или ремонте детали равняется пяти.

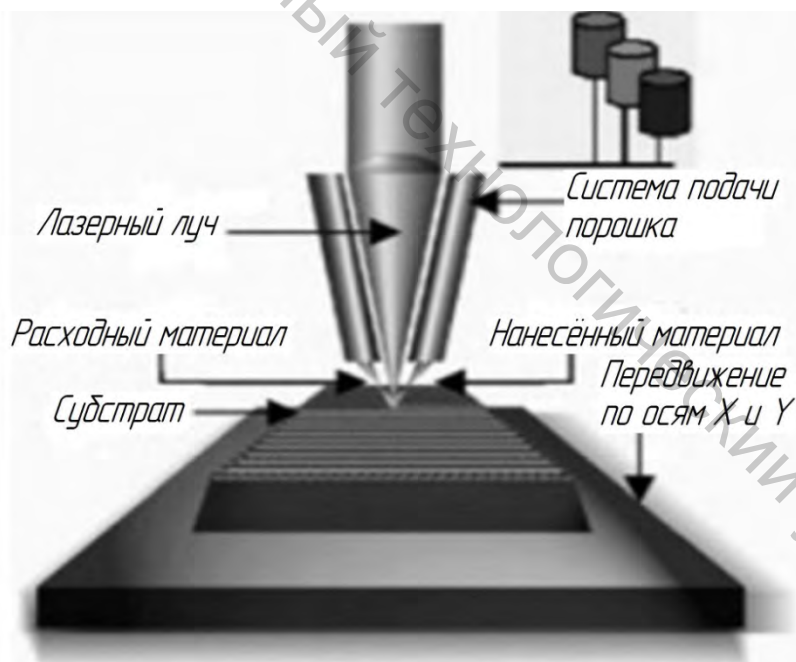


Рисунок 10.22 – Схема работы установок, использующих технологию CLAD

Позиционирование «печатной головки» осуществляется по пяти осям: вдобавок к перемещению в трех плоскостях, головка обладает способностью изменять угол наклона и поворачиваться вокруг вертикальной оси, что позволяет работать под любым углом. Подобные

устройства зачастую используются для ремонта крупногабаритных изделий, включая производственный брак. Например, установки французской компании BeAM используются для ремонта авиационных двигателей и других сложных механизмов.

Полноценные установки CLAD предусматривают использование герметичной рабочей камеры с инертной атмосферой для работы с титаном и другими металлами и сплавами, поддающимися окисдации. Технология CLAD позволяет изготавливать трехмерные металлические изделия, а также производить ремонт изношенных частей деталей, в том числе механически обработанных. При этом изготавливаемые части имеют низкий уровень пористости (менее 0,01 %) и высокие механические свойства, близкие к свойствам материала, получаемого путем обработки давлением.

Нанесение порошка и наплавка производятся на любые поверхности. Таким образом, возможно изменение формы готовых изделий и исправление ошибок, возникших, например, в ходе механической обработки.

В установках Mobile CLAD, CLAD Unit, MAGIC, работающих по CLAD, аналогичной технологии DMD, в качестве строительного материала применяются обычные (для аддитивных технологий) металлпорошковые композиции дисперсностью в пределах 45–75 мкм и 50–150 мкм. Система подачи материала – коаксиальная. Скорость построения детали варьируется от типа машины и может достигать 280 см³/ч.

Технология CLAD позволяет использовать разнообразные порошковые материалы, в том числе порошки титановых, никелевых сплавов, различных сталей и др. При этом возможно использование сразу нескольких композиций. Для предотвращения окисления материала построение происходит в атмосфере защитного газа.

DMD (Direct Metal Deposition) – процесс прямого нанесения металлов является разновидностью технологии лазерного нанесения металлов (LMD, Laser Metal Deposition).

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – процесс прямого лазерного спекания металлов требует использования связующих веществ с температурой плавления ниже, чем у основного металлического компонента. В качестве таких связующих материалов могут использоваться полимерные порошки, которые выжигаются из изделия при последующей обработке, либо металлические порошки с более низкой точкой плавления. В отличие от чистых металлов, плавление которых происходит одновременно по всему объему, у легированных металлических порошков есть диапазон температур, в котором в процессе плавления/затвердевания жидкая и твердая фаза сосуществуют.

Выбор лазера оказывает существенное влияние на процесс спекания частиц порошка, поскольку степень поглощения лазерного излучения материалом зависит от длины волны излучения, а металлургический

механизм спекания определяется плотностью энергии лазера. Среди применяемых лазеров – лазеры на диоксиде углерода, Nd:YAG-лазер, волоконные лазеры, дисковые лазеры и т.п.

Процесс прямого лазерного спекания легированных порошков, представляющий особый интерес для технологий АП, требует точного контроля параметров лазерной обработки для обеспечения неконгруэнтного плавления порошка в двухфазной области. Однако характерные для DMLS локализованные быстрые тепловые циклы осложняют точное управление температурой спекания. Эти трудности приводят к недостаточному уплотнению порошка, возникновению гетерогенной микроструктуры и ухудшают свойства изделий из легированных порошков.

Поэтому для получения приемлемых механических свойств обычно требуется провести последующую обработку, такую как нагрев для повторного спекания, горячее изостатическое прессование или вторичное насыщение материалом с более низкой температурой плавления. **EBDM (Electron Beam Direct Manufacturing)** – электронно-лучевая плавка. Electron beam freeform fabrication (EBF₃) – произвольная электронно-лучевая плавка (EBF₃) (рис. 10.23) – технология, разрабатываемая специалистами НАСА для применения в условиях невесомости. Отсутствие гравитации делает работу с металлическими порошками практически невозможной, поэтому технология EBF₃ подразумевает использование металлических нитей.

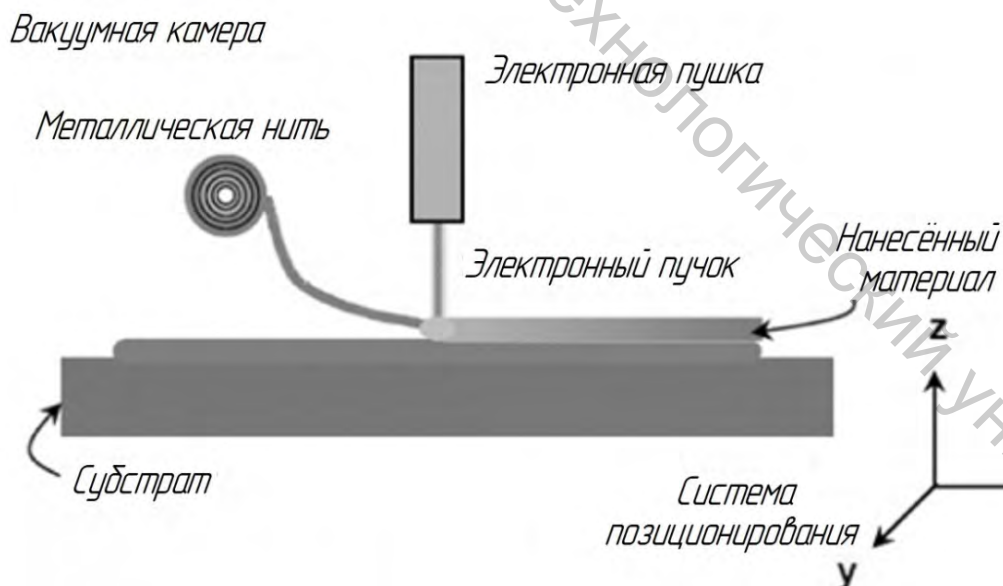


Рисунок 10.23 – Схема работы EBF₃ принтеров

Процесс построения схож с 3D-печатью методом послойного наплавления (FDM), но с использованием электронно-лучевой пушки для плавки расходного материала. Данная технология позволяет создавать металлические запасные части на орбите, что существенно сокра-

щает затраты на доставку частей и обеспечивает возможность быстрого реагирования на внештатные ситуации.

В процессе произвольного **экструзионного формования ((EFF) Extrusion Free Formation)** исходным сырьем является проволока, источником энергии может быть электронный луч, луч лазера или плазменной дуги. Данный процесс идет с высокой скоростью и позволяет получать объемные изделия, но требует более интенсивной механической обработки, чем изделия из порошка.

FDM (Fused Deposition Modeling) – изготовления объектов путем послойной наплавки заключается в том, что материал расплавляется в разогретом сопле-дозаторе, движениями которого непосредственно управляет программное обеспечение системы автоматизации производства. После экструзии из сопла материал остывает и затвердевает. Изделие формируется последовательным нанесением слоев материала. Поскольку материал нагревается до температуры лишь на 1 °С, превышающей температуру плавления, он становится твердым практически сразу после экструзии, соединяясь с предыдущими слоями.

Для изготовления изделий сложной формы с нависающими частями с помощью отдельных сопел создаются поддерживающие структуры (опоры). В качестве материала при изготовлении объектов путем послойной наплавки (FDM) чаще всего используются полилактид (PLA) и акрилонитрилбутадиенстирол (АБС-пластик), который облегчает и ускоряет печать благодаря созданию растворимых опор и покрытия, улучшающего качество поверхности.

Разрешение и точность модели в процессе послойной наплавки ограничены диаметром сопла, а скорость изготовления – необходимостью выполнять физические перемещения сопла через рабочую область. Точность изготовления может достигать $\pm 0,05$ мм.

Основными преимуществами FDM является большой выбор материалов и хорошие физико-механические свойства конечных изделий, изготовленных с использованием этой технологии. Изготовленные изделия являются одними из самых прочных полимерных изделий, которые изготавливаются в АП. Применимость этого процесса ограничивается более низкими механическими свойствами и худшим качеством поверхности конечного продукта по сравнению с деталями, изготовленными способами традиционного литья.

Первоначально **LOM (Laminated Object Modeling)** был разработан для бумаги, с одной стороны покрытой клеем, похожий на толстый пергамент. Толщина бумаги находилась в диапазоне от 0,07 до 0,02 мм.

В настоящее время принципы ламинирования листовых материалов путем «соединение – раскрой» успешно применяются для изготовления деталей из металла, керамики и композитных материалов. В этом случае вместо бумажных и полимерных листов в качестве строительного материала для формирования полуфабрикатов применяются керамо-

наполненные или металлонаполненные ленты, затем полуфабрикаты подвергаются постобработке в печи при высокой температуре для склеивания и спекания материала изделия. Эти ленты затем используются для построения изделий путем стандартного процесса ламинирования листовых материалов.

Метод ламинирования подразумевает последовательное нанесение тонких листов материала с формированием за счет механической или лазерной резки и склеиванием для получения трехмерной модели. В качестве расходного материала может использоваться и металлическая фольга. Получаемые модели не являются полностью металлическими, т.к. их целостность основана на применении клея, связующего листы расходного материала.

Плюсом данной технологии является относительная дешевизна производства и высокое визуальное сходство получаемых моделей с цельнометаллическими изделиями. Как правило, этот метод используется для макетирования. При использовании данной технологии происходит склеивание тонких слоев материала построения посредством нагрева и сдавливания (рис. 10.24). Затем область слоя, не образующая тело выращиваемого объекта, мелко режется лазером, платформа с плоскостью построения опускается и наносится следующий слой. Операция повторяется до полного построения объекта. Таким образом, материал построения выполняет функции поддержки, которая затем удаляется механическим путем. В некоторых случаях при удалении поддержки могут возникнуть трудности.

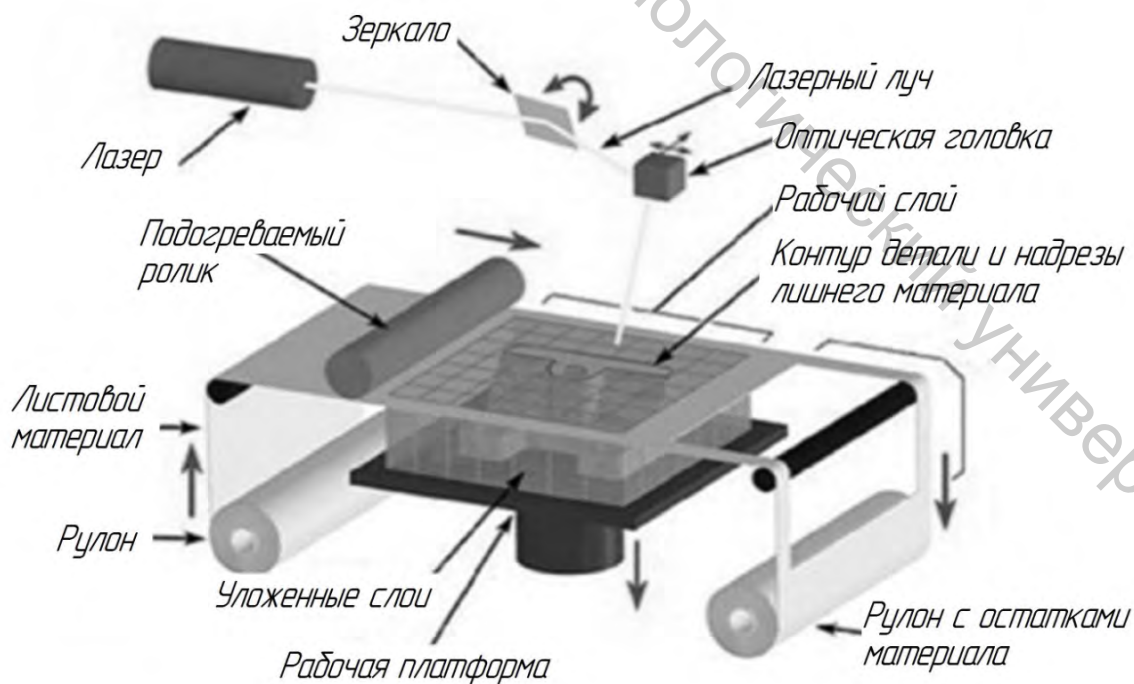


Рисунок 10.24 – Схема работы 3D-принтеров, использующих технологию LOM

Полный процесс изготовления объектов методом ламинирования (LOM) происходит следующим образом:

- 1) цифровая 3D-модель изделия загружается в LOM-аппарат;
- 2) лист расходного сырья протягивается с подающего вала разогретым роликом над рабочей платформой;
- 3) лазерный луч вычерчивает контуры слоя;
- 4) обработанный лист опускается;
- 5) новый лист с клейким покрытием поступает в рабочую камеру;
- 6) процедура повторяется, и все последующие слои склеиваются между собой, образуя однородную субстанцию;
- 7) после постройки модели по вычерченному лазером контуру удаляется весь лишний материал;
- 8) механическая постобработка может включать шлифовку, сверление и др.

В качестве материала построения используется бумага, пластики и листы металла. Система LOM составляет изделие/деталь из листов материала, вырезанных лазером, и скрепляет слои вместе. Для удаления нежелательных остатков материала обычно нужна постобработка, выполняемая ручным инструментом (так называемая «доводка»).

В процессах ламинирования листовых материалов керамические изделия чаще всего изготавливаются с использованием процессов «соединение – раскрой» из керамико-наполненных лент. Путем отливки формируют ленты из порошковой керамики, состоящей из таких соединений, как композит SiC и TiC-Ni, или алюминия с добавлением полимерного связующего. Ленты также могут быть использованы для изготовления металлических деталей. Из этих лент потом строят изделия с использованием стандартного процесса ламинирования листовых материалов.

Процесс LOM применяется также для быстрого изготовления инструментальной оснастки. Несмотря на определенный прогресс, достигнутый в разработке новых полимерных и металлических материалов, этот процесс редко применяется для изготовления конечной продукции. Среди причин такого положения вещей – трудность «доводки», ограниченная точность формирования изделий, неоднородность свойств материала и сложности с копированием и долговечностью мелких особенностей и деталей изделия.

Преимущества: низкая себестоимость продукции; сравнительно высокая точность изготовления объектов, от 0,3 мм; на некоторых lom-принтерах есть возможность сразу изготавливать цветные модели; низкая себестоимость продукции.

Недостатки: недостаточно высокая прочность изделий вдоль направления слоев; малая распространенность; небольшой выбор моделей 3D-принтера; повышенная шероховатость поверхности.

На сегодняшний день технология **LENS (Laser Engineered Net-Shaping)** (рис. 10.25) является наиболее совершенной (по достижимому уровню прочностных характеристик создаваемых объектов) реализацией метода послойного воспроизведения. Данный метод позволяет применять в качестве модельных материалов практически любые металлы и сплавы, которые могут быть расплавлены лазерным лучом без испарения. Создаваемые детали имеют ультрамелкозернистую структуру и в ряде случаев по своим механическим свойствам значительно превосходят изделия, получаемые из аналогичных сплавов традиционными методами.

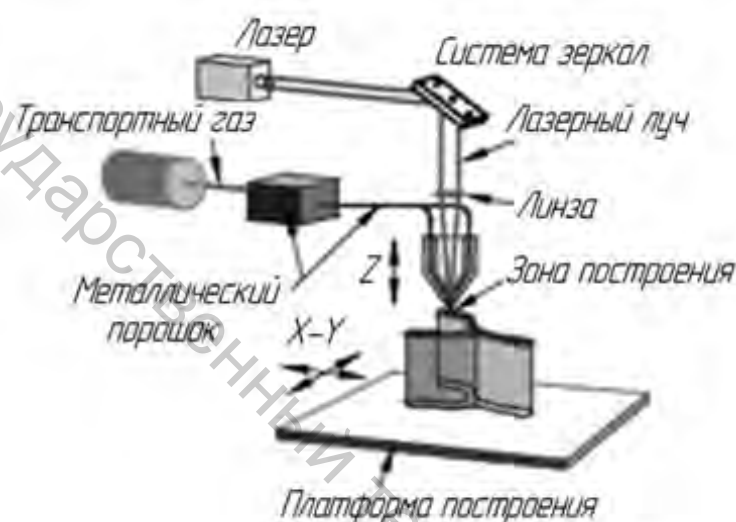


Рисунок 10.25 – Схема работы технологии LENS

SLA (Stereo Lithography Apparatus) – технология трехмерной печати, при которой жидкий фотополимер под действием светового излучения лазера меняет свои физические свойства и твердеет, образуя твердую поверхность в точке проекции лазера (рис. 10.26).

В емкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа, на ней будет происходить выращивание прототипа. Изначально платформа находится на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой полимера толщиной от 0.05 до 0.15 мм – это и есть приблизительная толщина слоя в стереолитографии. Далее включается лазер, который воздействует на те участки полимера, которые соответствуют стенкам целевого объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается чуть глубже, на величину, равную толщине слоя. Также в этот момент специальная щетка орошает участки, которые могли остаться сухими вследствие некоторого поверхностного натяжения жидкости.

По завершению построения объект погружают в ванну со специальными составами для удаления излишков и очистки. И, наконец, финальное облучение для окончательного отвердевания. Как и многие

другие методы 3D-прототипирования, SLA требует возведения поддерживающих структур, которые вручную удаляются по завершении строительства.

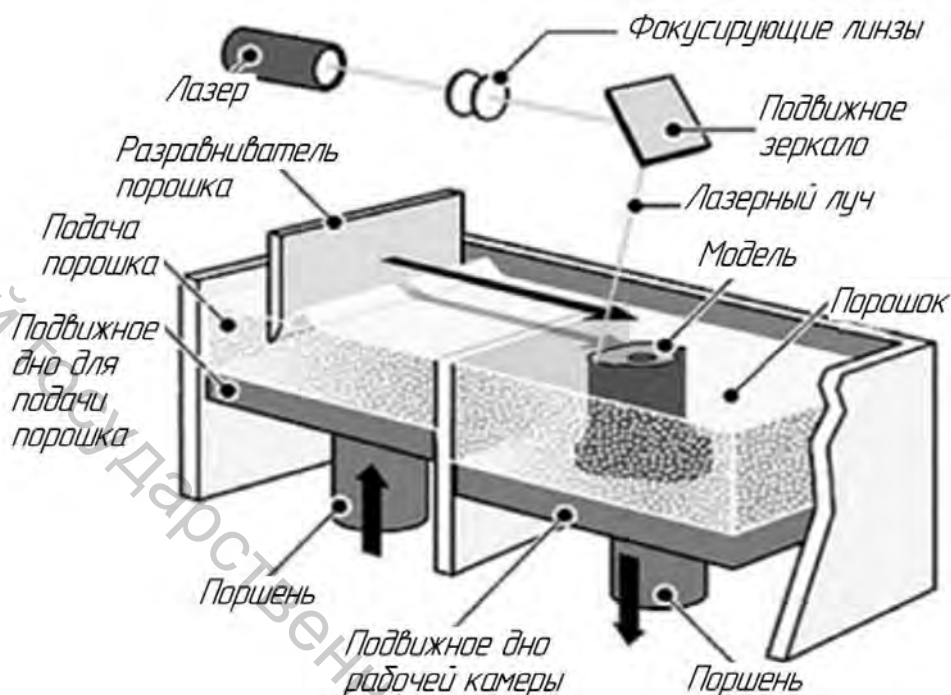


Рисунок 10.26 – Технология SLA

Необходимо понимать, что из-за выборочного отвердевания накладываются жесткие двусторонние ограничения на компоненты и технологию процесса. Например, чем гуще смола изначально, тем легче её перевести в полимерное состояние, но и тем хуже её гидромеханические качества. Чем мощнее введенный в смолу фотоинициатор, тем меньшее время нужно слабому лазеру для засветки, но и тем меньшее время жизни у всего объема смолы, так как он подвержен фоновой засветке. Именно золотая середина в технологии и компонентах является «ноу-хау» каждого производителя лазерных стереолитографов. Устройство и принцип действия таких машин у всех производителей идентичны, в любой SLA-машине возможно применение любого расходного материала после соответствующей настройки.

Одно из преимуществ 3D-печати методом SLA – высокая точность прототипов, гладкость поверхности и скорость. Большие объекты строятся в течение дня, хотя отдельные модели с особо сложной геометрией могут выращиваться до нескольких дней. Большинство SLA-машин работают с объектами размером примерно 50x50x60 см, но есть и исключения. Среди недостатков SLA обычно называют высокую стоимость как расходного материала – смолы (100–300\$ за литр), так и самих машины (от 100.000\$ до миллиона и выше).

Преимущества технологии SLA:

- изготовление моделей любой сложности (тонкостенные детали, мелкая детали);
- легкая обработка изготовленной детали;
- можно получить очень высокое разрешение печати, т.е. достичь хорошей точности при изготовлении моделей, которая по вертикали зависит в основном от возможностей элеватора, погружающего платформу, и обычно составляет 100 мкм, а в лучших аппаратах и меньше, до 25–50 мкм; по горизонтали точность определяется фокусировкой лазерного луча, вполне реальным является диаметр «пятна» в 200 мкм; соответственно и качество поверхности даже без дополнительной обработки получается высоким;
- можно получать очень большие модели размером до 150×75×55 см и весом до 150 кг;
- свойства применяемых полимеров позволяют использовать выращенный прототип в качестве готового изделия;
- низкий процент расходного материала на поддержку;
- низкий уровень шума стериолитографов.

Недостатки технологии SLA:

- необходимость механически отделять стержневидную поддержку от созданных прототипов;
- необходимость в процессе окончательной uv засветки (выращенную деталь необходимо промыть, после чего поместить в ультрафиолетовую камеру для окончательного отверждения);
- ограниченный выбор материалов для изготовления моделей;
- невозможность цветной печати и сочетания разных материалов в одном цикле;
- малая скорость печати, максимум 10–20 миллиметров в час по вертикали;
- очень большие габариты и вес: так, один из SLA-аппаратов 3D Systems ProX 950 весит 2,4 т при размерах 2,2×1,6×2,26 м.

10.6.3 Преимущества и недостатки аддитивных технологий

Наиболее важное достоинство аддитивных технологий заключается в том, что компьютерные модели деталей можно мгновенно передавать по сети на производственную площадку в любую точку мира. Таким образом, меняется сам привычный уклад производства – 3D-принтер не только добавляет производству мобильности, но и может заменить огромное количество оборудования на обычном заводе.

Среди других ключевых преимуществ – изготовление деталей с геометрией любой сложности. Аддитивные технологии позволяют сво-

бодно менять форму изготавливаемых деталей, что дает возможность не только быстро получать опытные образцы, но и вносить изменения в базовую конструкцию в соответствии с пожеланиями конкретного заказчика. Например, в медицине можно изготавливать искусственные коленные и тазобедренные суставы под конкретного пациента.

Снижение числа комплектующих частей создаваемых деталей. Например, изготовление обычным методом топливной форсунки для реактивного двигателя требует около 20 разных запчастей, которых нужно соединить с помощью сварки. Применение же 3D-печати позволяет создавать форсунку намного быстрее из специального материала.

Отсюда следует еще один важный момент – экономия исходного сырья и минимизация отходов. Аддитивные технологии позволяют в производстве использовать ровно столько материала, сколько требуется для конкретной детали. При традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 85 %.

Еще одна сильная сторона аддитивного производства – штучное изготовление изделия любой формы. Этим объясняется особый интерес к аддитивным технологиям медицины и авиационно-космической промышленности – отраслей, которые довольно часто требуют мелкосерийного производства.

Также к преимуществам аддитивных технологий можно отнести следующее:

- ускорение и снижение стоимости производственного процесса: нет необходимости использовать дорогостоящую оснастку, а в отдельных случаях – мехобработку;

- повышение рентабельности изготовления мелкосерийной и кастомизированной продукции; аддитивные технологии позволяют печатать партии, в которых каждый предмет немного отличается от предыдущего, что позволяет создавать производственные линии персонализированных товаров;

- снижение рисков и ошибок проектирования, в том числе за счет возможности изменения конструкции на поздних этапах проектирования;

- управление физико-механическими свойствами продукта благодаря использованию высокотехнологичных материалов.

Недостатки аддитивных технологий:

- высокая стоимость изготовления;

- ограниченный список доступных материалов для 3D-печати, сложность их получения и дороговизна;

- размер деталей ограничен размером области построения – до 500x500x500 мм для печати металлом по технологии SLM. До 1000x1000x1000 мм для FDM-печати;

- свойства материала (детали часто имеют анизотропные свойства, что обусловлено послойной природой АП-процессов;

- точность изготовления и качество поверхности деталей;
- скорость изготовления (ограничена мелкосерийным производством);
- высокие капитальные вложения;
- высокая стоимость материалов и обслуживания;
- отличия в геометрии и свойствах между «идентичными» деталями, изготовленными на разных установках;
- закрытая архитектура большинства установок, что не позволяет исследователям и технологам варьировать условия обработки.

10.7 Вопросы для самоконтроля

1. Приведите общую характеристику станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр».
2. Чем вызвана классификация ОЦ на токарные и фрезерные?
3. Опишите единую систему обозначений координат станков с ЧПУ, рекомендованную ISO.
4. Перечислите конструктивные особенности токарных ОЦ.
5. Почему на токарных ОЦ возможно выполнение внеосевых и радиальных сверлильных работ?
6. Как изменятся технологические возможности токарных ОЦ при отсутствии на станке контршпинделя?
7. Перечислите переходы, реализуемые на токарных ОЦ.
8. Перечислите сочетания движений во время обработки, которые можно реализовать на токарных ОЦ.
9. Перечислите основные различия между ОЦ ФСР группы и токарными ОЦ.
10. Перечислите основные конструктивные и технологические особенности ОЦ ФСР группы.
11. Перечислите основные переходы, выполняемые на ОЦ ФСР группы
12. Изобразите схемы инструментальных магазинов поворотного, цепного и стеллажного типов для ОЦ ФСР группы.
13. Перечислите преимущества горизонтальных ОЦ ФСР группы по сравнению с вертикальными.
14. Какие задачи решаются с помощью 5-координатных обрабатывающих центров?
15. Какими преимуществами обладают 5-координатные фрезерные ОЦ по сравнению с 3-координатными?
16. Изобразите рабочие зоны 5-координатных ОЦ с парой координат A+B.
17. Изобразите рабочие зоны 5-координатных ОЦ с парой B+C.

18. Перечислите критерии выбора модели ОЦ для решения производственных задач.

19. Опишите достоинства и недостатки станков-комплексов с лазерной и механической обработкой.

20. Изобразите компоновку станка-комплекса с лазерной и механической обработкой.

21. Охарактеризуйте организационные структуры гибкого производства.

22. Перечислите оборудование ГПС.

23. Опишите характерные особенности и преимущества гибких производственных систем.

24. Приведите примеры действующих образцов полностью автоматических заводов.

25. Дайте определение понятию реконфигурируемая производственная система.

26. Перечислите основные характеристики реконфигурируемых производственных систем.

27. Сравните характеристики автоматических линий, гибких производственных систем и реконфигурируемых производственных систем.

28. Изобразите принципиальную схему реконфигурируемых производственных систем.

29. Дайте определение понятию аддитивной технологии.

30. Опишите SLM технологию аддитивного синтеза.

31. Изобразите схему процесса изготовления детали с помощью SLM технологии.

32. Опишите CLAD технологию аддитивного синтеза.

33. Изобразите схему процесса изготовления детали с помощью CLAD технологии.

34. Опишите DMLS технологию аддитивного синтеза.

35. Опишите EBDM технологию аддитивного синтеза.

36. Изобразите схему процесса изготовления детали с помощью EBDM технологии.

37. Опишите LOM технологию аддитивного синтеза.

38. Изобразите схему процесса изготовления детали с помощью LOM технологии.

39. Охарактеризуйте LENS технологию аддитивного синтеза.

40. Опишите и охарактеризуйте SLA технологию аддитивного синтеза.

41. Изобразите схему процесса изготовления детали с помощью SLA технологии.

42. Каковы преимущества и недостатки аддитивных технологий?

11 ОБЗОР И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И МИРОВЫХ ЛИДЕРОВ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

11.1 Отечественные лидеры в области производства станочного оборудования

Лидерами в станкостроении Республики Беларусь являются: ОАО «Вистан», ОАО «Визас», ОАО «Красный борец» (г. Орша), ОАО «Молодечненский станкостроительный завод», ОАО «Минский завод автоматических линий им. П.М. Машерова», ОАО «Гомельский завод станочных узлов», ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей», ОАО «СтанкоГомель», ОАО «МЗОР» [201–208].

ОАО «ВИСТАН» является одним из старейших станкостроительных предприятий Республики Беларусь (рис. 11.1). Производственная программа станкозавода «ВИСТАН» сориентирована на технологическое обеспечение автотракторной, электротехнической, сельхозмашиностроения и других ведущих отраслей машиностроительного комплекса.



Рисунок 11.1 – ОАО «Вистан»

Бесцентровошлифовальные станки ОАО «ВИСТАН» хорошо известны потребителям. Тысячи станков успешно работают практически во всех отраслях промышленности как стран СНГ, так и дальнего зарубежья.

В настоящее время внедрены унифицированные для всех моделей как для врезного, так и проходного шлифования, системы управления на базе программируемого контроллера с переводом механизмов подачи шлифовальной бабки, вращения ведущего круга, автоматической правки кругов на современные частотные и сервопривода (мод. ВСА-183NC, ВСА-184NC, ВСА-184KNC, ВСА-185NC). Панели оператора в сочетании с программируемыми контроллерами используются в качестве основного элемента пульта управления.

Развивая программу финишного оборудования, завод успешно работает на рынке с круглошлифовальными центровыми станками.

Начав с освоения производства шпиндельных бабок, завод в кооперации с Гомельским заводом станочных узлов, Рязанским станкозаводом выпускает универсальные токарно-винторезные станки мод. 16BT20П-21, 16BT20П-22 с межцентровым расстоянием 1000 и 1500 мм соответственно.

В 2003 году станкозавод «ВИСТАН» выпустил первую партию универсальных центровых токарных станков с ЧПУ мод. ВСТ-625-21CNC с диаметром обработки до 320 мм и межцентровым расстоянием 1000 мм, которые пользуются большим спросом.

В 2001 году завод модернизировал станки типа «обрабатывающий центр» (мод. ВСМ-206BMCNC), применив системы ЧПУ фирмы «Сименс», для повышения их конкурентоспособности.

В результате таких мероприятий завод освоил выпуск новых зубошлифозерных станков мод. ВСН-613NC, ВСН-620CNC, зубодолбежных мод. ВСН-123NC, ВСН-150NC, ВСН-180CNC. Из данной группы оборудования наиболее устойчивым спросом на рынке пользуются станки мод. ВСН-620 и ВСН-613.

Учитывая передовые тенденции мирового станкостроения, с 2007 года ОАО «ВИСТАН» освоил выпуск полуавтоматов зубошлифозерного мод. ВСН-620CNC и зубодолбежного ВСН-180CNC (диаметр обработки 800 мм), а в 2008 году – зубофрезерного мод. ВСН-3А50CNC с электронными, кинематическими связями вместо механических. С 2011 года все зубообрабатывающее оборудование по требованию Заказчика может быть изготовлено в таком исполнении. В 2012 году наше предприятие освоило выпуск зубошлифовального полуавтомата мод. ВСН-840CNC и рейкофрезерного мод. ВСН-6PCNC. В 2014 году освоен выпуск зубозакругляющего полуавтомата мод. GBCH-580CNC25. В 2015 году освоен выпуск зубофрезерных полуавтоматов конических зубчатых колес с прямым зубом мод. GBCH-232CNC26.

Механические мастерские стали началом пути **ОАО «Красный борец»** (рис. 11.2). Они были основаны и построены на берегу Оршицы в 1900 году оршанскими мещанами И.Б. Славинским и С.П. Ясинским. С этого и начался отсчет истории завода.

Первая продукция механических мастерских – бочки, цистерны, машины и аппараты для мельниц и винокуренных заводов, сельскохозяйственный инвентарь.



Рисунок 11.2 – ОАО «Красный борец»

Сегодня основным направлением производственной деятельности оршанских станкостроителей наряду с серийно выпускаемой гаммой плоскошлифовальных и фрезерных станков является и выпуск специальных шлифовальных станков по заказам потребителей для выполнения конкретных операций в мелкосерийном, серийном и массовом производстве. Получило развитие новое перспективное направление в отечественном станкостроении: создание высокоавтоматизированного оборудования, обладающего технологической гибкостью и точностью вне зависимости от квалификации рабочего, что позволило наиболее полно решать задачи современного производства, каждое из них является оригинальным изделием, в котором воплотились современные конструкторские и технологические решения.

Сегодня завод выпускает широкую гамму оборудования современного уровня:

- станки плоскошлифовальные с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем;

- плоско-профилешлифовальные с ЧПУ с круглым столом и горизонтальным/вертикальным шпинделем;
- круглошлифовальные с ЧПУ, в т.ч. универсальные;
- внутришлифовальные;
- резьбошлифовальные с ЧПУ;
- для шлифовки колец роликосферических подшипников с ЧПУ;
- шлицезубошлифовальные с ЧПУ;
- сферошлифовальные с ЧПУ;
- глубинного шлифования труднообрабатываемых материалов с ЧПУ;
- для шлифования кулачков распределительных валов двигателей с ЧПУ;
- для одновременной шлифовки торцов плоских деталей с ЧПУ;
- алмазно-электрохимического шлифования с ЧПУ;
- для профилирования абразивных шлифовальных кругов с ЧПУ;
- консольно-фрезерные, в т.ч. с ЧПУ;
- прессы кривошипно-шатунные;
- средства малой механизации (точильно-шлифовальные, точильно-шлифовально-полировальные, ленточно-шлифовальные, сверлильные, сверлильно-фрезерные, отрезные);
- технологическое оборудование (пылеотсасывающие устройства, транспортеры удаления стружки, плиты магнитные и электромагнитные, универсальные делительные головки);
- станочные приспособления для профильного шлифования;
- деревообрабатывающие станки и инструмент.

Завод оказывает услуги по ремонту и модернизации шлифовального оборудования.

Молодечненский станкостроительный завод начал своё развитие 12 апреля 1947 года, как литейно-механический, и размещался в здании бывшей учительской семинарии, выпуская в первые годы несложные изделия. С 1957 года предприятие перешло к изготовлению более сложных изделий: коробок передач для картофелекопалок, комплексов деталей для сельхозмашин.

С 1958 года завод стал именоваться Молодечненским станкостроительным заводом, получив задание специализироваться на выпуске сверлильных станков. С 1961 года стали серийно выпускаться двухшпиндельные, трехшпиндельные, а затем и универсальные вертикально-сверлильные станки, специальные станки (балансировочные, центровально-подрезные), гайконарезные и резьбонарезные полуавтоматы и автоматы, станки с ЧПУ и другие.

В 90-е годы был освоен выпуск оборудования для автосервиса и редукторов к сельхозтехнике.

Молодечненский станкостроительный завод в настоящее время выпускает широкий ассортимент продукции:

- вертикально-сверлильные станки;
- станки резьбонарезные вертикальные;
- настольно-сверлильные станки;
- автоматы гайконарезные;
- редукторы для сельхозтехники;
- станки центровально-подрезные.

ОАО «Минский завод автоматических линий им. П.М. Маше-рова» было образовано в 1954 году и занимает площадь 21,26 га. В ноябре 1957 года был изготовлен первый агрегатный станок, а в 1958 году произведена первая плавка в литейном цехе и изготовлена первая автоматическая линия.

Основным направлением деятельности предприятия является выпуск высокопроизводительного металлорежущего оборудования по индивидуальным заказам для предприятий машиностроительной отрасли.

За всю производственную деятельность изготовлено и отгружено Заказчикам более 1000 комплектов автоматических линий и 20000 станков. На заводе установлено 1719 единиц технологического оборудования, в том числе 842 единицы металлорежущего оборудования.

Продукцией являются: агрегатные станки, автоматические линии, токарные вертикальные и горизонтальные станки, отрезные автоматы, специальные станки.

ОАО «Гомельский завод станочных узлов» – крупнейший представитель машиностроительной отрасли Республики Беларусь. Давно и уверенно работая на рынке, завод заботится о своевременной модернизации производства.

Продукция предприятия:

- универсальный токарно-винторезный станок модели ГС526, предназначенный для выполнения разнообразных токарных работ в центрах или патроне, а также для нарезания резьб;
- станки токарные с УЦИ;
- станки токарные с ЧПУ;
- узлы (коробки подач и фартуки к токарно-винторезным станкам, головки автоматические к станкам с ЧПУ);
- гамма радиально-сверлильных станков (станки модели 2К522, ГС545, 2К550);
- станок вертикально-сверлильный модели 2Т140 (наибольший диаметр сверления 40 мм);
- гамма настольно-сверлильных станков (станки модели ГС2116К, ГС2112, 2Р118).

ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей» – одно из самых известных не только в Беларуси, но и за рубежом производителей высококачественной технологической оснастки, а также узлов и деталей как для станкостроительных заводов стран СНГ, так и для предприятий автомобильной и тракторной промышленности.

Завод серийно изготавливает:

- патроны токарные 2-, 3-, 4-кулачковые с механизированным и ручным приводами (D-125-800 мм);
- патроны токарные механизированные для обработки труб (D-410, 450, 720 мм);
- тиски станочные с ручным и механизированным приводами (ширина губок 80–320 мм);
- столы поворотные круглые;
- пневмоцилиндры вращающиеся;
- резцедержатели и суппорты для токарных станков;
- узлы и детали для автотракторной техники.

Система качества проектирования и производства выпускаемых изделий соответствует требованиям СТБ ИСО 9001-2009.

11.2 Российские лидеры в области производства станочного оборудования

Крупнейшими производителями станочной продукции в Российской Федерации являются: Астраханский станкостроительный завод, Владимирский станкостроительный завод, Липецкое станкостроительное предприятие, Нижегородский завод фрезерных станков, Рязанский станкостроительный завод, Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения, Самарский станкозавод, Станкостроительный завод Туламаш, Ульяновский завод тяжёлых и уникальных станков [209–216].

Астраханский станкостроительный завод создан в 1944 году. Предприятие занимает площадь 7000 кв. метров, из них 3400 кв. метров заняты производственными цехами и служебно-бытовыми помещениями. На территории завода находится закрытый склад для хранения металла, литья, поковок и готовой продукции, в упакованном виде. Склад оснащен козловыми кранами грузоподъемностью 10 и 20 тонн. Предприятие расположено в черте города в трёх километрах от железнодорожной станции Астрахань-I, что обеспечивает ввоз материалов и вывоз продукции железнодорожным транспортом через подъездные пути завода (рис. 11.3).

Основной выпускаемой продукцией являются токарно-винторезные станки. Наряду с этим выпускаются станки для резки и гибки арматуры, абразивно-отрезные станки, точильно-шлифовальные станки. Также выпускаются виброопоры и ножи для гильотинных ножниц различных модификаций.



Рисунок 11.3 – Астраханский станкостроительный завод

С 2003 года Астраханский станкостроительный завод совместно с холдингом ZMM-BULGARIA (Болгария) приступили в выпуску новых моделей токарно-винторезных станков. В производстве используются комплектующие ведущих европейских производителей – мировых лидеров в машиностроении. Это широкая гамма универсальных токарно-винторезных станков с диаметром обработки от 325 до 630 мм и расстоянием между центрами от 750 до 5000 мм. Они могут использоваться для нарезания метрической, дюймовой, модульной и питчевой резьб. В сравнении с другим российским оборудованием аналогичного модельного ряда станки производства Астраханского станкозавода существенно дешевле, при этом они более универсальны. Станки производятся на базе уже известных и зарекомендовавших себя станков ZMM-BULGARIA, которые раньше производились только в Болгарии. Их характерной особенностью является высокая степень надежности. При производстве станков используются только высококачественные комплектующие. В частности, вся электрика в них – производство самой авторитетной среди производителей электрооборудования немецкой фирмы «Шнайдер-электрик». В самой ответственной части станка – шпиндельном узле – используются подшипники и схемы их установки только ведущих фирм SKF и FAG. При этом базовые модели станков маркируется клеймом «с нормальной точностью», но по своим характеристикам практически сопоставимы с российскими аналогичными станками повышенной точности.

Учитывая надежность и простоту в эксплуатации, выпускаемые заводом станки пользуются потребительским спросом практически во всех отраслях промышленности. Наряду с поставкой станков на внутренний рынок производится поставка станков на внешние рынки (Иран, Вьетнам, Китай, Турция, Болгария и др.).

Продукция:

- станки токарно-винторезные;
- станки токарно-винторезные с ЧПУ;
- станки гибочные для прутков арматуры;
- станки трубогибочные;
- ножницы для резки арматурной стали;
- станок абразивно-отрезной модели 82АС400;
- станок ленточно-отрезной модели;
- станки сверлильные;
- станок фрезерный одношпиндельный ФСШ-10;
- пылеулавливающие установки.

Владимирский станкостроительный завод «Техника» – предприятие с многолетней историей (основан в 1935 году). В распоряжении завода площадь более 10 000 м².

Продукция:

- автомат токарный патронный мод. АТП-160, АТП-200;
- вертикальные обрабатывающие центры мод. МЦ3-700 и МЦ-5-700;
- круглошлифовальный прецизионный универсальный станок мод. КШ-3М;
- многоцелевой токарный станок ЧПУ мод. STL-320/600, STL-400/1000, STL-500/1000;
- модернизированный вертикальный многооперационный станок мод. ВМ12-500;
- модернизированный координатный машинный центр с ЧПУ модели КМЦ-600 (ГПМ-500);
- модернизированный многоцелевой станок с авт. сменой инструмента МС12-500;
- модернизированный токарный станок с ЧПУ 16А20Ф3;
- модернизированный фрезерный консольный вертикальный станок с ЧПУ и автоматической сменой инструмента ГФ2171;
- модернизированный фрезерный станок с ЧПУ мод. КФПЭ-250Н2;
- широкоуниверсальный специализированный фрезерный станок модели ФСМ-250/676;
- сверлильные станки;
- плоскошлифовальные станки с прямоугольным (крестовым или круглым) столом, с вертикальным шпинделем, консольного типа;
- внутришлифовальные станки;

- круглошлифовальные станки;
- токарные станки;
- вертикально/горизонтально-фрезерные станки;
- точильно-шлифовальные и отрезные станки;
- стенды для испытаний.

Липецкое станкостроительное предприятие было основано в 1929 году из механических мастерских и профессионально-технической школы (рис. 11.4). Завод расположился на территории бывшей Воронежской рощи.



Рисунок 11.4 – Сборочный цех липецкого станкостроительного предприятия

В 1933 году его переименовали в Ремонтно-тракторный завод. В 1956 году завод переименован в Липецкий станкостроительный завод. В процессе развития завода осваиваются новые виды продукции и увеличиваются объемы производства. Запущенные в производство станки позволяют отказаться от приобретения подобного оборудования по импорту. Продукция завода экспортируется во многие страны. В 1970 году ввели в строй корпуса главного сборочного (на 2000 единиц металлорежущих станков в год) и заготовительно-штамповочного (площадь 6,5 тыс. м²) цехов. В 1976 году – еще одного сборочного цеха. К 1990-м годам предприятие стало Липецким станкостроительным объединением. В начале 1990-х его акционировали.

В 1993 году на нём начали производить трактора (5,5 тыс. штук в год). В 1995 году появился корпус сборки линейных подшипников для высокоточных станков.

Продукция:

- сверлильные станки;
- плоскошлифовальные станки с прямоугольным (крестовым или круглым) столом, с вертикальным шпинделем, консольного типа;
- внутришлифовальные станки;
- круглошлифовальные станки;
- токарные станки;
- вертикально/горизонтально-фрезерные станки;
- точильно-шлифовальные и отрезные станки.

Горьковский завод фрезерных станков вступил в строй действующих предприятий страны в декабре 1931 года и все довоенные годы был практически единственным предприятием, поставляющим различные фрезерные станки для нужд отечественного машиностроения.

Продукция:

- станки фрезерные консольные горизонтальные;
- станки фрезерные консольные вертикальные;
- станки фрезерные бесконсольные вертикальные;
- станки фрезерные консольные широкоуниверсальные;
- продольно-фрезерные станки;
- станки вертикально-фрезерные с ЧПУ;
- фрезерные ОЦ.

11.3 Лидеры дальнего зарубежья в области производства станочного оборудования

Крупнейшими станкостроительными предприятиями дальнего зарубежья являются [217–256]:

Австралия: ANCA.

Австрия: EMCO.

Бельгия: HACO, LVD.

Великобритания: HEXAGON.

Германия: BENZINGER, Biegemaster, Bihler, Boschert, CHIRON, ELB-Schliff, Handtmann, HEDELIUS, HELLER, Hofler, Liebherr, SPINNER, Starrag, RUMPF, ZIMMERMAN, ZOLLER.

Италия: ALESAMONTI, Biglia, BOLDRINI, CARETTA TECHNOLOGY, CEMSA, CO.MA.L., COSTA, EUROMAC, FASPAR, GASPARI, Giuseppe Giana, MACRI, Millutensil, PAMA, Samputensisli, ZANI.

Нидерланды: UNISIGN, Voortman.

Польша: AVIA.

Словакия: MicroStep, TRENS.

Франция: HURON.

Чехия: Bomar, H.M.Transtech, KOVOSVIT MAS, TOS VARNSDORF.

Швейцария: BalTec, Daetwyler, EWAG, Fassler, FEINTOOL, FEHLMANN, MIKRON, OSTERWALDER, REIDEN, SOLO.

Швеция: CIDAN.

Индия: JYOTI.

США: CINCINNATI MASHINES, HAAS, HURCO, Milltronics, Moore Tool, Gleason.

Япония: AMADA, Hamai, FANUK, MAKINO, Matsuura, Mazak, MITSUI SEIKI, Okuma, TOYODA.

Китай: Beijing No.1 Machine Tool Co., Ltd. China National Machine Tool Sales and Technical Service Corp., Guangzhou Machine Tool Works Co., Ltd., Shanghai Machine Tool Works Ltd. Spark Machine Tool Co., Ltd. Tianjin No.1 Machine Tool Works.

Фирма ANCA была создана в 1974 году в г. Мельбурне, Австралия, где до сих пор находится центральный офис компании.

Основные этапы истории развития компании:

- 1974 – создание фирмы ANCA Pty в г. Мельбурне, Австралия;
- 1975 – изготовление первой австралийской системы ЧПУ;
- 1986 – на выставке IMTS в г. Чикаго, США, представлен первый универсальный заточный станок с ЧПУ;
- 1986 – открыт филиал фирмы ANCA Ltd. в Великобритании;
- 1989 – открыт филиал фирмы ANCA Inc. в США;
- 1991 – открыт филиал фирмы ANCA GmbH в Германии;
- 1991 – внедрение системы ЧПУ поколения System 32 и заточного станка;
- 1998 – открыт филиал фирмы ANCA SARL во Франции;
- 2000 – продан 1000-й заточный станок с ЧПУ;
- 2004 – открыт филиал фирмы ANCA Machine Tool Co. Ltd. в Китае.

Фирма ANCA является признанным мировым лидером в производстве многоосевых шлифовальных станков с ЧПУ. ANCA предлагает для инструментальных производств целую линейку многоосевых станков для изготовления и переточки инструмента.

История успеха компании **EMCO**, основанной в Австрии, началась 60 лет назад с производства обычных токарных станков. EMCO Group являлась одним из подразделений международной промышленной группы – TEC Industries AG и превратилась в ведущего производителя станков в Европе с производственными мощностями в Австрии, Италии, Чехии и Германии.

Компания EMCO Group является самым крупным производителем станков в Австрии (рис. 11.5). Благодаря инновационным решениям в области токарной обработки, фрезерования и комплексной обработки на

станках, а также благодаря ведущей мировой программе обучения компания EMCO завоевала себе международное признание и имя.



Рисунок 11.5 – Офис компании EMCO

Компания EMCO Group представляет собой объединение ведущих производителей в области станкостроительной промышленности, которые совместно трудятся над созданием интеллектуальной и инновационной продукции для металлорежущей промышленности.

Головной офис и центральное производство компании EMCO Group расположены в Зальцбурге. Кроме того, имеются предприятия в Германии, Италии и Чехии. Более 160 филиалов по сбыту и центров продаж обслуживания представляют компанию EMCO на международном рынке.

Компания EMCO Group разрабатывает и производит инновационные высокотехнологичные станки для металлорежущей промышленности. Компания EMCO предлагает широкую линейку продукции: от традиционных токарных и фрезерных станков, универсальных токарных станков с ЧПУ, фрезерных центров с ЧПУ до токарных центров с ЧПУ для комплексной обработки.

Особое внимание компания EMCO уделяет производственному обучению сотрудников предприятий, а также будущих специалистов для работы на станках с ЧПУ современного технического уровня во всем мире. Концепция обучения охватывает концептуальные станки, программные средства для моделирования производственных заявок, а также совершенные учебные пособия – обучающие программы.

В группу компаний EMCO Group входят:

EMCO Fatip занимает ведущие позиции на рынке в области обрабатывающих центров с ЧПУ. В продаже имеются: вертикальные фрезерные центры с числовым программным управлением, с и без автоматической смены паллет для промышленного производства высокой производительности.

EMCO Intos – это важный производственный центр внутри компании EMCO Group по производству компонентов и деталей, расположенный в Чехии. Другим направлением является производство традиционных токарных и фрезерных станков.

Magdeburg Werkzeugmaschinen AG – компетентный центр по производству прецизионных деталей внутри компании EMCO Group в (г. Магдебург). Кроме того, предприятие в Магдебурге является специалистом в создании концепции и развитии индивидуальных производственных ячеек, а также решении проблем в автомобилестроении.

Итальянский **станкостроительный завод ALESAMONTI** реализует горизонтально-расточные станки и фрезерные обрабатывающие центры с ЧПУ.

Компания Alesamonti является бизнесом семьи Monti, первый из которых в 1956 году открыл производство поворотных индексированных столов и передач для расточных и фрезерных станков.

История завода Alesamonti началась в 1960 году с механической мастерской, сегодня это станкостроительный завод общей площадью 2,2 Га, из которых 16.000 м² крытые производственные площади. За 58 лет построено более 4,5 тысяч станков, в штате 48 работников, сервисная служба 15 техников для внутреннего рынка, 16 техников для внешнего рынка. Основные рынки сбыта: Италия, Канада, Россия, Германия, Франция, США, Бельгия, Турция, Казахстан.

Высокопроизводительные, прецизионные горизонтально-расточные и горизонтальные сверлильно-расточно-фрезерные станки и обрабатывающие центры с ЧПУ ALESAMONT 100 % проектируются и строятся на собственном заводе в Италии. Чугунное литье берется на итальянском литейном заводе. Базовые детали и узлы станков обрабатываются собственными силами. Все встраиваемые компоненты управления и детали узлов закупаются у лучших европейских производителей.

CO.MA.L (Италия) – один из мировых производителей металлообрабатывающих станков.

Производит:

- листогибочное оборудование;
- трубогибочное оборудование;
- профилегибочное оборудование;
- индивидуальное оборудование, изготовленное по техническим условиям заказчика.

Ассортимент продукции Компании CO.MA.L содержит станки от простейших рычажных до сложных, имеющих до 6 управляемых ЧПУ осей. Оборудование CO.MA.L способно производить цилиндрические, концентрические, конические изделия из металлического листа, а также гнуть металлический профиль как в ручном, так и в автоматическом ре-

жимах. Опционально оборудование имеет возможность гнуть готовые изделия с буртиками до 15 мм.

Costa Levigatrici SpA (Италия) является ведущим мировым производителем автоматического шлифовального оборудования для обработки дерева, металла и твердых поверхностей (рис. 11.6).

Производят калибровальные, шлифовальные и брашировальные станки для обработки древесины и композитных поверхностей. Оборудование для удаления грата, заусенцев, шлифования и полирования черных и цветных металлов: деталей, листов и рулонов.



Рисунок 11.6 – COSTA

EUROMAC (Италия) – мировой производитель оборудования для листообработки металла с программным управлением (ЧПУ): прессы – горизонтально-гибочные, координатно-пробивные, угловырубные и электромеханические. Для их изготовления компания использует инновационные технологии и материалы, а также собственные технологические разработки для достижения максимальной эффективности.

Производством станков для металлообработки этот итальянский бренд занимается с 1986 года: более чем за 30 лет, компания разработала и выпустила на рынок множество моделей как с традиционным классическим управлением, так и с ЧПУ.

Компания **Gasparini** (Италия) предлагает два основных типа машин: листогибочные прессы и гильотинные ножницы. Вся продукция компании относится к высокому ценовому сегменту рынка, включает в себя самые современные технологии, надежную конструкцию, при этом проста в использовании, а возможность внедрения различных конфигураций и широкий спектр опций и аксессуаров позволяют изготовить машину в соответствии с потребностями самого взыскательного заказчика.

Линейка листогибочных прессов включает в себя машины с усилием гибки от 25 до 1500 тонн и длиной гибки от 1250 до 10000 мм, при этом возможно управление прессом как оператором, так и автоматически в составе роботизированного комплекса.

Линейка гильотинных ножниц включает в себя гильотины с длиной реза от 2 до 6 м и толщиной разрезаемого материала до 30 мм.

Компания **Giuseppe Giana** (Италия) была создана 18 лет назад специалистами, имеющими огромный опыт и знания в области металлообработки, приобретенные ими за 40 лет трудовой деятельности.

Для удовлетворения постоянно возрастающих требований к качеству продукции в условиях жесткой конкуренции Джузеппе Джиака построил стратегию развития компании на использовании только передовых технологий. Большой парк новых и модернизированных станков, собственное литейное производство гарантируют быстрое и качественное выполнение заказов на специальные станки больших размеров.

Постоянное техническое обновление, собственные ноу-хау, применение передовых технологий являются основополагающими для миланской компании, что позволяет адекватно реагировать на запросы рынка и соответствовать ожиданиям клиентов.

В Маньяго – районе Милана – фирма **Giuseppe Giana Spa** занимает 30 000 кв. м, а размещенные на этой площади офисные и производственные помещения – 10 000 кв. м. Компания специализируется в сфере проектирования и изготовления: токарных станков и токарных обрабатывающих центров с функциями сверления и фрезерования, станков для глубокого сверления и глубокой расточки (рис. 11.7). Высокий уровень технологической оснащенности оборудования объясняет успех компании как на европейском, так и на мировом рынках.



Рисунок 11.7 – Станок глубокого сверления

Компания **Macri Italia** (Италия) была создана в 1997 году назад на основе многолетнего опыта в производстве электрических трубогибоч-

ных машин. Благодаря использованию передовых технологий и узкой специализации, Macri Italia сегодня экспортирует по всему миру почти 70 % своей продукции, изготовленной полностью в Италии.

Компания, специализирующаяся на выпуске трубогибочных станков, сфокусировала свою деятельность в этом сегменте рынка, работая, в основном, на заказ с целью удовлетворения производственных потребностей каждого конкретного клиента.

Особенностью трубогибочных машин Macri Italia является технология, заключающаяся в уникальном программном обеспечении, которое позволяет осуществлять управление машиной с помощью новаторского дружественного интерфейса.

Компания **Cidan Machinery Sweden AB** (Швеция) была основана в 1907 году в Швеции и изначально носила название Göteneds Mekaniska Verkstad AB в честь города, в котором была основана – Götene.

На сегодняшний день компания CIDAN прочно закрепились в нише производителей оборудования для обработки тонколистовой и рулонной стали и по праву гордится тем, что ее оборудование бесперебойно работает практически в каждом уголке земного шара. CIDAN имеет дочерние компании в Дании и США, которые занимаются технологическими разработками, продажами, сервисным обслуживанием и поставкой запасных частей на локальный рынок.

Направлением компании CIDAN является производство электро-механических гибочных прессов с поворотной балкой, электро-механических гильотинных ножниц, компактных модульных линий продольно-поперечной резки рулонов.

Шведская компания CIDAN занимает особое место на рынке листовой металлообработки. Она производит электро-механические листогибы с поворотной балкой с ЧПУ, недорогие линии для точной продольной и поперечной резки, размотки с рулона и правки, а также механические гильотинные ножницы с ЧПУ.

Компания **BeijingNo.1 Machine Tool Co** (Китай) была основана в 1949 году. Это был первый производитель фрезерных станков Китайской Народной Республики.

Компания производит широкий спектр станков, в том числе фрезерные станки, сверлильные, сверлильные и фрезерные станки с ЧПУ, вертикальные и горизонтальные обрабатывающие центры, сверлильные центры с ЧПУ, фрезерные и расточные станки типа Plano для тяжелых и сверхмощных работ, сборочные линии транспортных средств, компоненты, геологические бурильщики и т.д.

За последние 60 лет компания произвела и поставила более 500 типов и 100 000 комплектов различных станков в Китае и во всем мире.

Компания **TianjinNo.1 Machine Tool Works (TMTW)** (Китай) была основана в 1951 году в г. Тяньзинь, Китай. TMTW является крупней-

шим азиатским производителем широкой гаммы высокотехнологичных станков с ЧПУ для обработки конических зубчатых колес. Производственные площади компании TMTW расположены в центре экономической зоны Бохай на территории 178 000 кв. м. Для сборки и контроля оборудования используется цех 19 000 кв. м с воздушным кондиционированием.

Компания специализируется на выпуске зубодолбежных, зубофрезерных и зубошлифовальных с ЧПУ.

Немецкая компания **Benzinger** – это образец немецкого качества, долговечности и надёжности. Разработчик трудится на рынке с 1916 года и за более чем 100-летний опыт работы стал одним из ключевых игроков рынка в сфере производства машин высокой точности (рис. 11.8). Сегодня сложно представить себе крупные отрасли промышленности, где бы не использовались устройства от Benzinger. Чтобы узнать больше о том, что предлагает производитель прецизионных токарных центров, обратитесь к каталогу по ссылкам ниже.



Рисунок 11.8 – Офис компании BENZINGER

Современные прецизионные станки от компании Benzinger применяются практически во всех отраслях промышленности. Среди них стоит выделить оптическую и медицинскую сферу, автомобилестроение, космические технологии, стоматологию и даже производство ювелирных изделий. Токарные станки Benzinger традиционно отличаются высокой точностью работы и славятся многообразием выбора.

Каждый клиент компании сможет подобрать устройство в зависимости от своих задач. В ассортименте присутствуют 5-осевые токарно-фрезерные центры, классические токарные станки с ЧПУ, а также высокоточные машины с 1 или 2 шпинделями, что хорошо подходит для комбинированного производства – точения и шлифования.

Машины Benzinger были построены в районе Пфорцхайм с 1916 года, с 1941 года под управлением семьи Jehle. Как компания, управляемая собственниками, Benzinger может быстро и гибко реагировать на растущие требования рынка и представляет себя как глобально действующий бизнес.

Компания предлагает ассортимент различных машин для оптики, точного машиностроения, медицинской и стоматологической промышленности, электронных систем и систем управления, гидравлических и подшипниковых технологий, автомобильной промышленности, космической техники и авиации, а также для производства часов и ювелирной промышленности.

CHIRON – немецкая производственная компания. Сегодня это один из лидеров на рынке фрезерных станков и вертикальных обрабатывающих центров с ЧПУ. Среди европейских производителей оборудования CHIRON занимает 6 место.

Компания CHIRON известна своей запатентованной системой смены инструмента. Время смены инструмента от 0,5 с. Заказчиками компании CHIRON являются многие корпорации: Siemens, Renault S.A., Bosch, General Motors, Valeo. Также на оборудовании марки CHIRON производят комплектующие для автомобилей АвтоВАЗ, Mercedes-Benz, BMW.

Со времени своего основания в 1921 г. компания CHIRON (Германия) специализировалась на производстве вертикально-сверлильных и вертикально-фрезерных станков.

Первый вертикальный обрабатывающий центр был выпущен компанией в 1970 году, и к настоящему времени CHIRON является одним из крупнейших не только в Европе, но и во всем мире производителем многоцелевых прецизионных обрабатывающих центров.

Только в станках CHIRON применяется специально разработанный магазин инструментов корзинного типа, расположенный вокруг шпинделя станка. Такая конструкция магазина позволяет значительно сократить время на смену инструментов.

Оснащение станков средствами активного контроля износа режущего инструмента, обрабатываемой поверхности детали, быстрая смена инструмента, унификация конуса магазина инструмента значительно сокращают цикл обработки и повышают качество изделий.

Станки CHIRON оснащаются как датчиками абсолютного углового перемещения (энкодерами), так и прямыми измерительными системами (оптическими линейками), в зависимости от требуемой точности

обработки. На станках CHIRON применяется консистентная смазка направляющих и шпиндельного узла. Это значительно повышает работоспособность узлов станков и упрощает техническое обслуживание.

По желанию заказчика станки дополняются различными опциями, позволяющими наиболее эффективно выполнять производственные задачи.

Широкий модельный ряд станков CHIRON позволяет выполнять многопрофильную обработку для различных типов производств. Компания выпускает более 120 модификаций одно-, двух- и четырёхшпиндельных прецизионных обрабатывающих центров.

Группа компаний **Liebherr** уже более шестидесяти лет представлена в сфере проектирования зубообрабатывающих станков, изготовления зуборезных инструментов и разработки систем автоматизации и сегодня входит в число ведущих мировых поставщиков комплексных решений. Деятельность Liebherr в этом сегменте объединена в департамент Станков и систем автоматизации, во главе которого стоит компания *Liebherr-Verzahntechnik GmbH*, расположенная в городе Кемптен (Германия).

Шлифовальный станок LGG 180 представляет собой комбинированное решение для шлифования зубьев и профилей зубчатых венцов. Станок сочетает быстрое шлифование с константно высоким качеством, благодаря чему оптимально подходит для крупносерийного производства. Среди прочего, данные станки Liebherr применяются в машиностроении для шлифования зубчатых колёс, используемых в трансмиссиях легковых автомобилей.

Серийное производство зубообрабатывающих станков Liebherr началось в 1950-х годах. Сегодня Liebherr входит в число ведущих мировых поставщиков зубофрезерных и зубодолбежных станков обкатного типа, зубошлифовальных и профишлифовальных станков, а также зуборезных инструментов. Данные разработки Liebherr применяются крупнейшими международными машиностроительными компаниями.

Вместе с тем передовая технология высокоскоростной обработки зубчатых венцов без применения смазочно-охлаждающих жидкостей отличается высокой экологичностью и позволяет повысить производительность станков.

Зубофрезерные станки обкатного типа Liebherr позволяют обрабатывать детали самых различных размеров. Клиенты получают целый ряд преимуществ, в том числе увеличение производительности.

Обкатные зубофрезерные станки LK 300 и LK 500 – это технологический процесс, а также инструменты и машины, включая устройства смены инструмента и автоматизации, из одних рук.

Серия зубообрабатывающих станков LCS Liebherr гарантирует клиентам высочайшую точность. Эти станки оптимально подходят для чистовой обработки зубчатых колес и шлицевых валов после закалки.

В приборах для измерения зубчатых колёс Liebherr особое внимание уделяется эргономике и удобству пользования, точности, прочности, долговечности и простоте технического обслуживания.

Бельгийская компания **НАСО** была образована в 1965 г. Основателями партнерского предприятия стали Хавегеер и Де Маре. В первое время своего существования данная фирма являлась семейным бизнесом, основными направлениями работы которого являлись ремонт и обслуживание различного оборудования. Кроме того, предприятие занималось выпуском нескольких элементов, которые использовались другими компаниями для создания гидравлического привода.

В 72 году с конвейера НАСО выходит первое оборудование, предназначенное для обработки листового металла. Этим оборудованием стали гильотинные ножницы. С этого дня компания взяла новый курс развития в данной сфере – позже фирма начинает выпускать разнообразную продукцию, позволяющую работать с листовым металлом и обрабатывать его. На сегодняшний день в ассортименте компании НАСО мы можем встретить разнообразные виды производственных установок. В каталоге компании «Дюкон».

Фирма специализируется на выпуске оборудования:

- пресс для гибки;
- гильотинные ножницы;
- координатно-пробивные прессы.

Компания **Unisign** (Нидерланды) основана в 1973 как машиностроительная компания, специализирующаяся в области разработки инструментов, технологической оснастки и специальных станков для металлообрабатывающей промышленности.

Первый обрабатывающий центр с CNC-управлением был представлен в начале восьмидесятых годов 20 века и был разработан в основном для сверления отверстий и нарезания резьб метчиками в различных деталях.

Первые обрабатывающие центры компании в дальнейшем стали основой создания полной гаммы высокоточных обрабатывающих центров, состоящей из следующих четырех серий: Univers, Unipent, Unipro, Uniport и Unicom.

Компания Unisign стала международной компанией, сотрудничающей со многими фирмами в мире и имеющей ежегодный товарооборот порядка 20 миллионов евро.

Предприятие **AVIA** (Польша) было основано в 1902 году и является одним из старейших польских промышленных предприятий. В течение более 50 лет AVIA является одним из ведущих польских производителей станков высокого качества. В настоящее время предлагает широкий спектр вертикальных обрабатывающих центров, ручные и с ЧПУ фрезерных станков, токарных станков с ЧПУ и шариковых винтов. Дол-

гое время AVIA широко признанный производитель станков в Европе, особенно в Германии, которая является нашим основным рынком.

Обладая широкими технологическими возможностями, токарные станки с ЧПУ и фрезерные обрабатывающие центры AVIA являются наиболее высокопроизводительными и самыми востребованными типами токарных и фрезерных станков. Прочная конструкция литой станины и структура фрезерных и токарных обрабатывающих центров AVIA специально конструировалась с учетом повышенных требований к жесткости для работы с тяжелыми режимами резания. Все элементы конструкции токарных станков с ЧПУ и фрезерных обрабатывающих центров AVIA для сохранения точности, прочности и термостабильности при длительной работе проходят обязательную термообработку.

Все важные производственные операции, начиная с обработки отливок, производства шпинделей, шарико-винтовых пар, заграждений, направляющих и заканчивая сборкой и отладкой оборудования, производятся на заводе AVIA в городе Варшава. Каждая единица оборудования подвергается многочисленным проверкам перед отправкой к заказчику. Начиная с проверок геометрии станка посредством лазерного интерферометра и заканчивая проверками точности позиционирования, линейной и круговой интерполяции, а также многочисленным тестам станка под нагрузкой. Качество станков подтверждается многолетним присутствием продукции на требовательных рынках Западной Европы, а именно на немецком рынке.

Компания **Micro Step** (Словакия) предлагает машины и технологии с ЧПУ для обработки материалов. Станки включают в себя полный спектр современных используемых технологий резки – плазменной, лазерной, газокислородной, гидроабразивной, 3D-мельница – и большое разнообразие дополнительного оборудования и программного обеспечения для сверления, маркировки, процесс синхронизации, рабочий процесс автоматизации и расширения производства управления.

Оборудование Micro Step:

- машины плазменной резки;
- машины газокислородной резки;
- машины гидроабразивной резки;
- машины для резки труб;
- машины лазерной резки;
- фрезерные станки портального типа.

АО **TRENS** (Словакия) – является заводом-изготовителем токарных станков для металлообработки с 1951 года. АО TRENS – это современное название завода TOS Trencín, хорошо известного завода токарных станков как на территории бывшего СССР, так и во всех европейских странах. На сегодняшний день все выпускаемые металлообрабатывающие станки TRENS разработаны с учётом самых современных направлений в производстве станков для металлообработки и постоянно

совершенствуются исходя из постоянно возрастающих требований заказчиков. И именно постоянная работа по улучшению качества выпускаемых станков, применение новейших металлообрабатывающих станков и измерительного оборудования позволили достичь заводу токарных станков TRENS стабильного роста спроса на производимые станки.

Линейка завода токарных станков TRENS включает в себя как стандартные станки, так и станки специального назначения, а также специальную оснастку и даже технологии – от чертежа до детали. Вся выпускаемая продукция завода токарных станков TRENS представляет собой изделия высочайшей точности и качества обработки, что и является главным конкурентным преимуществом изготавливаемого компанией оборудования для производства. Металлообрабатывающие станки, производимые заводом-изготовителем токарных станков TRENS, с успехом заменяют токарные станки производства стран бывшего СССР, но на совершенно ином качественном уровне.

Отличительной особенностью завода токарных станков TRENS является возможность внесения изменений в конструкцию станка по требованию заказчика. Токарные станки TRENS достаточно просты в установке, запуске, обслуживании и эксплуатации и требуют минимального внимания персонала. Вместе с тем, по необходимости, мы предлагаем услуги по пуско-наладке станков, обучению операторов, а также качественное гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Токарно-винторезные станки TRENS предназначены для обработки деталей в самых различных видах производств – от единичного до крупносерийного. Номенклатура токарных станков TRENS достаточно широка и включает в себя следующие серии:

- токарно-винторезные станки серии SN;
- токарные станки с ЧПУ серии SE;
- токарно-фрезерные обрабатывающие центры с ЧПУ серии SBL.

Компания **HURON** (Франция) образовалась в 1857 году. Полтора столетия французские проектировщики трудятся над созданием совершенных машин, специализируясь на выпуске высокоскоростных фрезерных обрабатывающих центров вертикального и горизонтального типа. Коллекция HURON насчитывает более 30 серий станков, большинство из которых пользуются популярностью и на Западе, и на Востоке. Такие крупные предприятия, как MOTORS, SEW USOCOME, INA ROULEMENTS, TRUMPF, KUHN, SIEMENS, SONY, SHARP, отдают предпочтение технике HURON.

Фрезерный обрабатывающий центр вертикальный, в отличие от горизонтального, имеет вертикально встроенный шпиндель, который в некоторых моделях станков смещен вдоль своей оси и способен делать поворот вокруг горизонтальной оси, что значительно расширяет возможности этой техники.

История компании **Kovosvit MAS** (Чехия) началась с создания Моравского Акционерного Общества. А точнее, с основанной в конце XIX века в городе Злине небольшой семейной фирмы по пошиву обуви, ставшей к 20-м годам XX века предприятием по выпуску станков для обувного концерна. Вскоре предприятие переключилось на выпуск станков для набиравшей обороты металлообрабатывающей отрасли. И в 1939 году в г. Сезимово Усти была открыта основная производственная площадка MAS.

Завод Kovosvit MAS – это один из крупнейших производителей обрабатывающих станков в Чешской Республике и центральной Европе. Завод с более чем 70-летней историей и традицией производства и разработки металлообрабатывающего оборудования.

Номенклатура выпускаемой заводом продукции разнообразна и в состоянии удовлетворить потребности практически любого производственного процесса.

TOS VARNSDORF (ТОС Варнсдорф) (Чехия) располагается в г. Варнсдорф в Чехии и имеет долголетнюю историю в производстве металлообрабатывающих станков. Фирма была основана в 1903 году под названием «Арно Плауерт», и в настоящее время выросла в одно из самых крупных машиностроительных предприятий Чешской Республики, продукцию которого знают во всем мире. В основе производственной программы компании лежит производство горизонтальных фрезерных и расточных станков, токарных центров и горизонтальных расточных станков средних размеров.

Компания **FEHLMANN** (Швейцария) создает станки высокой точности, предназначенные для сверления и фрезерования, с 1930 года. В ассортименте швейцарской компании есть обрабатывающие центры, станки с ЧПУ (для сложной и простой обработки), координатно-расточная и сверлильная техника, а также станки с ручным управлением для сверления: PICOMAX 20, PICOMAX 51 TNC, 3-, 5-осевые прецизионные вертикальные обрабатывающие центры PICOMAX 56/60-м/90-м/95, портально-обрабатывающий центр PICOMAX 823 и 825 VERSA в 3- и 5-осевом исполнении.

PICOMAX 20/20-м – безупречные модели металлорежущего оборудования, относящиеся к категории «прецизионные фрезерные станки». Техника соответствует высоким стандартам точности, которые требуются на современном производстве. Их используют для сверления, нарезания и фрезерования, обработки сложных деталей и оснастки.

PICOMAX 51TNC – прецизионные фрезерные станки данной модели характеризуются инновационными конструктивными решениями, оперативностью и простотой функционирования модулей, оснащенностью компьютерным управлением. Станки этой линии являются основой основ на любом крупносерийном производстве.

PICOMAX 95 – 3-, 5-осевые прецизионные фрезерные станки (для малосерийного производства) и обрабатывающие центры с ЧПУ идеально подходят для фрезерования твердых металлов. Модель сочетает мощность, оптимизированную конструкцию и многофункциональность.

Фирма FEHLMANN для прецизионных фрезерных станков разработала особое программное обеспечение FPM, обеспечивающее эффективное управление, контроль и протоколирование работы оборудования. Все модули функционируют просто и быстро.

Компания **MIKRON** (Швейцария) – производитель высокоскоростных и высокопроизводительных обрабатывающих центров.

На многоцелевых станках MIKRON возможна высокоскоростная и высокоэффективная обработка деталей сложной формы из различных материалов, в том числе из конструкционных, инструментальных сталей, электродных материалов – графита, меди, а также труднообрабатываемых материалов типа титана, закаленных сталей с твердостью до 62...65 HRC и др.

Высокая точность обеспечивается высокой жесткостью конструкции, приводом ШВП с оптическими линейками Heidenhain, лазерной системой контроля инструмента.

Стабильность резания достигается применением шпинделей с векторным управлением швейцарской фирмы STEP TEC и частотой вращения до 60 000 об/мин.

Станины большинства высокоскоростных станков выполняются из полимерного материала RENOCAST, обеспечивающего по сравнению с традиционным чугуном лучшие параметры виброустойчивости, теплопроводности, надежности и долговечности.

Фирма Mikron – пионер в области высокоскоростной обработки – разработала гамму станков XSM для удовлетворения требований быстро развивающегося рынка оборудования для высокоскоростной обработки. Гамма XSM разработана на основе хорошо известной гаммы HSM станков с добавлением возможностей реализации самых больших в мире скоростей подач, ускорений и наилучших показателей управления.

Компания **CINCINNATI Machine Ltd.** (США) является признанным лидером среди станкостроительных фирм и одним из основных поставщиков больших обрабатывающих центров для аэрокосмической отрасли. В 2003 году фирмы CINCINNATI и LAMB образовали единую торговую марку CINCINNATI LAMB. Компания имеет два завода – в США и Великобритании.

CINCINNATI Machine USA Ltd. специализируется на *выпуске следующего оборудования:*

- горизонтальных обрабатывающих центров;
- пятикоординатных обрабатывающих центров;

– специализированного оборудования для авиационной промышленности.

Компания **Haas Automation Inc.** (США) является одной из крупнейших компаний-производителей станочного оборудования в мире. Фирма была основана в 1983 году нынешним президентом компании Жене Хаасом (Gene Haas). Основной концепцией создания компании стало производство недорогого и высококачественного металлорежущего оборудования, конструктивно спроектированного с максимальным использованием модульного принципа построения и возможностью оперативно увеличивать объемы его выпуска без снижения качества [161].

В настоящее время производство металлообрабатывающих станков HAAS располагается на площади более 76 000 кв. метров и располагает самым современным оборудованием (рис. 11.9). Все выпускаемое фирмой HAAS оборудование изготавливается на заводе, расположенном в г. Окснерде (Oxnard, США, Калифорния).



Рисунок 11.9 – Завод фирмы HAAS

Компания одна из первых начала выпуск обрабатывающих станков с полностью программируемым делительно-поворотным столом. *Делительно-поворотный стол с цанговым патроном 5C* от Haas был невероятно успешен. В течение последующих четырех лет компания расширила свой товарный ряд и включила в него широкий выбор пол-

ностью программируемых поворотных столов, ротационных устройств индексации с ЧПУ и принадлежностей для станков.

До сих пор компания Haas производит все основные компоненты в собственных цехах, используя современные обрабатывающие станки с ЧПУ для обеспечения высокой точности.

В 1987 году компания Haas Automation начала движение в другом направлении с разработки и производства своего первого вертикального обрабатывающего центра, станка, разработанного для выполнения таких операций по обработке, как фрезерование, сверление и нарезание резьбы. Станок VF-1 был представлен как конкурентоспособное предложение наравне со станками зарубежных производителей.

Используя новейшее оборудование и процедуры для производства с малыми допустимыми отклонениями, первые прототипы были завершены и представлены в 1988 году на Международной выставке станков (IMTS'88) в Чикаго, Иллинойс. В то время влиятельные представители данной отрасли и члены отраслевой прессы скептически отнеслись к тому, что изготовленный в Америке обрабатывающий центр может быть продан по цене ниже 50 000 долларов США. Однако в настоящее время практически все производители в мире предлагают некоторые типы вертикальных обрабатывающих центров по цене около 50 000 долларов США.

Сегодня Haas производит четыре основных товарных ряда: вертикальные обрабатывающие центры (VMC), горизонтальные обрабатывающие центры (HMC), фрезерные станки с ЧПУ и поворотные столы. В компании работает более 1200 человек, и она продолжает свой стабильный рост. Цех компании в Окснерде (США, Калифорния) является самым крупным современным производством обрабатывающих станков в Соединенных Штатах.

К началу 2019 года компания Haas Automation продала более 60 000 ротационных изделий и 100 000 станков с ЧПУ. Компания в настоящее время поставляет больше станков с ЧПУ, чем какая-либо иная производственная компания в мире.

Основным направлением деятельности американской компании *Milltronics* (США) является производство современного металлорежущего оборудования с числовым программным управлением. Станки, выпускаемые этой компанией, оснащаются высокотехнологичными компьютеризованными системами позиционирования приводов, в том числе и тех, которые оперируют всевозможной оснасткой. Оборудование такого рода сейчас используется практически на каждом перспективном предприятии, занимающемся механической обработкой металлов. Станки с ЧПУ Milltronics выполняют все те же операции, что и самые обычные машины с ручным управлением, однако рабочие перемещения исполнительных органов, подобного оборудования, управляются электроникой.

Токарные станки с числовым программным управлением, выпускаемые компанией Milltronics, предназначены для обработки различных тел вращения в автоматическом режиме. С помощью этого оборудования производится обточка и расточка поверхностей, имеющих цилиндрическую, коническую или фасонную форму, а также выполняются такие технологические операции, как нарезание резьбы различного профиля, сверление, развертывание отверстий, зенкование, обработка торцов и фасок и т.п.

Использование разнообразной дополнительной оснастки позволяет существенно расширить спектр операций, которые можно производить при помощи токарных станков с ЧПУ Milltronics. Следует также заметить, что это оборудование выполняется в вариантах для мелко-, средне- и крупносерийного производства.

Фрезерные станки с числовым программным управлением американской компании Milltronics предназначены для того, чтобы при помощи дисковых, конических, торцевых, цилиндрических и других фрез обрабатывать различные плоские и фасонные поверхности. Также это технологическое оборудование позволяет реализовать такие операции, как нарезание зубьев шестерён в автоматическом режиме, с достаточно высокой точностью и скоростью обработки.

Компанией Milltronics организован выпуск систем числового программного управления на основе самых современных инновационных разработок в этой области. При этом они полностью совместимы с оборудованием предыдущих поколений и поддерживают управляющие программы, написанные с использованием G и M-кодов.

Компания **Gleason** (Рочестер, США) основана в 1865 году и скоро отметит свой 150-летний юбилей (рис. 11.10). На сегодняшний день в ее состав входят не менее известные компании: компания Hurlt, ведущая свою историю с 1897 года, Pfauter, основанная в 1900 году, и компания «M&M» измерительные системы», образованная в 1951 году. В настоящее время компания **Gleason** предлагает практически весь спектр оборудования, инструментов, измерительных комплексов, технологий и продуктов для производства зубчатых колес.

Речь идет не только и не столько о производстве и продаже специализированных станков для обработки зуба. Философия компании – предлагать клиентам комплексные решения. Под комплексным решением подразумевается поставка станков для обработки зубчатых и конических колес, сопутствующего инструмента, зажимной оснастки, измерительных машин и, наконец, технологий и ноу-хау.

Лидирующие позиции лишний раз подтверждает и широкая география продаж – продукция **Gleason** экспортируется в 50 странах мира. В самых маркетингово «важных» странах, таких как США, Великобритания, Франция, Германия, Россия, Италия, имеются собственные представительства. Перспективной целью является создание глобальной се-

ти продаж и сервисного обслуживания. В рамках этой стратегии наша компания уже открыла свои представительства в Индии, Китае, Японии, Австралии. На остальных территориях продукцию *Gleason* можно приобрести через независимых представителей.



Рисунок 11.10 – Производственный цех
завода Gleason

Фирма ***Jyoti Enterprise*** (Индия) была основана в 1989 г. небольшой группой энтузиастов, которые сумели преобразовать малое предприятие по выпуску редукторов для машин в современный завод производства высокоточных токарных станков со шпиндельной бабкой, имеющей коробку скоростей, а затем и сложных станков с ЧПУ. Быстрое освоение современных технологий вывело фирму Jyoti в лидеры инновационных производственных технологий. Фирма Jyoti признана в качестве «храма технологии» ее сотрудниками и клиентами, которые, как указано в проспекте фирмы, приветствуют и боготворят новые технологии.

Трансформируя далее хитроумные технологии в реальность, фирма Jyoti начала проектирование и производство таких изумительных новинок, как токарные центры с ЧПУ, станки овального точения с ЧПУ (первые в Индии), самые высокоскоростные в Индии вертикальные обрабатывающие центры и другие прогрессивные станки. Как отмечается далее в проспекте фирмы Jyoti, она гордится тем фактом, что ее переход

к передовой технологической ориентации был предопределен эффективными преобразованиями индийской промышленности.

Этот аспект отражен в лозунге компании: «Стимулирование технологии ведет к жизненному процветанию». Фирма Jyoti освоила производство токарных центров, токарно-фрезерных станков, вертикальных обрабатывающих центров с линейными электродвигателями, что представлено выше в сводных таблицах. Стремительный успех фирмы Jyoti стал возможным благодаря кооперации с ведущими западными станкостроительными компаниями, в частности со старейшей французской компанией Huron, являющейся ее дочерней фирмой с 2007 г. В станках фирмы используются самые современные системы ЧПУ марки SINUMERIK 802D фирмы Siemens.

Компьютеризированные станки Jyoti гарантируют изготавливаемым деталям высочайшее качество итогового результата, с практически полным исключением брака в производимой продукции. Высокоточные станки индийского производства сертифицированы по стандарту ISO 9001:2000, что позволяет использовать данное оборудование в различных производственных процессах автомобильной, тяжелой и других отраслей промышленности.

Обширная клиентская база, наработанная за все время работы Jyoti на машиностроительном рынке, включает в себя достаточно громкие имена, такие как Sage Metals, Tomar M/c Tools, IEC College of Engineering и т.д.

По состоянию на сегодняшний день заказчики имеют возможность приобрести двухосные токарные станки Jyoti с числовым программным управлением, которые отличаются в модельном ряду по целому ряду характеристики рабочей зоны, шпинделя, инструментального револьвера и т.д. Модели токарных станков Jyoti выбираются в зависимости от необходимого диаметра вращения и точения, диаметра задействованных осей, размерности головки шпинделя, мощности привода и т.д.

Отдельного внимания заслуживают токарно-фрезерные центры Jyoti многоосевого типа, которые также характеризуются большим разнообразием модельного ряда, а также возможностью быть использованными в широком кругу рабочих процессов. Наши менеджеры помогут вам подобрать такую модель токарного станка Jyoti, которая бы идеально вписалась в ваши производственные условия.

В 1930 году Цунезо Макино открыл свою первую механическую мастерскую в Токио, Япония. Спустя почти столетие в Токио по-прежнему находится всемирная штаб-квартира компании **Makino Milling Machine** (Япония). Отсюда компания Макино поставляет передовые станки, инструменты и решения в Японию, Корею и Тайвань. Токийский научно-исследовательский отдел Макино представил первый коммерчески конкурентоспособный горизонтальный обрабатывающий

центр. Компания является отраслевым лидером по разработкам и инновационным технологиям станков и систем, всегда стремясь решать проблемы завтрашнего дня сегодня.

Компания Макино работает в 8 регионах Европы благодаря своим 4 технологическим центрам. Каждый из них нацелен на обеспечении глобальными решениями местного рынка и занимается маркетингом, продажами, прикладными технологиями и обслуживанием, о чем подробнее можно узнать в наших региональных технических центрах.

Компания Макино работает по всей Северной и Южной Америке через региональные технические центры, каждый из которых стратегически расположен рядом с ведущими производителями. Продажа, услуги и подготовка специалистов в регионах, демонстрация новых продуктов и технологий.

Makino Singapore распространяет инструменты и решения компании Макино по всей Юго-Восточной Азии, Китаю и Индии. На заводе в Сингапуре производятся вертикальные фрезерные станки и обрабатывающие центры, а также электроэрозионные вырезные и копировально-прошивочные станки. Литейный завод изготавливает подкомпоненты станков, а инженерные службы помогают клиентам разрабатывать системы и решения под ключ.

Корпорация *Yamazaki Mazak Corporation* (Япония) – это всемирно известный производитель высокотехнологичного металлообрабатывающего оборудования – многоцелевых станков, токарных центров с ЧПУ, вертикальных и горизонтальных обрабатывающих центров, станков лазерной резки, а также гибких производственных систем и программного обеспечения.

К приоритетным направлениям работы относится не только изготовление станков с ЧПУ с самым высоким уровнем производительности, но и постоянное улучшение эргономичного дизайна, обеспечивающего непревзойденную легкость эксплуатации.

Одним из ключевых направлений нашей работы является постоянное внедрение передовых технологий на протяжении всего производственного цикла, что впоследствии помогает сэкономить затраты наших клиентов. При этом обработка на станках с ЧПУ становится более экономичной и эффективной. Кроме этого, передовые технологии применяются и в наших собственных производственных мощностях, доказывая тот факт, что конкурентоспособное производство возможно организовать в любой точке мира.

Интеллектуальные системы ЧПУ станков делают работу оператора исключительно простой и обеспечивают оптимально высокую мощность оборудования. Например, функция «Голосовой помощник MAZAK» обеспечивает голосовое сопровождение при выборе того или иного переключателя, а также предупреждает об опасности во время работы в режиме ручного управления. Данная функция способствует со-

кращению неполадок станка, связанных с ошибками оператора, и обеспечивает ЧПУ станок по металлу еще большей безопасностью в процессе производства.

10 заводов на территории Японии, США, Европы, Сингапура и Китая, 83 технологических и технических центра по всему миру – все это помогает нам быть ближе к клиенту, решать задачи, стоящие перед нашими заказчиками, и, как следствие, быть более конкурентоспособными на рынке.

Концерн **OKUMA** (Япония) – крупнейший мировой производитель металлорежущего оборудования (рис. 11.11). По объему продаж концерн занимает 4-е место в мире, производит и продает по всему миру свыше шести тысяч станков в год. В 1998 г. концерн OKUMA отметил 100-летие своего существования. Производство оборудования организовано в самой Японии.

Продажа станков осуществляется через торговые представительства: в Европе – в г. Крефельд, Германия; в Северной Америке – г. Шарлотт, Северная Каролина; в Южной Америке – г. Сан-Пауло, Бразилия; в Юго-Восточной Азии – г. Сингапур; в Австралии – г. Мельбурн.



Рисунок 11.11 – Офис компании OKUMA

Компания Okuma разработала набор интеллектуальных и передовых технологий, предназначенных для повышения производительности металлорежущих станков, независимо от сложности формы детали или поверхности. Данный инструментарий обеспечивает скорость, точность и эффективность при решении новых сложных производственных задач.

11.4 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите ведущие предприятия Республики Беларусь в области станкостроения.
2. Дайте краткую характеристику ОАО «Вистан».
3. Дайте краткую характеристику ОАО «Красный борец».
4. Какую продукцию выпускает ОАО «Молодечненский станкостроительный завод»?
5. Какую продукцию выпускает ОАО «Минский завод автоматических линий им. П. М. Машерова»?
6. Перечислите виды продукции ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей».
7. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции Российской Федерации.
8. Перечислите виды продукции, выпускаемой Астраханским станкостроительным заводом.
9. Перечислите виды продукции, выпускаемой Владимирским станкостроительным заводом.
10. Перечислите виды продукции, выпускаемой Липецким станкостроительным предприятием.
11. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции дальнего зарубежья.
12. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции Германии.
13. Дайте краткую характеристику компании Liebherr.
14. Дайте краткую характеристику компании EMCO.
15. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции Швейцарии.
16. Дайте краткую характеристику компаниям FEHLMANN и MIKRON.
17. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции США.
18. Дайте краткую характеристику предприятию HAAS.
19. Перечислите крупнейших производителей станочной продукции Японии.
20. Дайте краткую характеристику компаниям Mazak и Okuma.

12 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

12.1 Производительность обработки

В настоящее время прослеживается тенденция к повышению эффективности промышленного производства за счет внедрения ресурсосберегающих технологий. В машиностроении одним из направлений поиска путей снижения технологических затрат на производство деталей является разработка металлорежущего инструмента, обеспечивающего увеличение производительности и повышение стойкости при обработке резанием [257–265].

За последние годы требования к механической обработке существенно изменились. Доля труднообрабатываемых материалов в машиностроении возросла с 10 % до 80 %, а это означает, что также увеличились требования к качеству и производительности обработки. Все это, в свою очередь, обуславливает возрастающую потребность в современном инструменте с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Режущий инструмент должен выполнять две основные функции: резать (т.е. снимать стружку); оформлять обрабатываемую поверхность (обеспечивать требования по качеству обрабатываемой поверхности и требования по точности размеров и точности обрабатываемой формы).

Если есть необходимость выбора режущего инструмента, то в качестве основного критерия используют такую характеристику, как производительность – количество срезаемого материала за единицу времени.

На производительность металлорежущего инструмента оказывают влияние следующие факторы: материал режущей части; конструкция инструмента; объем и форма стружечных канавок; условия подачи и марка СОЖ; обеспечение стружколомания и др.

Выбор инструментального материала зависит от назначения инструмента, от обрабатываемого материала, от условий резания и еще многих факторов, поэтому выделены основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам: твердость, прочность, теплостойкость, технологичность и экономичность.

Прочностные свойства инструментальных материалов характеризуются пределом прочности на изгиб и на сжатие, ударной вязкостью и коэффициентом трещиностойкости. Теплостойкость характеризуется температурой, при которой происходит существенное снижение стойкости инструмента.

Комплексной характеристикой инструментального материала является его износостойкость, которая определяет способность сохране-

ния режущих свойств инструмента, с заданной производительностью, при обеспечении точности обработки и качества получаемой поверхности. Не следует путать размерную стойкость с простой стойкостью, которая обеспечивает режущие свойства инструмента, но может уже не удовлетворять требованиям по качеству или точности обработки. Стойкость инструментального материала – это время между переточками и оценивается в минутах.

Износостойкость определяется, в первую очередь, твердостью инструментального материала, его прочностью и теплостойкостью. На износостойкость инструментального материала значительно влияет также стойкость к термическим ударам, теплопроводность, окислительная стойкость, а также адгезионные, диффузионные, химические свойства и коэффициент трения по отношению к обрабатываемому материалу.

Под технологичностью понимается комплекс свойств, характеризующих поведение инструментальных материалов при изготовлении из него режущего инструмента. Например, материалы, обладающие плохой шлифуемостью, неудобны при изготовлении и переточке сложно-профильных инструментов, а слишком узкий интервал закалочных температур материала при термообработке может привести к браку и т.д.

Правильный выбор прогрессивного инструмента обеспечит высокие режимы резания, стойкость и стабильность обработки и тем самым приведет к повышению производительности. В массовом производстве имеет смысл использования комбинированных инструментов, позволяющих обрабатывать несколько поверхностей за один проход.

Наиболее важными режимами резания являются: глубина резания, подача и скорость резания. Вполне логично на повышение производительности обработки оказывает влияние именно повышение подачи (рис. 12.1).

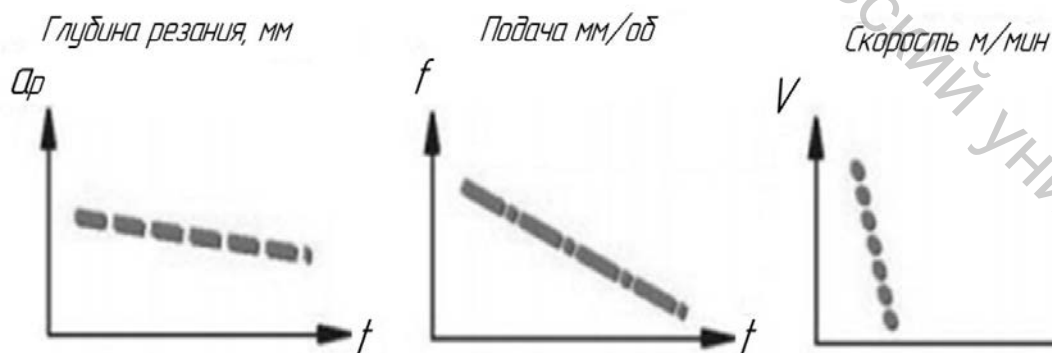


Рисунок 12.1 – График влияния подачи на производительность обработки

Повышение же скорости резания снижает стойкость инструмента, что нам совсем не интересно, так как это приводит к еще большим за-

тратам на инструмент. Необходимо стремиться к повышению именно подачи, а не скорости или глубины резания (рис. 12.2).

12.2 Тенденции развития режущих инструментов

12.2.1 Инструментальные материалы

Основными тенденциями развития режущих инструментов являются:

- разработка и освоение производства новых марок режущих материалов;
- модификация поверхностей инструментов;
- разработка новых и совершенствование существующих конструкций инструмента и технологий его изготовления [257–265].

Современный режущий инструмент по используемым при производстве материалам можно разделить на 4 основные группы. Это инструмент из быстрорежущей стали, твердосплавный инструмент, режущая керамика и сверхтвердые поликристаллические синтетические материалы.

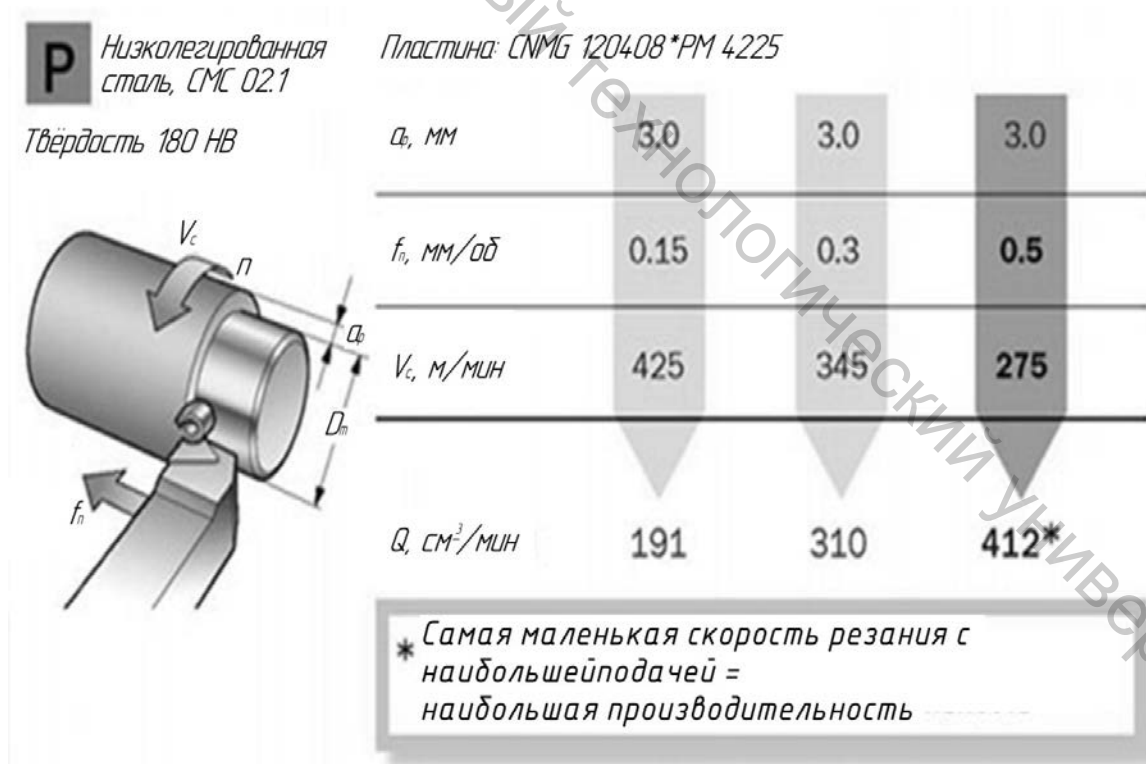


Рисунок 12.2 – Производительность обработки низколегированной стали с различными режимами резания

При этом эксплуатационные свойства материалов всех этих групп полностью зависят от качественного и количественного химического состава инструмента. На рисунке 12.3 показано распределение инструментальных материалов по их эксплуатационным свойствам: твердости, износостойкости, теплостойкости, ударной вязкости, склонности к трещинообразованию. Также по этой схеме с большой долей вероятности можно определить основное направление развития в области инструментальных материалов:

1. *Разработка новых материалов с одновременно высоким комплексом свойств «прочность – пластичность».* Как известно, характеристики пластичности (прочность при изгибе, ударная вязкость) находятся в обратной зависимости от характеристик прочности. То есть чем больше предел прочности, твердость (соответственно износостойкость), тем меньше ударная вязкость и пластичность. На сегодняшний день производители инструмента не нашли идеального химического состава, который бы имел твердость кубического нитрида бора (КНБ), пластичность быстрорезов Р6М5 и дешевизну углеродистой стали У10. Поэтому в современном производстве и используется большое число инструментальных материалов, «заточенных» под определенные условия работы.

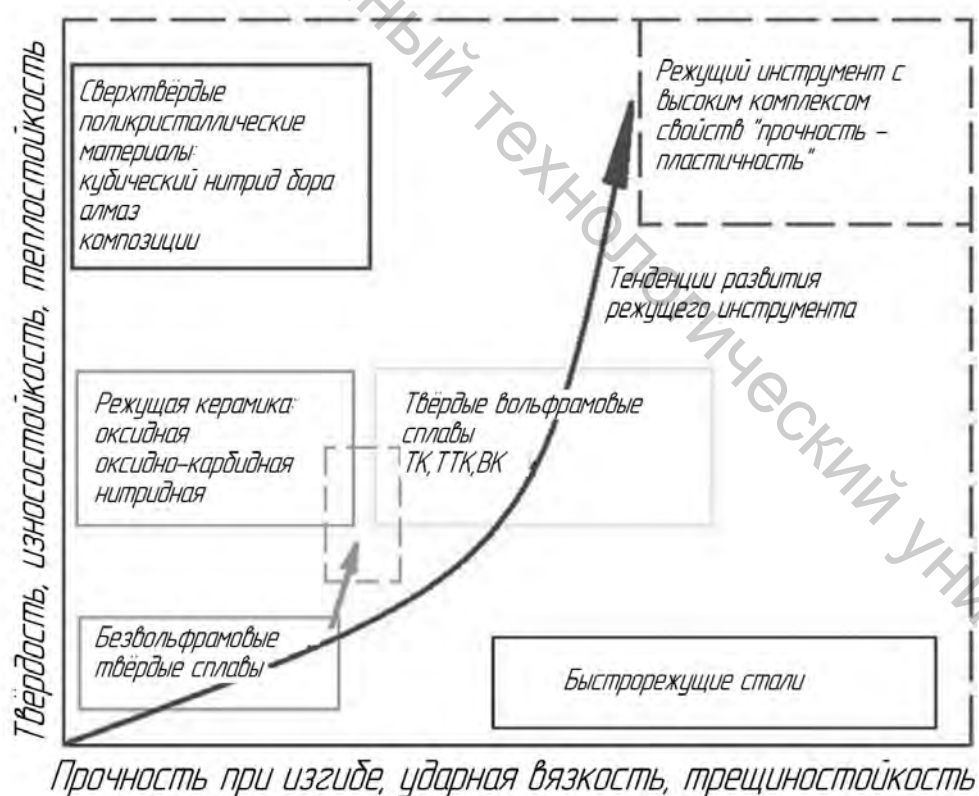


Рисунок 12.3 – Инструментальные материалы и их эксплуатационные свойства

2. *Оптимизация производства существующего инструмента.* Это направление основывается на увеличении степени воспроизводимости

процессов и качества инструмента, а также на ужесточении нормативной документации на химический состав, свойства и структуру материалов. В качестве примера можно привести всё ту же сталь Р6М5. По ГОСТ 19265 она имеет следующий химсостав основных легирующих элементов: углерод (С) = 0,82...0,9 %; вольфрам (W) = 5,5...6,5 %; молибден (Mo) = 4,8...5,3. То есть по этому стандарту, в пределах одной марки материала, возможных вариаций химического состава инструмента может быть огромное количество. Это влияет на количественный состав карбидной фазы WC, ее дисперсность и форму. Даже если основные показатели качества (твёрдость HRC или HV) будут в пределах требований КД, то микроструктура при разном химсоставе может отличаться. В результате может изменяться теплостойкость, скорость изнашивания, склонность к образованию и развитию трещины и т.д. Такая анизотропия свойств не критична, т.к. имеет мизерные отклонения от усредненных значений требуемых свойств, но всё же необходимо стремиться находить один оптимальный химический состав инструментального материала и ужесточать требования нормативной документации под эти значения. Это позволит снизить дисперсию показателей качества в пределах одной марки материала и производить инструмент с отклонениями $\pm 0,5$ HRC по механическим свойствам и $\pm 0,1$ мкм по размеру структурных составляющих. В большей степени ужесточение требований по свойствам, форме и размеру структуры положительно скажется на стойкости твердых сплавов, т.к. эти факторы являются лимитирующими при формировании их механических и эксплуатационных свойств.

12.2.2 Модификация рабочих поверхностей инструментов

Модификация рабочих поверхностей инструментов позволяет создать инструмент, обладающий уникальным сочетанием высокой прочности и твердости его режущей части.

Используемые в инструментальной промышленности методы модификации можно разделить на 4 группы: 1) нанесение покрытий; 2) поверхностное легирование; 3) термическое воздействие; 4) деформационное воздействие.

Указанные методы характеризуются различными механизмами воздействия на рабочую поверхность режущего инструмента. При нанесении покрытий на поверхности режущего инструмента формируется тонкая пленка. Поверхностное легирование изменяет химический состав поверхностного слоя режущего инструмента, а термическое воздействие – его структуру. При деформационном воздействии происхо-

дит наклеп поверхностного слоя режущего инструмента и изменяется его микрогеометрия.

Модификация рабочих поверхностей режущих инструментов улучшает наиболее важные показатели эффективности процесса резания. Эффекты от модификации методом нанесения покрытий проявляются в следующем:

- повышение размерной стойкости режущего инструмента, которое ведет к существенно более экономному использованию инструментальных материалов;
- смещение допустимых скоростей резания для данного инструментального материала в область более высоких значений, что обеспечивает повышение производительности обработки;
- снижение шероховатости обработанных деталей;
- минимизация количества применяемых СОТС.

Для нанесения покрытий на рабочие поверхности инструмента наиболее широко применяются методы химического осаждения из газовой фазы – *Chemical Vapour Deposition (CVD)* и физического осаждения покрытий в вакууме – *Physical Vapour Deposition (PVD)*.

Разработка новых способов покрытия инструмента, так же как и разработка новых инструментальных материалов, требует больших капиталовложений. Большую роль здесь играют коммерческие компании, которые серьезно занимаются продажами инструмента по всему миру. Движущей силой исследований и новых научных разработок является высокая конкуренция на мировом рынке и желание сделать изделие с более низкой себестоимостью и более высоким комплексом тех самых свойств «прочность – пластичность». Поэтому постоянно появляются новые инструментальные сплавы, новые конструкции инструмента и новые технологии поверхностного химико-термического упрочнения.

12.2.3 Разработка новых и совершенствование существующих конструкций инструмента и технологий его изготовления

По конструкции все режущие инструменты можно поделить на: цельные (монокристаллы); составные; сборные. Основные конструктивные элементы любого инструмента – это рабочая и крепежная части. По форме крепежной части все инструменты можно разделить на: концевые (с наличием хвостовика); насадные.

Совершенствование конструкций инструментов проводится и будет происходить по многим направлениям, основными из которых являются следующие:

- применение инструментов сборных конструкций;

- совершенствование конструкции инструментов с многогранными пластинами;
- изменение формы передних и задних поверхностей;
- увеличение длины активной части кромок инструмента;
- использование переходных режущих кромок;
- использование в корпусах инструмента каналов для подвода СОТС;
- создание конструкций комбинированных инструментов;
- расширение использования инструментов для совместной обработки резанием и деформированием;
- расширение использования инструментов для вибрационной обработки резанием;
- создания новых конструкций режущих инструментов для обработки резанием с подогревом;
- разработка конструкции инструментов и режущих элементов для изготовления их методами порошковой металлургии;
- развитие монокристаллических мелкогабаритных твердосплавных инструментов;
- совершенствование конструкций для сверхскоростного резания;
- совершенствование инструментов для абразивной обработки.

12.3 Вопросы для самоконтроля

1. От чего при механической обработке зависит выбор инструментального материала?
2. Какие факторы влияют на износостойкость инструментального материала?
3. Перечислите основные тенденции развития режущего инструмента.
4. Изобразите схему распределения эксплуатационных свойств инструментальных материалов.
5. Какое вам известно основное направление развития в области инструментальных материалов?
6. Назовите 4 метода модификации рабочих поверхностей инструментов.
7. Дайте краткую характеристику методам модификации рабочих поверхностей инструментов.
8. В чем проявляются эффекты от модификации рабочих поверхностей инструментов методом нанесения покрытий?
9. Какие методы нанесения покрытий нашли наиболее широкое применение для рабочих поверхностей инструментов?
10. По каким направлениям проводится совершенствование конструкций инструментов?

13 СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

13.1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам

При резании контактные площадки инструмента подвергаются интенсивному воздействию высоких силовых нагрузок и температур, величины которых имеют переменный характер, а взаимодействие с обрабатываемым материалом и реагентами из окружающей среды приводит к протеканию интенсивных физико-химических процессов: адгезии, диффузии, окисления, коррозии и др. С учетом необходимости сопротивления контактных площадок режущего инструмента к свойствам инструментальных материалов предъявляется ряд требований, основные из которых следующие:

1. Инструментальный материал должен иметь высокую твердость. Твердость инструментального материала должна быть выше твердости обрабатываемого не менее, чем в 1,4...1,7 раза.

2. При резании металлов выделяется значительное количество теплоты, и режущая часть инструмента нагревается. Поэтому инструментальный материал должен обладать высокой теплостойкостью. Способность материала сохранять высокую твердость при температурах резания называется теплостойкостью. Для быстрорежущей стали – теплостойкость еще называют красностойкостью (т.е. сохранение твердости при нагреве до температур начала свечения стали). Увеличение уровня теплостойкости инструментального материала позволяет ему работать с большими скоростями резания (табл. 13.1).

3. Важным требованием является высокая прочность материала инструмента. Если твердость материала рабочей части инструмента не обеспечивается прочностью, то это приводит к поломке инструмента и выкрашиванию режущих кромок. Таким образом, инструментальный материал должен иметь достаточный уровень ударной вязкости и сопротивляться появлению трещин (т.е. иметь высокую трещиностойкость).

4. Материал инструмента должен иметь высокую износостойкость при высокой температуре, т.е. обладать хорошей сопротивляемостью истиранию обрабатываемым материалом, т.е. сопротивление материала контактной усталости.

5. Необходимым условием достижения высоких режущих свойств инструмента является низкая физико-химическая активность инструментального материала по отношению к обрабатываемому. Поэтому кристаллохимические свойства инструментального материала должны существенно отличаться от соответствующих свойств обрабатываемого

материала. Степень такого отличия сильно влияет на интенсивность физико-химических процессов (адгезионно-усталостные, коррозионно-окислительные и диффузионные процессы) и изнашивание контактных площадок инструмента.

6. Инструментальный материал должен обладать технологическими свойствами, обеспечивающими оптимальные условия изготовления из него инструментов. Для инструментальных сталей это: хорошая обрабатываемость резанием и давлением; благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т.д.); хорошая шлифуемость после термической обработки.

Таблица 13.1 – Характеристики инструментальных материалов

Материал	Плотность, ρ , г/см ³	Твердость, HRA	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{из}$, МПа	Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа	Теплостойкость, °С	Модуль упругости, E, МПа	Скорость резания, м/мин
Углеродистые и легированные инструментальные стали	7,9-8,75	До 80	До 3500	До 3500	до 200	190000	10...30
Быстрорежущая сталь	7,9-8,75	До 80	До 4000	До 4000	До 700	210000	30...60
Твердый сплав	11,1-14,8	87-92	1800	5900	800-1000	500000	До 300
Минералокерамика оксидная	3,6-4,0	До 94	950	3000	2000	400000	До 700
Минералокерамика смешанная (керметы)	4,4-4,7	95,3	980	5600	1400	350000	До 700
Кубический нитрид бора	3,45	-	1000	6500	1500	720000	До 800
Алмазы искусственные	3,48-3,56	-	300	2000	800	900000	До 1500

13.2 Выбор инструментального материала

Выбор инструментального материала определяется рядом факторов: свойствами инструментального и обрабатываемого материала, конструкцией режущего инструмента, режимами обработки, технологией его изготовления, типом производства и др.

За последние десятилетия объем различных типов инструментальных материалов для лезвийного инструмента, потребляемых металлообрабатывающими производствами технологически развитых стран, сильно изменился. Практически не используются для лезвийного ин-

струмента углеродистые и легированные инструментальные стали. Теплостойкость инструментальных сталей значительно ниже, чем у остальных инструментальных материалов. Это ограничивает допустимые скорости резания. Для углеродистых и легированных сталей они составляют 10...15 м/мин, а для быстрорежущих – не превосходят 40...60 м/мин.

Заметно снизилось потребление быстрорежущих сталей с 65...70 % до 35...40 %, в то время как объёмы использования твёрдых сплавов увеличились с 30 до 55 %, а режущей керамики и сверхтвёрдых инструментальных материалов – с 1 % до 10 %.

Вместе с тем быстрорежущие стали, наряду с твердыми сплавами, являются основным инструментальным материалом. Это определяется их важнейшим технологическим отличием от других инструментальных материалов, а именно возможностью изменения их свойств за счет термической обработки. После разупрочняющей обработки (отжиг) твердость сталей невелика, их можно обрабатывать резанием с помощью лезвийного инструмента и получать, таким образом, изделия сложной формы. Поэтому основное применение этих сталей – изготовление инструмента сложной формы – фасонного (червячные фрезы, протяжки, плашки и т.п.).

Существенно увеличивается доля использования относительно недорогих керметов (безвольфрамовых твердых сплавов), которые в ряде случаев не уступают, а иногда и превосходят по эксплуатационным характеристикам традиционные вольфрамсодержащие твердые сплавы.

Из режущих керамик наиболее перспективными являются керамики, упрочненные нитевидными кристаллами нитрида кремния и силаны. Из сверхтвёрдых материалов следует отметить появление поликристаллических алмазных лезвийных инструментов нового типа, изготавливаемых по технологии химического парофазного осаждения (CVD-diamond).

Твердые сплавы, режущую керамику и ряд сверхтвёрдых материалов (СТМ) на основе алмаза и кубического нитрида бора получают методом спекания. После спекания материал получает окончательные свойства, т.е. высокую твердость. Обработка лезвийным инструментом невозможна, выполняется только абразивная обработка. Это определяет невозможность или очень высокую стоимость изготовления изделий сложной формы. Заготовки из этих материалов в виде пластинок припаиваются или механически крепятся к корпусу инструмента. Так же в виде вставок, закрепляемых в корпусе инструмента, используются моно- или поликристаллы из СТМ. Таким образом, основная область применения этих материалов – инструмент относительно простой формы, с прямолинейной режущей кромкой (резцы, фрезы).

Теплостойкость инструментальных сталей значительно ниже, чем у остальных инструментальных материалов. Это ограничивает допустимые скорости резания. Для углеродистых и легированных сталей они

составляют 10...15 м/мин, а для быстрорежущих – не превосходят 40...60 м/мин.

13.3 Инструментальные материалы

13.3.1 Инструментальные стали

Режущие инструменты, изготовленные из углеродистых инструментальных сталей У10А, У11А, У12А, У13А, обладают достаточной твердостью, прочностью и износостойкостью при комнатной температуре, однако теплостойкость их невелика. При температуре 200...250 °С их твердость резко уменьшается. Поэтому они применяются для изготовления ручных и машинных инструментов, предназначенных для обработки мягких металлов с низкими скоростями резания, таких как напильники, мелкие сверла, развертки, метчики, плашки и др. Углеродистые инструментальные стали имеют низкую твердость в состоянии поставки, что обеспечивает их хорошую обрабатываемость резанием и давлением. Однако они требуют применения при закалке резких закалочных сред, что усиливает коробление инструментов и опасность образования трещин.

Инструменты из углеродистых инструментальных сталей плохо шлифуются из-за сильного нагревания, отпуска и потери твердости режущих кромок. Из-за больших деформаций при термической обработке и плохой шлифуемости углеродистые инструментальные стали не используются при изготовлении фасонных инструментов, подлежащих шлифованию по профилю.

С целью улучшения свойств углеродистых инструментальных сталей были разработаны низколегированные стали. Они обладают большей прокаливаемостью и закаливаемостью, меньшей чувствительностью к перегреву, чем углеродистые стали, и в то же время хорошо обрабатываются резанием и давлением. Применение низколегированных сталей уменьшает количество бракованных инструментов.

Область применения низколегированных сталей та же, что и для углеродистых сталей.

По теплостойкости легированные инструментальные стали значительно превосходят углеродистые. Они сохраняют высокую твердость при нагреве до 200...260 °С и поэтому непригодны для резания с повышенной скоростью, а также для обработки твердых материалов.

Низколегированные инструментальные стали подразделяются на стали неглубокой и глубокой прокаливаемости. Для изготовления режущих инструментов используются стали 11ХФ, 13Х, ХВ4, В2Ф неглубокой прокаливаемости и стали Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ глубокой прокаливаемости.

В настоящее время для изготовления металлорежущих инструментов применяются быстрорежущие стали. В зависимости от назначения их можно разделить на две группы:

- 1) стали нормальной производительности;
- 2) стали повышенной производительности.

К сталям первой группы относятся Р18, Р12, Р9, Р6МЗ, Р6М5, к сталям второй группы – Р6М5ФЗ, Р12ФЗ, Р18Ф2К5, Р10Ф5К5, Р9К5, Р9К10, Р9МЧК8, Р6М5К5 и др.

Высокие режущие свойства быстрорежущей стали обеспечиваются за счет легирования сильными карбидообразующими элементами: вольфрамом, молибденом, ванадием и некарбидообразующим кобальтом, также они содержат хром. Существенным недостатком этих сталей является значительная карбидная неоднородность, особенно в прутках большого сечения.

С увеличением карбидной неоднородности прочность стали снижается, при работе выкрашиваются режущие кромки инструмента, и снижается его стойкость.

Карбидная неоднородность выражена сильнее в сталях с повышенным содержанием вольфрама, ванадия, кобальта. В сталях с молибденом карбидная неоднородность проявляется в меньшей степени.

Быстрорежущая сталь Р18, содержащая 18 % вольфрама, долгое время была наиболее распространенной. Инструменты, изготовленные из этой стали, после термической обработки имеют твердость 63...66 HRCЭ, красностойкость 600 °С и достаточно высокую прочность. Сталь Р18 сравнительно хорошо шлифуется.

Большое количество избыточной карбидной фазы делает сталь Р18 более мелкозернистой, менее чувствительной к перегреву при закалке, более износостойкой.

Ввиду высокого содержания вольфрама сталь Р18 целесообразно использовать только для изготовления инструментов высокой точности, когда стали других марок нецелесообразно применять из-за прижогов режущей части при шлифовании и заточке. К вольфрамовым относятся также Р12, Р9, которые имеют схожие с Р18 свойства и области применения.

С целью экономии дорогостоящего вольфрама были разработаны стали, в которых часть вольфрама заменена на молибден, такие как Р6МЗ, Р6М5. Введение молибдена привело к значительному повышению как прочности, так и стойкости инструмента. Молибден обуславливает меньшую карбидную неоднородность, чем вольфрам. Поэтому замена 6...10 % вольфрама соответствующим количеством молибдена снижает карбидную неоднородность быстрорежущих сталей примерно на 2 балла и соответственно повышает пластичность. Недостаток молибденовых сталей заключается в том, что они имеют повышенную чувствительность к обезуглероживанию.

Вольфрамомолибденовые стали рекомендуется применять в промышленности наряду с вольфрамовыми для изготовления инструмента, работающего в тяжелых условиях, когда необходима повышенная износостойкость, пониженная карбидная неоднородность и высокая прочность.

Среди быстрорежущих сталей нормальной производительности доминирующее положение заняла сталь Р6М5. Ее применяют для изготовления всех видов режущих инструментов. Инструменты из стали Р6М5 имеют стойкость, равную или до 20 % более высокую, чем стойкость инструментов из стали Р18.

Быстрорежущие стали повышенной производительности используются в основном при обработке жаропрочных сплавов, высокопрочных и нержавеющей сталей, других труднообрабатываемых материалов и конструкционных сталей с повышенными режимами резания. В настоящее время применяются кобальтовые и ванадиевые быстрорежущие стали.

По сравнению со сталями нормальной производительности высокованадиевые стали повышенной производительности обладают в основном более высокой износостойкостью, а стали, содержащие кобальт, более высокой красностойкостью и теплопроводностью. Вместе с тем быстрорежущие стали повышенной производительности, содержащие кобальт, имеют повышенную чувствительность к обезуглероживанию. Быстрорежущие стали повышенной производительности шлифуются хуже стали Р18 и требуют более точного соблюдения температур нагрева при термической обработке.

Быстрорежущие стали повышенной производительности из-за технологических недостатков не являются сталями универсального назначения. Они имеют относительно узкие границы применения, более пригодны для инструментов, подвергаемых незначительному профильному шлифованию.

Основной маркой быстрорежущей стали повышенной производительности является сталь Р6М5К5. Она применяется для изготовления различных инструментов, предназначенных для обработки конструкционных сталей на повышенных режимах резания, а также нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов.

Перспективным способом получения быстрорежущих сталей является метод порошковой металлургии. Главной отличительной особенностью порошковых сталей является равномерное распределение карбидов по сечению, которое не превышает первого балла шкалы карбидной неоднородности ГОСТ 19265-73. В определенных условиях, как показывают эксперименты, стойкость режущих инструментов из порошковых сталей в 1,2...2,0 раза выше стойкости инструментов, изготовленных из сталей обычного производства. Наиболее рационально порошковые стали использовать при обработке труднообрабатываемых

сложнолегированных материалов и материалов, имеющих повышенную твердость ($HRC \geq 32$), а также для изготовления крупногабаритных инструментов диаметром более 80 мм.

Проводятся работы по созданию и уточнению области целесообразного применения быстрорежущих сплавов дисперсионного твердения типа P18M7K25, P18M3K25, P10M5K25. В отличие от быстрорежущих сталей, рассматриваемые сплавы упрочняются вследствие выделения при отпуске интерметаллидов, имеют более высокую красностойкость (700–720 °C) и твердость (68–69 HRCЭ). Высокая теплостойкость у них сочетается с удовлетворительной прочностью, что обуславливает повышенные режущие свойства этих сплавов. Эти сплавы дорогостоящие, и применение их целесообразно лишь при резании труднообрабатываемых материалов.

13.3.2 Твёрдые сплавы

В настоящее время для производства режущих инструментов широко используются твердые сплавы. Они состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала, сцементированных небольшим количеством кобальта. Карбиды вольфрама, титана и тантала обладают высокой твердостью, износостойкостью. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750...1100 °C.

Установлено что твердосплавным инструментом, имеющим в своем составе килограмм вольфрама, можно обработать в 5 раз больше материала, чем инструментом из быстрорежущей стали с тем же содержанием вольфрама.

Недостатком твердых сплавов, по сравнению с быстрорежущей сталью, является их повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания кобальта в сплаве. Скорости резания инструментами, оснащенными твердыми сплавами, в 3...4 раза превосходят скорости резания инструментами из быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей и таких неметаллических материалов, как стекло, фарфор и т.п.

Производство металлокерамических твердых сплавов относится к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта. Из этой смеси прессуют изделия требуемой формы и затем подвергают спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Так изготавливают пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др.

Пластинки твердого сплава крепят к державке или корпусу напайкой или механически при помощи винтов и прижимов. Наряду с этим в машиностроительной промышленности применяют мелкогабаритные, монолитные твердосплавные инструменты, состоящие из твердых сплавов. Их изготавливают из пластифицированных заготовок. В качестве пластификатора в порошок твердого сплава вводят парафин до 7...9 %. Из пластифицированных сплавов прессуют простые по форме заготовки, которые легко обрабатываются обычным режущим инструментом. После механической обработки заготовки спекают, а затем шлифуют и затачивают. По такой технологии изготавливают мелкие сверла, зенкеры, развертки и т.п.

Монолитный твердосплавный инструмент может также изготавливаться из окончательно спеченных твердосплавных цилиндрических заготовок с последующим вышлифовыванием профиля алмазными кругами.

В зависимости от химического состава металлокерамические твердые сплавы, применяемые для производства режущего инструмента, разделяются на три основные группы.

Сплавы первой группы изготавливают на основе карбидов вольфрама и кобальта. Они носят название вольфрамкобальтовых. Это сплавы группы ВК. К ним относятся сплавы: ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15.

Рассматриваемые сплавы применяются для обработки чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов. При выборе марки твердого сплава учитывают содержание кобальта, которое предопределяет его прочность. При работе с ударами и вибрациями выбирают сплавы с большим содержанием кобальта ВК15, ВК10, ВК8, для более легких условий резания – сплавы ВК2, ВК3.

Ко второй группе относятся сплавы, получаемые на основе карбидов вольфрама и титана и связующего металла кобальта. Это двухкарбидные титановольфрамкобальтовые сплавы группы ТК (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12), обладающие большей износостойкостью по сравнению со сплавами группы ВК.

Третья группа сплавов состоит из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта. Это трехкарбидные титанотанталовольфрамкобальтовые сплавы группы ТТК: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ20К9. Введение в состав сплавов карбидов тантала значительно повышает их прочность, но снижает красностойкость.

Все марки твердых сплавов разбиты по международной классификации (ИСО) на группы: К, М и Р. Сплавы группы К предназначены для обработки чугуна и цветных металлов, дающих стружку надлома. Сплавы группы М – для труднообрабатываемых материалов, сплавы группы Р – для обработки сталей.

С целью экономии дефицитного вольфрама разрабатываются безвольфрамовые металлокерамические твердые сплавы на основе карби-

дов, а также карбидонитридов переходных металлов, в первую очередь титана, ванадия, ниобия, тантала. Эти сплавы изготавливают на никеле-молибденовой связке. Полученные твердые сплавы на основе карбидов по своим характеристикам примерно равноценны стандартным сплавам группы ТК. В настоящее время промышленностью освоены безвольфрамовые сплавы ТН-20, ТМ-3, КНТ-16 и др. Эти сплавы обладают высокой окислительной стойкостью, низким коэффициентом трения, меньшим по сравнению с вольфрамсодержащими сплавами удельным весом, но имеют, как правило, более низкую прочность, склонность к разрушению при повышенных температурах. Изучение физико-механических и эксплуатационных свойств безвольфрамовых твердых сплавов показало, что они успешно могут быть использованы для чистовой и получистовой обработки конструкционных сталей и цветных сплавов, но значительно уступают сплавам группы ВК при обработке титановых и нержавеющей сталей.

Одним из путей повышения эксплуатационных характеристик твердых сплавов является нанесение на режущую часть инструмента тонких износостойких покрытий.

Ультрамелкозернистые сплавы производятся из мелкозернистого карбида вольфрама (размер зерна менее 1 мкм), с одинаковым размером зерна и кобальтовой связкой. Такие сплавы обладают высокой износостойкостью, ударной вязкостью и большей прочностью по сравнению с традиционным твердым сплавом. Такие сплавы используются при обработке широкого диапазона материалов, где требуется максимальная износостойкость инструмента: быстрорежущая сталь, нержавеющая сталь, авиационные сплавы, обработка штампов и пресс-форм.

13.3.3 Сверхтвёрдые материалы

Для изготовления лезвийного инструмента в настоящее время применяются сверхтвёрдые материалы (СТМ): природные алмазы, поликристаллические синтетические алмазы и композиты на основе кубического нитрида бора.

Природные и синтетические алмазы обладают самой высокой твердостью ($HV\ 10000\ \text{кгс/мм}^2$), малыми коэффициентами линейного расширения и трения и высокой теплопроводностью, адгезионной стойкостью и износостойкостью. Недостатки алмазов – невысокая прочность на изгиб, хрупкость и растворимость в железе при относительно низких температурах ($750\ ^\circ\text{C}$), что препятствует использованию их для обработки железоуглеродистых сталей и сплавов на высоких скоростях резания, а также при прерывистом резании и вибрациях. Теплостойкость алмаза – около $800\ ^\circ\text{C}$.

Природные алмазы используются в виде кристаллов, закрепляемых в металлическом корпусе резца.

По твердости синтетические поликристаллы лишь незначительно уступают природным монокристаллам алмаза.

Синтетические алмазы маркируются буквами АС. Например: марки АСБ (баллас) и АСПК (карбонадо). Большие скорости резания 1000...1200 м/мин обеспечивают высокую производительность обработки. Их можно использовать не только для точения, но и для фрезерования. Синтетические алмазы менее чувствительны к динамическим нагрузкам и позволяют вести обработку с большим сечением среза (глубиной и подачей).

Природные и синтетические алмазы нашли широкое применение в обработке медных, алюминиевых и магниевых сплавов баббитов, благородных металлов (золота, серебра, палладия, платины), титана и его сплавов, неметаллических материалов (пластмасс, текстолита, стекло-текстолита, органического стекла, прессованного и силицированного графита), а также твердых сплавов и керамики.

Кубический нитрид бора (КНБ) – химический состав: 44 % бора и 56 % азота. По твердости КНБ близок к твердости алмаза, а по теплоустойчивости (1500 °С) значительно превосходит все инструментальные материалы, инертен к железу и углеродистым сплавам. Для изготовления лезвийных инструментов используются поликристаллы КНБ и композиционные материалы, созданные на его основе (композиты). К ним относятся: эльбор-Р (композит 01), белбор (композит 02), композит 05, ПТНБ (композит 09), гексанит-Р (композит 10), композит 10Д, композит 12. Они синтезируются в виде цилиндрических столбиков диаметром 4...8 мм, высотой 3...6 мм, которыми затем оснащаются режущие инструменты.

Композиты на базе кубического нитрида бора используют для обработки сталей и чугунов различной твердости. Причем чем выше твердость стали или чугуна, а также скорость резания, тем значительнее преимущество инструментов из композита по сравнению с инструментами из твердого сплава и минералокерамики. При этом обеспечивают 5...6-й качества точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,16...0,08$ мкм, что позволяет во многих случаях заменить операции внутреннего и наружного шлифования.

Новый СТМ – силинит-Р – инструментальный материал на основе нитрида кремния (SiN), обладает $\sigma_t = 49...68$ кгс/мм² и большой твердостью HRA 94...96, стабильностью свойств при высокой температуре. Теплоустойчивость достигает 1600 °С. Для силинита-Р характерно отсутствие адгезии с большинством сталей и сплавов на основе алюминия и меди. Из этого материала изготавливают как напайные, так и неперетачиваемые механически закрепляемые пластины. Используют для выполнения операций полустогового и чистового точения различных ма-

териалов. При обработке закаленных сталей его применение может заменить шлифование.

13.3.4 Минералокерамика

Минералокерамические материалы для изготовления режущих инструментов стали применять с 50-х годов.

Минералокерамика – это инструментальный материал, основой которого является корунд – минерал кристаллического строения, состоящий из оксида алюминия Al_2O_3 .

Наибольшее распространение в настоящее время получила керамика оксидного (белая), оксидно-карбидного (черная), оксидно-нитридная.

Оксидная керамика содержит до 99 % Al_2O_3 . Белые минералокерамические пластинки выпускаются под маркой ЦМ332 ($\sigma_{\text{н}}=0,3...0,4$ ГПа). Она имеет теплостойкость порядка 1500 °С, что позволяет обрабатывать металлы со скоростями резания 300...600 м/мин.

Сейчас освоены новые марки оксидной керамики с улучшенными физико-механическими свойствами, такие как В013 ($\sigma_{\text{н}}=40...50$ кгс/мм²), ВШ-75 ($\sigma_{\text{н}}=56...60$ кгс/мм²) и др.

Оксидную керамику рекомендуется использовать для чистового и получистового точения нетермообработанных сталей, а также серых и ковких чугунов с твердостью HB 200 и менее.

Оксидно-карбидную керамику получают добавлением к ее основе (Al_2O_3) карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, титана и молибдена). Образовавшиеся составы из кристаллов корунда и карбидов тугоплавких металлов получили название керметы ($\sigma_{\text{н}} = 0,6...0,7$ ГПа). Теплостойкость керметов до 1100...1200 °С. Керметы изготавливаются промышленностью в виде многогранных и круглых пластинок. Они имеют марки ВОК-60, ВОК-63 и ВЗ.

Инструмент с пластинами из минералокерамики используется при получистовом и чистовом точении и растачивании заготовок (из высокопрочных и отбеленных чугунов, из закаленных и труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и их сплавов, а также неметаллических материалов) с высокими скоростями резания в условиях безударной обработки и без охлаждения.

Оксидно-нитридная – инструментальный материал картинит ОНТ-20, состоит из Al_2O_3 и TiN. Картинит предназначен для чистового и получистового точения и фрезерования сталей, закаленных до HRC<55.

Основа нитридной керамики – нитрид кремния Si_3N_4 . Получение плотного материала из чистого нитрида кремния технически весьма

сложно из-за его низкой пластичности. Необходимая плотность достигается лишь в присутствии активирующих добавок (MgO , Y_2O_3 – оксид иттрия, ZrO_2), что позволяет добиться практически полного уплотнения. При использовании в качестве добавки совместно оксида и нитрида алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{AlN}$) образуется твердый раствор алюминия и кислорода в нитриде кремния – сиалон (SiAlON). По сравнению с нитридом кремния сиалон обладает большей теплостойкостью.

Введение частиц нитрида титана, т.е. второй фазы, в сиалоновую матрицу приводит к повышению и твердости, и прочностных характеристик.

Армированная керамика. Керамика обладает сравнительно низкой прочностью при растяжении, недостаточными ударной вязкостью и термостойкостью. Использование положительных свойств керамики предполагает предварительное устранение этих недостатков. На это и направлены широко проводимые в настоящее время работы по армированию керамики металлическими волокнами.

Армирование конструкционного материала волокнами, имеющими большую, чем сам материал, прочность при растяжении, обычно производится в целях усиления способности матрицы нести нагрузку. В таком случае прикладываемая к системе нагрузка воспринимается в основном высокопрочными волокнами. При этом необходимо, чтобы между керамикой и волокнами существовала достаточно прочная связь. Большое значение в данном случае имеют коэффициенты термического расширения керамики и металла.

Наряду с правильно подобранной комбинацией материалов большое значение имеет геометрия волокон и их ориентация в основном материале. Расположение волокон в материале может быть беспорядочным или ориентированным, что и определяет прочность композиции.

Ударная вязкость керамики, армированной металлическими нитями, обычно намного выше, чем у неармированной керамики. Это обусловлено совокупным действием двух механизмов. Во-первых, волокна воздействуют на распределение механического напряжения, уменьшая концентрацию напряжений в керамике. Во-вторых, даже если волокна не могут предохранить керамику от растрескивания под действием сильного удара, они тем не менее ограничивают распространение трещин и предотвращают катастрофическое разрушение конструкции, которая часто еще способна работать, несмотря на растрескивание.

Подобным же образом термостойкость керамики, армированной металлическими нитями, намного выше, чем у неармированной керамики, даже для композиции, в которых возникли микротрещины. Металлические нити, по-видимому, обеспечивают распределение термических напряжений и ограничивают распространение трещин в основном таким же образом, как и в случае механического удара. Интересно отметить, что для достижения одинаковой термостойкости в керамику необходи-

мо ввести в три раза больше металлического порошка, чем волокон с отношением длины к диаметру не ниже 20:1.

13.4 Абразивные материалы

13.4.1 Абразивные зерна и их свойства

Абразивы – это твердые мелкие частицы, используемые в свободном или связанном виде для механической обработки изделий. Принцип их действия заключается в удалении материала обрабатываемой поверхности острыми выступами абразива. При этом от абразивных частиц, имеющих, как правило, кристаллическую структуру, откалываются микроскопические крупницы, образуя новые рабочие кромки. Основные характеристики абразивных материалов – микротвердость, механическая прочность, хрупкость и размер зерна.

Абразивные материалы делятся по твердости (сверхтвердые, твердые, мягкие), химическому составу и величине шлифзерна (крупные или грубые, средние, тонкие, особо тонкие), величина зерна измеряется в микрометрах (мк) и мешах (mesh), величине более распространенной в мире.

Материалом для изготовления абразивов могут быть как продукты природного происхождения, так и искусственно созданные. Искусственные применяются шире, отчасти из-за химического состава и физико-механических свойств. Из большого списка искусственных абразивов широкое распространение получили синтетический алмаз (синтез при высоком давлении), карбиды бора и кремния, кубический нитрид бора (торговая марка – эльбор), электрокорундовые материалы.

Особое значение имеют сверхтвердые абразивные материалы, к которым относятся алмаз и кубический нитрид бора. Инструменты из алмаза эффективны при обработке хрупких и высокотвердых материалов, при чистовом шлифовании, заточке и доводке твердосплавных режущих инструментов, хонинговании. Однако для алмазного инструмента есть ограничение: при обработке сталей происходит диффузионный износ шлифовального зерна, так как углерод из алмаза отбирается сталью. Поэтому стали обрабатываются инертным для них эльбором. В свою очередь, эльбор вступает в химическую реакцию с твердыми сплавами – здесь необходимы алмазные абразивы.

Абразивные зерна шлифовальных кругов изготавливаются из *электрокорунда*. В зависимости от содержания примесей и технологии производства электрокорунд делится на следующие виды: *нормальный* (12А...16А), *белый* (22А...25А), *хромистый* (32А...34А), *титанистый* (37А) и *монокорунд* (43А...45А). Электрокорунд нормальный и белый применяется для обработки конструкционных (углеродистых и легиро-

ванных) сталей. Для шлифования этих сталей на интенсивных режимах лучше применять хромистый электрокорунд. Для обработки инструментальных, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей применяется монокорунд.

Абразивные зерна из карбида кремния черного (53С...55С) и зеленого (63С...64С) применяются для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, а также титановых сплавов.

В последнее время для шлифования труднообрабатываемых закаленных сталей, титановых сплавов и инструментальных сталей применяются шлифовальные круги с абразивными зернами из кубического нитрида бора (эльбор, кубонит). Для обработки твердых металлокерамических сплавов начали широко применять круги с абразивными зернами из природных и искусственных алмазов. Синтетические алмазные зерна выпускаются четырех марок, которые отличаются между собой в основном прочностью: АСО – обычной прочности, АСП – повышенной, АСВ – высокой и АСК – кристаллической прочности. А зерна эльбора выпускаются двух марок: ЛП – повышенной и ЛО – обычной прочности.

В таблице 13.2 приведены некоторые свойства абразивных материалов. Такие характеристики абразивных зерен, как размер, форма, прочность и ломкость также важны, поскольку определяют возможности применения абразивного круга.

Таблица 13.2 – Физические свойства основных абразивных материалов

Характеристика	Оксид алюминия	Карбид кремния (карборунд)	Нитрид бора	Алмаз
Кристаллическая структура	Гексагональная	Гексагональная	Кубическая	Кубическая
Плотность (г/куб. см)	3.98	3.22	3.48	3.52
Точка плавления	2040	~2830	~3200	~3700
Твердость по Кнупу (кг/кв. мм)	2100	2400	4700	8000

В настоящее время расширяющееся применение получают керамические (минералокерамические) абразивы, получаемые спеканием или реакционным спеканием дисперсных порошков SiC, Al₂O₃, Si₃N₄ и др. (керамические абразивы типа Cubitron и Seed-Gel). Они значительно превосходят по прочности, твердости, износостойкости и остроте граней традиционные абразивные материалы. В настоящее время используются круги, содержащие корундовые и керамические зерна в различных процентных соотношениях. Технология производства керамических абразивов допускает управление формой зерен и их размерами. На их основе ведутся разработки шлифовальных кругов с заданной ориен-

тацией кромок абразивных зерен, что позволит достигнуть максимальной эффективности шлифования.

Следует отметить также разработанные в последние годы новые типы абразивных материалов, такие как обладающие повышенной режущей способностью Al-O-N (ABRAL), а также перспективные сверхтвердые материалы систем Al-Mg-B, C₃N и Al-C-N, по твердости достигающих KHV и алмаз.

13.4.2 Технологии производства абразивов

Основным оборудованием для производства абразивов из электрокорундов является мельничное оборудование, или специальные дробилки, которые соответственно дробят материал для последующего использования для изготовления специального изделия. Таким помольным оборудованием являются всевозможные дробилки, мельницы шарового типа, грохоты, воздушные классификаторы и другое подобное оборудование.

Однако не все типы абразивов поддаются воздействию в подобном оборудовании. Например, предварительная обработка алмазного сырья производится посредством устройств, которые раскалывают алмазы, а такими устройствами являются специальные станки, выполненные по другим конструктивным параметрам. Обработка алмазного абразива во время изготовления инструментария однокристалльного типа производится на специальных станках, предназначенных для граночных работ, в данном оборудовании установлен диск из высоколегированного чугуна, который шаржирован порошком из алмазной крошки. То есть алмаз режет алмаз.

Оксид алюминия получают из бокситов в промышленных условиях в ходе энергоемкого производственного процесса. На стадии плавления как кристаллическая структура, так и химический состав получаемого оксида алюминия могут контролироваться производителем, в результате чего возможно получение чистого кристаллического оксида алюминия, белого плавленого оксида алюминия (с низким содержанием железа и кремния), полумомкого оксида алюминия (с низким содержанием титана), монокристаллического оксида алюминия (с твердой режущей кромкой и высокой прочностью при сжатии), а также красного и розового оксида алюминия (с высоким содержанием хрома). Производство абразивных зерен циркониевого оксида алюминия требует оборудования и производственного процесса, аналогичных тем, которые необходимы для производства стандартного оксида алюминия. Присутствие циркониевого компонента, обладающего кристаллами особого размера, придает получаемым абразивным зернам большую твердость по срав-

нению с белым и бурым оксидом алюминия. Применение: в сталелитейном производстве. Оксид алюминия, производимый при помощи *зольгелиевой технологии*, обладает очень мелкими кристаллами и вследствие этого сохраняет острую режущую кромку в процессе износа материала. Одним из недостатков зольгелиевого оксида алюминия является его пониженная, по сравнению с плавленым оксидом алюминия, термоустойчивость. Применение: при обработке черных и цветных металлов.

Карбид кремния тверже, чем оксид алюминия, однако он обладает большей ломкостью. Регулируя количество энергии, используемой в процессе изготовления карбида кремния, производитель может получить либо черную, либо зеленую его разновидность. Черный карбид кремния содержит больше примесей по сравнению с зеленым карбидом кремния.

13.5 Нанотехнологии в производстве обрабатывающего инструмента

В последнее время в мире наметились определенные тенденции по внедрению в производство режущего инструмента достижений нанотехнологий. Наиболее перспективными нанотехнологиями в производстве режущего инструмента являются: нанесение наноструктурных покрытий; наномодификация поверхностного слоя; компактирование нанодисперсных порошков; производство режущего инструмента из объемных наноструктурных материалов; производство инструмента из нанопорошков алмаза и сверхтвердых материалов и др.

Широкое практическое использование нанотехнологий является важнейшим стратегическим направлением развития высокотехнологичных производств. Все большее применение в производстве режущего инструмента находят наноструктурные твердые материалы, полученные методом компактирования нанодисперсных порошковых композитов на основе карбидов с металлами-связками. Данные наноструктурные материалы по прочности, ударной вязкости и износостойкости значительно превосходят аналогичные материалы с обычной, зернистой структурой. Высокие характеристики наноструктурных материалов объясняются тем, что между частицами разных фаз (WCi Co) формируются трехмерные контакты, в результате чего формируется достаточно плотная структура. Однако при механическом перемешивании очень трудно обеспечить равномерное распределение ультрадисперсных порошков WCi Co. Степень однородности механического перемешивания не позволяет получать в спеченном продукте зерна размером меньше 300 нм. В последнее время разработан ряд новых химических методов, которые позволяют получать нанофазный порошок на основе кобальтовой связ-

ки с размером частиц 30–40 нм. Такие материалы уже нашли широкое применение при изготовлении цельных твердосплавных микросверл для изготовления печатных плат в приборостроении.

Другим направлением применения нанотехнологий в производстве режущего инструмента является нанесение наноструктурных покрытий на его режущую часть методами термического напыления. Установлено, что у наноструктурных покрытий с размером зерен менее 100 нм происходит резкое улучшение физических характеристик.

13.6 Режимы резания и основное время при обработке

Показателями режима резания при точении являются:

1. Глубина резания t . Для проходов обтачивания она равна 1/2 разности диаметров перед и после обточки поверхности заготовки и вычисляется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

где t – глубина резания; D – диаметр заготовки; d – заданный диаметр после прохода.

Для растачивания глубина резания равна 1/2 разности диаметров отверстия после прохода растачивания и диаметра отверстия в заготовке. Для переходов подрезки – это размер слоя металла, удаляемого с торца заготовки за единичный проход резца, а при проточке и отрезке глубина канавки.

2. Подача S мм/об. Подача – это длина пути при перемещении режущей кромки резца, совершаемом ей за единичный оборот шпинделя. Величина подачи зависит от значения t , габаритов и физических свойств обрабатываемой заготовки, мощности главного привода. При операции точения подача на токарном станке должна устанавливаться на максимально возможное число, но с учетом технологических параметров станка и применяемого инструмента. При операциях по черновому точению она зависит от мощности главного привода и устойчивости детали. А при чистовом точении основным критерием является заданный класс шероховатости поверхности.

3. Частота вращения шпинделя n об/мин. В справочнике обычно задается скорость резания (суммарная траектория режущей кромки резца за единицу времени), v , м/мин. Частота вращения может быть найдена из выражения $n = 1000v / \pi D$, где D – диаметр обработки.

Показателями режима резания при фрезеровании являются:

1. Глубина резания t . Глубина резания для всех видов фрез, кроме торцовых и шпоночных, измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (у торцовых и шпоночных фрез глубина резания измеряется в направлении оси фрезы). Ширина фрезерования B , которая для всех фрез, кроме торцовых и шпоночных, измеряется в направлении оси фрезы, а торцовых и шпоночных соответствует ширине обрабатываемой плоскости.

2. Скорость подачи S_m мм/мин. В справочниках обычно рекомендуются подачи S_z – на один зуб фрезы (при предварительной обработке) или S_o – на один оборот фрезы.

3. Частота вращения шпинделя n об/мин. В справочнике обычно задается скорость резания v , м/мин.

Все виды подач при фрезеровании связаны между собой следующими выражениями $S_o = S_z \cdot Z$; $S_m = n \cdot S_o = n \cdot Z \cdot S_z$, где Z – число зубьев фрезы. Частота вращения фрезы может быть найдена из выражения $n = 1000v / \pi D$, где D – диаметр фрезы.

В каталогах продукции производителей инструментов, как правило, приводятся рекомендуемые режимы резания (рис. 13.1–13.3). Также на многих сайтах компаний производителей инструмента имеются интерактивные онлайн-калькуляторы режимов резания. Также разрабатываются специализированные программы по расчёту режимов резания (рис. 13.4).

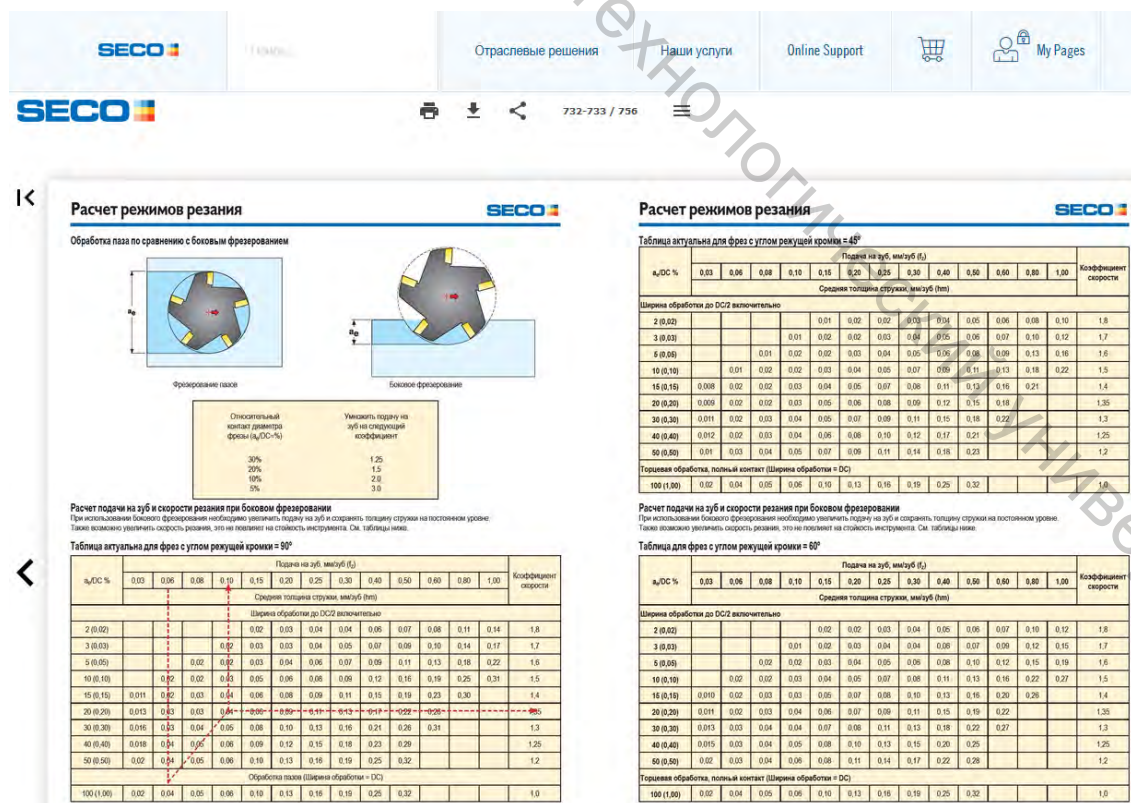
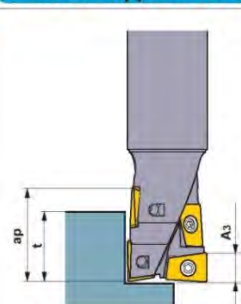


Рисунок 13.1 – Фрагмент каталога фирмы Seco

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ИНСТРУМЕНТ

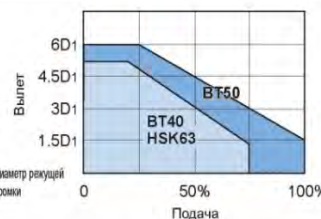
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ



- Аз - глубина резания части с двумя пластинами на конце режущей кромки.
- Вне диапазона Аз, есть зона, где режущая кромка формируется кромкой одной пластины, а не двумя, как это происходит в зоне размера Аз. Поэтому следует обращать особое внимание на соотношение подачи и глубины резания.
- Режущие кромки на краю фрезы склонны к увеличенному износу из-за повреждений. Потому, при операциях с большой глубиной резания, рекомендуется устанавливать глубину резания (f) таковой, при которой режущая кромка формируется двумя пластинами, что будет предотвращать повреждение режущих кромок.

Диаметр	Рекомендуемая глубина резания (мм)
φ 16, 17	12 – 14
φ 20, 21	14 – 17
φ 25, 26	17 – 22
φ 32, 33	22 – 28
φ 35	25 – 32
φ 40	28 – 35
φ 50	35 – 45

*Значение для Аз и ар приведены в таблице стандартных хвостовиков.



*D1=Диаметр режущей кромки

- Биение, вибрации и другие проблемы склонны к возникновению при обработке с большим вылетом инструмента и/или в случае низкой жесткости станка, приводя к нестабильной обработке.
- Следует уменьшить подачу соответственно, руководствуясь вышеприведенным графиком.

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ УСТУПОВ

Обрабатываемый материал	Твердость	Материал	Скорость резания (м/мин)	φ16, φ17			φ20, φ21		
				Глубина резания (мм)	Ширина резания (мм)	Подача (мм/об)	Глубина резания (мм)	Ширина резания (мм)	Подача (мм/об)
P Малоуглеродистые стали	≤180HB	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	–8	0.25	–6	–10	0.30
				4.5–12	–5	0.16	6–14	–7	0.25
				12–17	–3	0.10	14–22	–4	0.18
Углеродистая сталь Легированная сталь	180–350HB	VP15TF	160 (120–200)	–4.5	–8	0.20	–6	–10	0.25
				4.5–12	–4	0.14	6–14	–6	0.20
				12–17	–2	0.08	14–22	–3	0.16
M Нержавеющая сталь	≤270HB	VP30RT (VP15TF)	150 (120–180)	–4.5	–8	0.20	–6	–10	0.25
				4.5–12	–4	0.14	6–14	–6	0.20
				12–17	–2	0.08	14–22	–3	0.16
K Чугун	Предел прочности ≤450МПа	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	–8	0.25	–6	–10	0.30
				4.5–12	–5	0.16	6–14	–7	0.25
				12–17	–3	0.10	14–22	–4	0.18
N Алюминиевые сплавы	–	HT10 (G1 Стружколом)	500 (200–800)	–4.5	–11	0.30	–6	–14	0.35
				4.5–12	–8	0.21	6–14	–10	0.30
				12–17	–5	0.15	14–22	–6	0.23
H Закаленная сталь	45–55HRC	VP15TF	80 (50–120)	–4.5	–5	0.16	–6	–6	0.20
				4.5–12	–3	0.10	6–14	–4	0.16
				12–17	–1	0.06	14–22	–2	0.12

(Примечание 1) Следует обращать особое внимание на глубину резания при обработке, когда режущие кромки короткого типа.

(Примечание 2) При использовании G1 стружколома (VP15TF), уменьшите подачу на 20%.

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАЗОВ

Обрабатываемый материал	Твердость	Материал	Скорость резания (м/мин)	φ16, φ17		φ20, φ21	
				Глубина резания (мм)	Подача (мм/об)	Глубина резания (мм)	Подача (мм/об)
P Малоуглеродистые стали	≤180HB	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	0.16	–6	0.18
				4.5–12	0.10	6–14	0.14
				12–17	0.07	14–22	0.10
Углеродистая сталь Легированная сталь	180–350HB	VP15TF	160 (120–200)	–4.5	0.14	–6	0.16
				4.5–12	0.09	6–14	0.12
				12–17	0.05	14–22	0.10
M Нержавеющая сталь	≤270HB	VP30RT (VP15TF)	150 (120–180)	–4.5	0.14	–6	0.16
				4.5–12	0.09	6–14	0.12
				12–17	0.05	14–22	0.10
K Чугун	Предел прочности ≤450МПа	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	0.16	–6	0.18
				4.5–12	0.10	6–14	0.14
				12–17	0.07	14–22	0.10
N Алюминиевые сплавы	–	HT10 (G1 Стружколом)	500 (200–800)	–4.5	0.18	–6	0.20
				4.5–12	0.12	6–14	0.16
				12–17	0.09	14–22	0.12
H Закаленная сталь	45–55HRC	VP15TF	80 (50–120)	–4.5	0.10	–6	0.12
				4.5–12	0.07	6–14	0.10

(Примечание 1) Следует обращать особое внимание на глубину резания при обработке, когда режущие кромки короткого типа.

(Примечание 2) При использовании G1 стружколома (VP15TF), уменьшите подачу на 20%.

K066

Рисунок 13.2 – Фрагмент каталога фирмы Mitsubishi с элементами режимов резания

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Режимы резания – рекомендации по скоростям резания

Фрезерование с большой шириной контакта

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания к _{с1}	Твердость по Бринеллю	мс	CT530		GC1025	
						Мах толщина стружки, h _{ex} мм		0.1 – 0.15 – 0.2	
						Скорость резания v _c , м/мин		0.05 – 0.1 – 0.2	
P		Сталь							
		Нелегированная							
	01.1	C = 0.10 – 0.25%	1500	125	0.25	430 – 390 – 350	340 – 310 – 255		
	01.2	C = 0.25 – 0.55%	1600	150	0.25	385 – 350 – 315	305 – 280 – 230		
	01.3	C = 0.55 – 0.80%	1700	170	0.25	365 – 330 – 300	290 – 260 – 215		
	01.4		1800	210	0.25	315 – 290 – 260	250 – 230 – 185		
	01.5		2000	300	0.25	235 – 210 – 195	185 – 170 – 140		
	02.1	Низколегированная (легир. эл. ≤ 5%)	1700	175	0.25	300 – 275 – 245	240 – 215 – 180		
	02.2	В состоянии поставки Закаленная и отпущенная	2000	300	0.25	180 – 165 – 150	145 – 130 – 105		
	03.11	Высоколегированная (легирующих эл. > 5%)	1950	200	0.25	230 – 205 – 185	180 – 165 – 135		
	03.13	Отожженная	2150	200	0.25	190 – 170 – 155	150 – 135 – 110		
	03.21	Закаленная инструментальная сталь	2900	300	0.25	165 – 150 – 135	130 – 120 – 100		
	03.22		3100	380	0.25	105 – 95 – 85	80 – 75 – 60		
	06.1	Стальное литье	1400	150	0.25	305 – 280 – 250	245 – 220 – 180		
	06.2	Нелегированное	1600	200	0.25	245 – 220 – 200	195 – 175 – 145		
	06.3	Низколегированное (легир. эл. ≤ 5%) Высоколегированное (легирующих эл. > 5%)	1950	200	0.25	180 – 160 – 145	140 – 130 – 105		
M		Нержавеющая сталь							
		Ферритная, мартенситная							
	05.11	Незакаленная	1800	200	0.21	285 – 255 – 230	255 – 225 – 180		
	05.12	Дисперсионно-твердеющая	2800	330	0.21	205 – 185 – 165	180 – 160 – 130		
	05.13	Закаленная	2300	330	0.21	215 – 190 – 170	185 – 165 – 135		
	05.21	Аустенитная	2000	200	0.21	265 – 240 – 215	250 – 225 – 180		
	05.22	Дисперсионно-твердеющая	2800	330	0.21	200 – 175 – 160	170 – 155 – 125		
	05.51	Аустенитно-ферритная (Дуплекс)	2000	230	0.21	260 – 235 – 210	205 – 185 – 145		
	05.52	Несвариваемая ≥ 0.05%С Свариваемая < 0.05%С	2400	260	0.21	230 – 205 – 185	175 – 155 – 125		
	15.11	Нержавеющая сталь – Отливки	1700	200	0.25	255 – 230 – 205	225 – 200 – 160		
	15.12	Ферритная, мартенситная	2500	330	0.25	180 – 160 – 145	155 – 140 – 115		
	15.13	Незакаленная	2100	330	0.25	195 – 175 – 155	170 – 155 – 120		
	15.21	Дисперсионно-твердеющая	1800	200	0.25	255 – 225 – 205	235 – 210 – 170		
	15.22	Закаленная	2500	330	0.25	180 – 160 – 145	160 – 140 – 115		
	15.51	Аустенитно-ферритная (Дуплекс)	1800	230	0.25	245 – 220 – 195	195 – 175 – 140		
	15.52	Несвариваемая ≥ 0.05%С Свариваемая < 0.05%С	2200	260	0.25	215 – 190 – 170	160 – 145 – 115		
K		Удельная сила резания к _{с1}							
		Твердость по Бринеллю							
		мс							
		Обрабатываемый материал							
		Н/мм²							
		HB							
		СВ50							
		СС6090							
		Мах толщина стружки, h _{ex} мм							
		0.1 – 0.15 – 0.2							
K		Обрабатываемый материал							
		Н/мм²							
		HB							
		мс							
		Ковкий чугун							
	07.1	Ферритный (элементная стружка)	800	130	0.28		1190 – 975 – 805		
	07.2	Перлитный (сливная стружка)	900	230	0.28		980 – 805 – 660		
	08.1	Серый чугун	900	180	0.28	845 – 725 – 620	1320 – 1085 – 890		
	08.2	Низкой прочности	1100	245	0.28	910 – 780 – 665	1045 – 860 – 705		
	09.1	Чугун с шаровидным графитом	900	160	0.28				
	09.2	Ферритный	1350	250	0.28	495 – 420 – 360	760 – 625 – 515		
		Перлитный							

1) Обрабатывать с главным углом в плане 45-60°, с положительными передними углами и охлаждением.



Условия обработки:
Фреза диаметром 125 мм
расположена симметрично
относительно заготовки.
Величина перекрытия 100 мм.

Рисунок 13.3 – Фрагмент каталога фирмы
Sandvik Coromant с элементами режимов резания

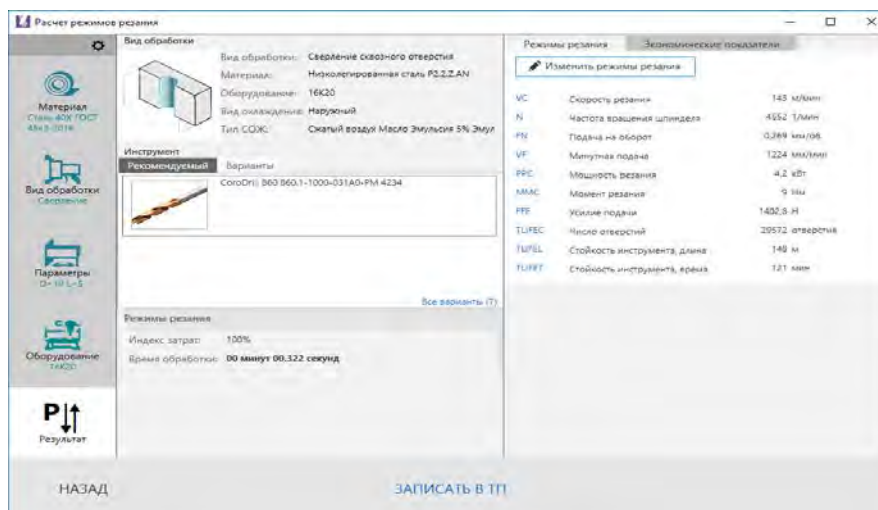


Рисунок 13.4 – Приложение АСКОН для расчета режимов резания

Время точения металла (t_o основное время) – самая затратная составляющая в суммарном времени изготовления единичного изделия. Поэтому от скорости её выполнения напрямую зависит экономическая эффективность использования оборудования.

Для расчета основного времени обработки конструктивного элемента необходимо разработать модель затрат основного времени. Для этого необходимо построить расчётные схемы для определения длины рабочего хода инструмента L_{px} , а также траектории движения инструмента с учетом распределения припуска и количества проходов.

Так, на основании принятых показателей режима резания и определения длины рабочего хода можно определить затраты основного времени t_o на операцию:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N,$$

где L_{px} – длина рабочего хода; S_m – минутная подача; N – число повторений рабочего хода (часто совпадает с числом проходов).

$$L_{px} = L_g + L + L_n,$$

где L_g – длина врезания; L – длина участка, на котором происходит формообразование (часто совпадает с длиной заготовки); L_n – длина перебега (принимается 2...3 мм или может отсутствовать вовсе).

Длина врезания зависит от геометрии обрабатываемой поверхности и способа обработки.

Так для цилиндрических, фасонных и дисковых фрез в том случае, если ось фрезы параллельна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обрабатываемой поверхности, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 13.5.

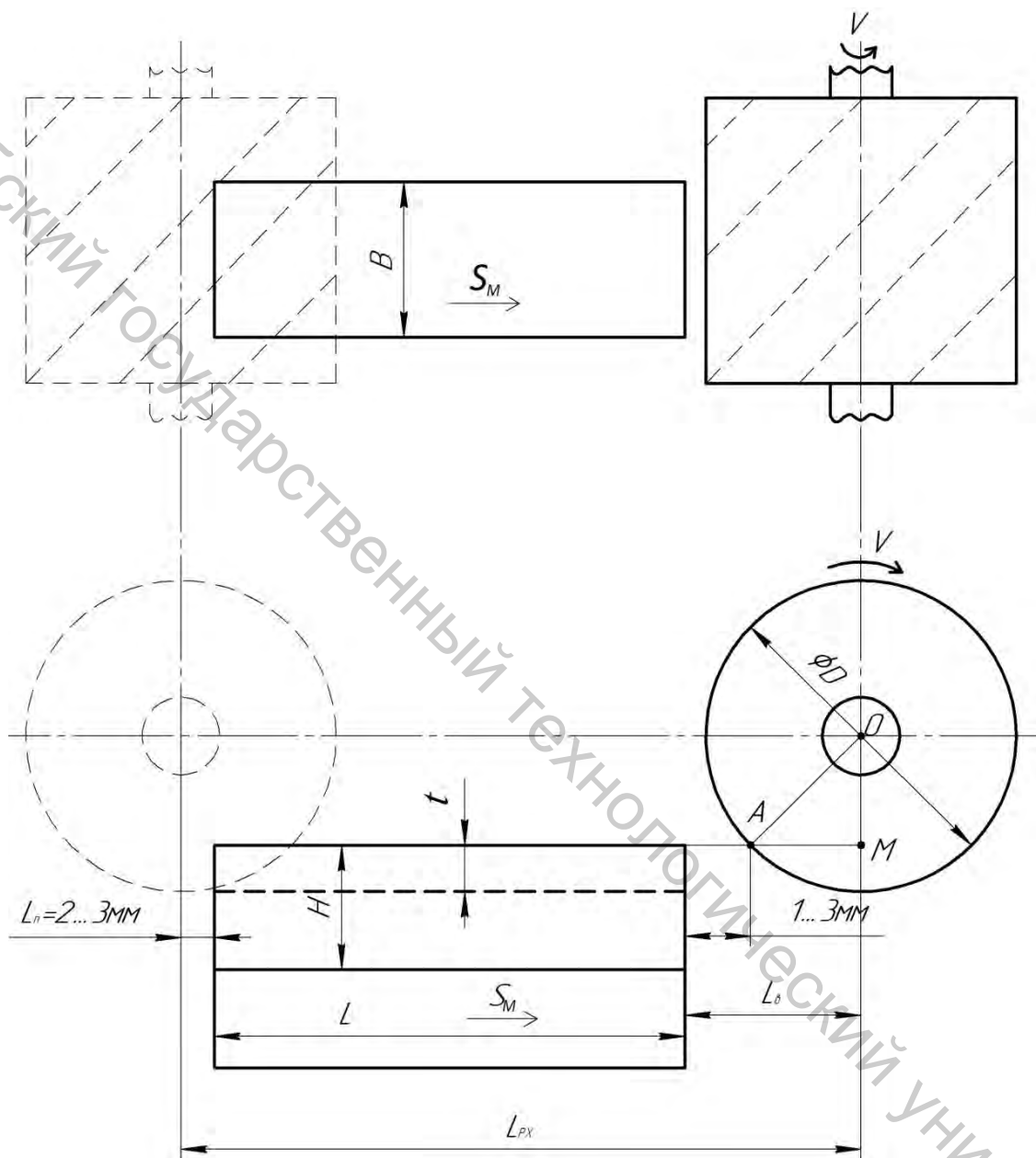


Рисунок 13.5 – Схема определения длины рабочего хода для цилиндрических, фасонных и дисковых фрез

$$L_0 = AM + (1...3).$$

Из $\triangle OAM$ по теореме Пифагора

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = AM^2 + \left(\left(\frac{D}{2}\right) - t\right)^2, AM^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\left(\frac{D}{2}\right) - t\right)^2,$$

$$AM^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 2\left(\frac{D}{2}\right)t + t^2\right), AM = \sqrt{2\left(\frac{D}{2}\right)t - t^2} = \sqrt{Dt - t^2},$$

$$L_g = \sqrt{t(D-t)} + (1...3) \text{ мм},$$

где t – глубина резания, D – диаметр фрезы (рис. 13.5).

Число проходов N определяется по формуле

$$N = \left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil,$$

где $t_{маб}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход), принятая по справочным таблицам; H – припуск.

Обозначение $\left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil$ – «потолок значения» означает, что полученная величина округляется до ближайшего большего значения. Далее необходимо скорректировать значение глубины резания

$$t = \frac{H}{N}.$$

Тогда длина рабочего хода

$$L_{px} = L_g + L + L_n = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} =$$

$$= \sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}.$$

Основное время

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \frac{H}{t} \text{ мин}.$$

Если величину глубины резания не скорректировать, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что необходимо учесть при определении величины врезания, следовательно, рабочего хода и основного времени:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m}(N-1) + \frac{L_{px}}{S_m} = \frac{\sqrt{t_{маб}(D-t_{маб})} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left(\left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil - 1 \right) + \\ + \frac{\sqrt{t_{кон}(D-t_{кон})} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \text{ мин},$$

где $L_{px}^{кон}$ – длина рабочего хода на последнем проходе; $t_{маб}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход) на всех проходах, кроме последнего, принятая по справочным таблицам; $t_{кон}$ – глубина фрезерования на последнем проходе; H – припуск.

$$t_{кон} = H - t_{маб} \left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil,$$

Обозначение $\left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil$ – «пол значения» означает, что полученная величина округляется до ближайшего меньшего значения.

Для торцовых и концевых фрез в том случае, если ось фрезы перпендикулярна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обрабатываемой поверхности при симметричном фрезеровании, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 13.6.

$$L_6 = \frac{D}{2} - OC + (1...3)\text{мм}.$$

где D – диаметр фрезы.

Из $\triangle OBC$ по теореме Пифагора

$$OC = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} = 0,5\sqrt{D^2 - B^2} \\ L_6 = \frac{D}{2} - OC + (1...3)\text{мм} = 0,5D - 0,5\sqrt{D^2 - B^2} + (1...3)\text{мм} = \\ = 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + (1...3)\text{мм}$$

где B – ширина фрезерования для торцевой фрезы (или глубина резания t для концевой).

$$L_{px} = L_g + L + L_n = 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} =$$

$$= 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + L + (3...6)\text{мм}$$

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left[\frac{H}{t_{маб}} \right]_{\text{мин}},$$

где $t_{маб}$ – глубина резания для торцевой фрезы (или ширина фрезерования за один проход B для концевой), принятая по справочным таблицам; H – припуск (рис. 13.6).

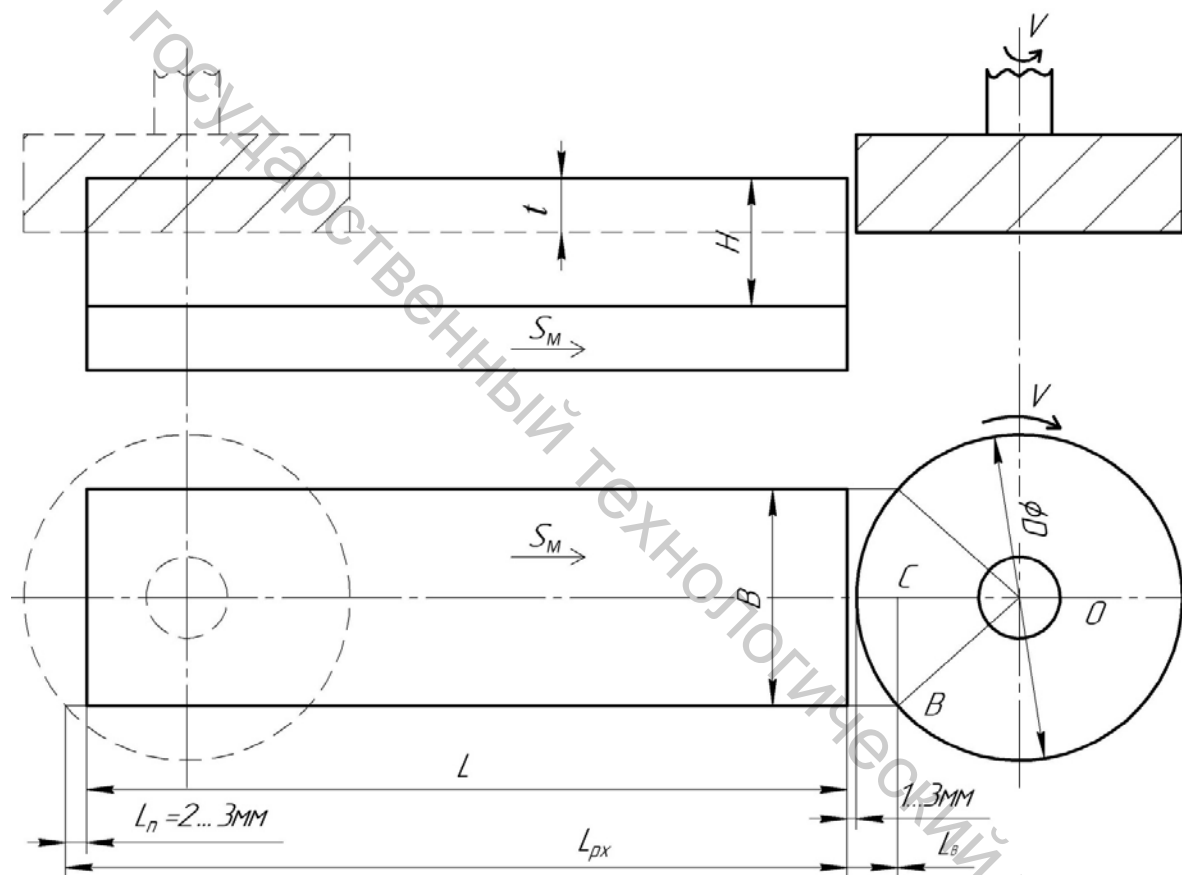


Рисунок 13.6 – Схема определения длины рабочего хода для торцевых и концевых фрез при симметричном фрезеровании

Если $B \geq D$, то

$$L_g = \frac{D}{2} + (1...3) \text{ мм.}$$

При несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 13.7.

$$L_6 = \frac{D}{2} - FS + (1...3)\text{мм},$$

где D – диаметр фрезы.

Из $\triangle OFS$ по теореме Пифагора

$$FS = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - K\right)^2} = \sqrt{DK - K^2}$$

где K – смещение фрезы.

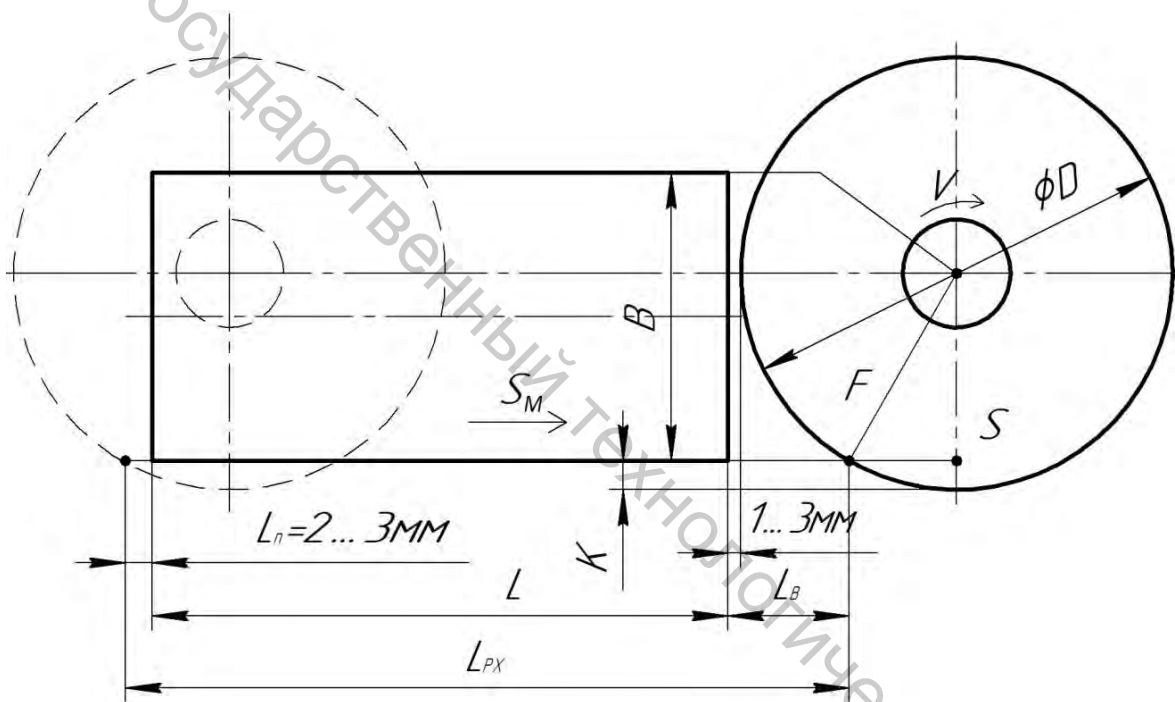


Рисунок 13.7 – Схема определения длины рабочего хода при несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой

$$L_6 = 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + (1...3)\text{мм}.$$

Длина рабочего хода

$$\begin{aligned} L_{px} &= L_6 + L + L_n = 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + L + (3...6)\text{мм} \end{aligned}$$

Основное время

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{0,5D - \sqrt{K(D-K)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left[\frac{H}{t_{маб}} \right]_{\text{мин}},$$

где $t_{маб}$ – глубина резания для торцевой фрезы (или ширина фрезерования B для концевой фрезы), принятая по справочным таблицам; H – припуск (рис. 13.7).

Также возможны случаи несимметричного фрезерования при $B < \frac{D}{2}$ и $B = \frac{D}{2}$. Если $B = \frac{D}{2}$, то $L_6 = \frac{D}{2} + (1...3)$. Если $B < \frac{D}{2}$, то для определения L_6 необходимо построить расчётную схему и выразить величину.

При фрезеровании уступов концевой фрезой в том случае, если ширина уступа меньше половины диаметра фрезы, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 13.8.

$$L_6 = PT + (1...3).$$

Из $\triangle OPT$ по теореме Пифагора

$$\left(\frac{D}{2} \right)^2 = PT^2 + \left(\left(\frac{D}{2} \right) - t \right)^2,$$

$$PT = \sqrt{Dt - t^2},$$

$$L_6 = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм},$$

где t – глубина резания (задаётся по ширине уступа), D – диаметр фрезы (рис. 13.8).

Длина рабочего хода

$$\begin{aligned} L_{px} &= L_6 + L + L_n = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= \sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм} \end{aligned}$$

Основное время:

– в том случае, если припуск распределяется вдоль оси фрезы (вдоль B)

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left\lceil \frac{B}{a} \right\rceil_{\text{мин}},$$

где B – ширина фрезерования (припуск); a – снимаемый слой металла за один проход;

– в том случае, если припуск распределяется перпендикулярно оси фрезы (вдоль t), то число проходов N определяется по формуле

$$N = \left\lceil \frac{H}{t_{таб}} \right\rceil.$$

где $t_{таб}$ – глубина резания, принятая по справочным таблицам; H – припуск.

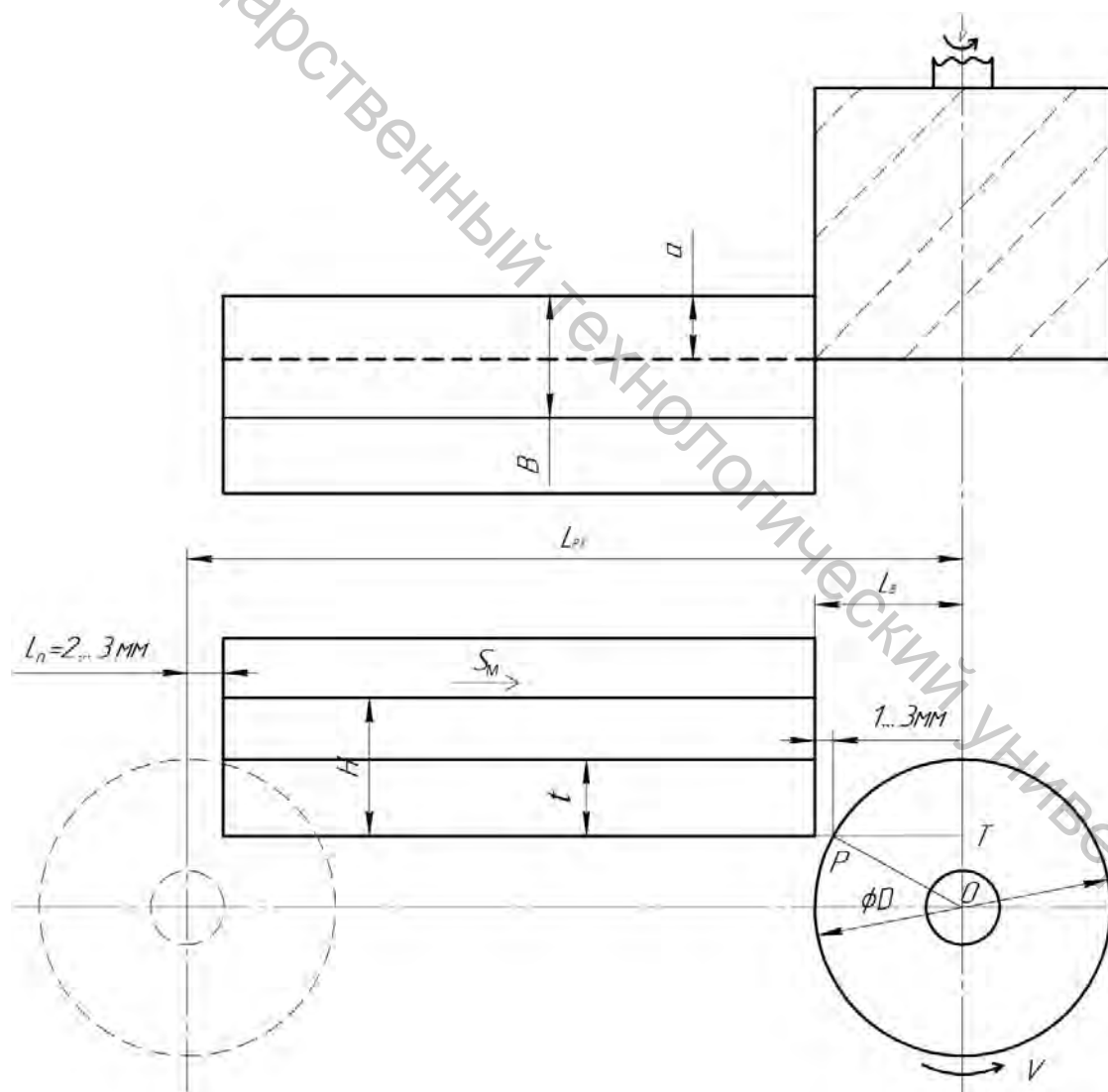


Рисунок 13.8 – Схема определения длины рабочего хода при фрезеровании уступов концевой и торцовой фрезами

Далее корректируется значение глубины резания

$$t = \frac{H}{N}.$$

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \frac{H}{t} \text{ мин.}$$

Если величину глубины резания не скорректировать после округления N до ближайшего большего значения, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что необходимо учесть при определении величины врезания и, следовательно, рабочего хода и основного времени.

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} (N-1) + \frac{L_{px}^{кон}}{S_m} = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left(\left\lceil \frac{H}{t_{таб}} \right\rceil - 1 \right) + \\ + \frac{\sqrt{t^{кон}(D-t^{кон})} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \text{ мин,}$$

где $L_{px}^{кон}$ – длина рабочего хода на последнем проходе; $t_{таб}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход) на всех проходах, кроме последнего, принятая по справочным таблицам; $t^{кон}$ – глубина фрезерования на последнем проходе; H – припуск.

$$t_{кон} = H - t_{таб} \left\lceil \frac{H}{t_{таб}} \right\rceil.$$

При фрезеровании уступов концевой фрезой в том случае, если глубина резания равна или больше половины диаметра фрезы

$$L_с = \frac{D}{2} + (1...3)\text{мм.}$$

При фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом имеет место два рабочих хода (рис. 13.9).

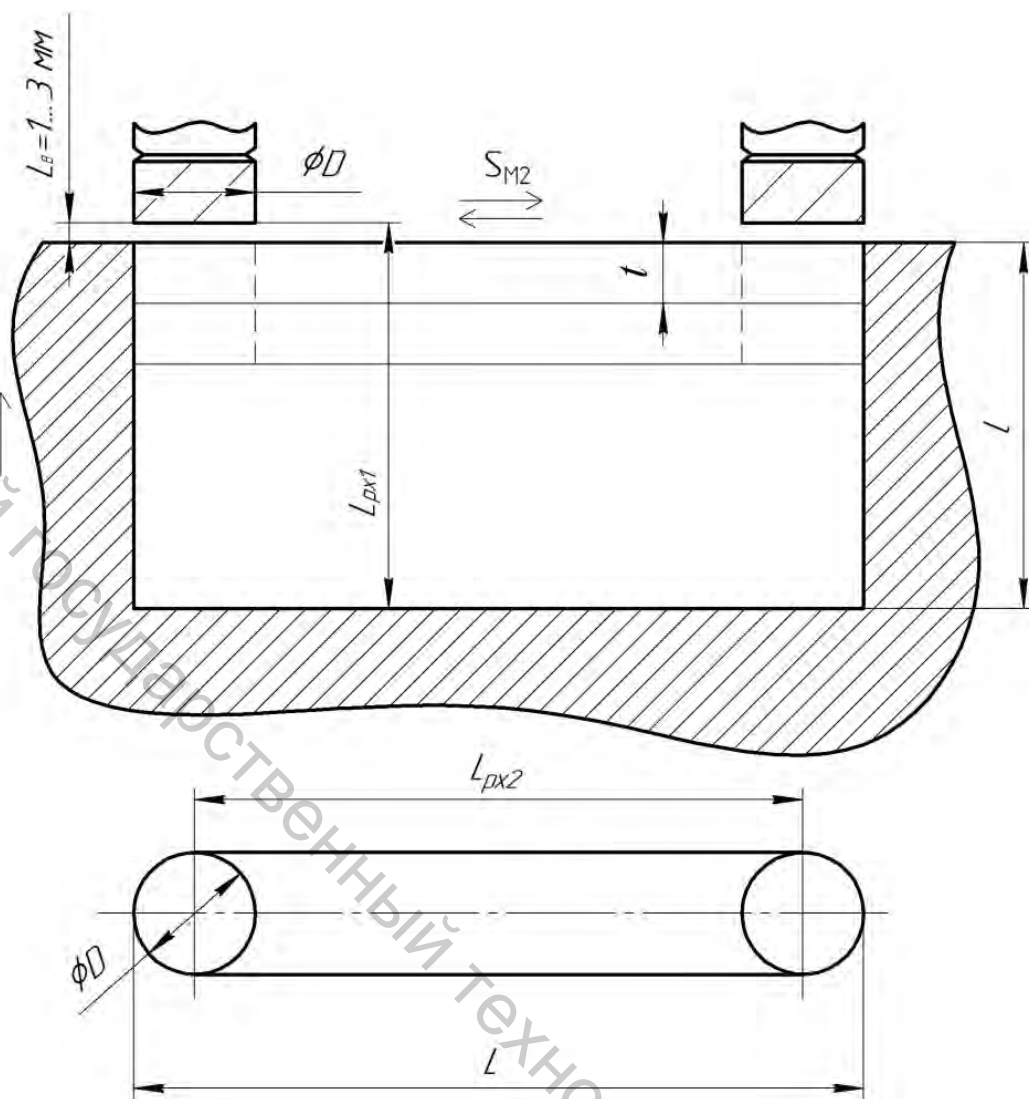


Рисунок 13.9 – Схема определения длины рабочего хода при фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом

$$L_{px1} = L_{\phi} + H = H + (1...3)\text{мм},$$

где H – глубина паза.

$$L_{px2} = L - D,$$

где L – длина паза; D – диаметр фрезы (рис. 13.9).

Число проходов N определяется по формуле

$$N = \left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil.$$

где $t_{маб}$ – глубина резания, принятая по справочным таблицам, H – припуск.

Далее корректируется значение глубины резания

$$t = \frac{H}{N}.$$

Основное время

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} = \frac{L_{px1}}{S_{.m1}} N + \frac{L_{px2}}{S_{.m2}} N = \left(\frac{H + (1...3) \text{ мм}}{S_{.m1}} + \frac{L - D}{S_{.m2}} \right) \cdot \frac{H}{t} \text{ мин},$$

где t – глубина резания; $S_{.m1}$ – минутная подача на врезание; $S_{.m1}$ – минутная подача на продольное фрезерование.

Если величину глубины резания не скорректировать после округления N до ближайшего большего значения, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что также необходимо учесть при определении величины врезания и, следовательно, рабочего хода и основного времени.

При фрезеровании пазов под сегментную шпонку длина врезания также равна 1–3 мм, а длина перебега отсутствует.

13.7 Вопросы для самоконтроля

1. Какие требования предъявляются к свойствам инструментальных материалов?
2. Какими физическими свойствами обладают углеродистые и легированные инструментальные стали?
3. Какими физическими свойствами обладают быстрорежущие стали?
4. Какими физическими свойствами обладают твердые сплавы?
5. Какими физическими свойствами обладает кубический нитрид бора?
6. Какими факторами определяется выбор инструментального материала?
7. Каковы тенденции в применении инструментальных материалов?
8. Назовите известные Вам марки инструментальных сталей и области их применения?
9. Назовите известные Вам марки твердых сплавов и области их применения?
10. Назовите известные Вам марки сверхтвердых материалов и области их применения?

11. Назовите известные Вам марки минералокерамики и области их применения?
12. Из чего изготавливаются зерна абразивных кругов?
13. Назовите известные Вам марки электрокорундов.
14. Что является оборудованием для производства абразивов из электрокорундов?
15. Что является оборудованием для производства алмазных абразивных материалов?
16. Для чего в производстве абразивных инструментов применяются нанотехнологии?
17. Назовите показатели режимов резания при точении и фрезеровании.
18. Выведите модель для определения основного времени фрезерования поверхностей цилиндрическими, фасонными и дисковыми фрезами.
19. Выведите модель для определения основного времени фрезерования поверхностей, симметрично расположенными концевыми и торцевыми фрезами.
20. Выведите модель определения основного времени при несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой.
21. Выведите модель определения основного времени при фрезеровании уступов концевой и торцевой фрезами.
22. Выведите модель определения основного времени при фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом.

14 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ ИНСТРУМЕНТОВ

14.1 Развитие конструкций режущих инструментов

В конструировании инструментов всё большее распространение получает использование *модульного принципа*. Использование готовых нормализованных модулей упростит создание сложных и точных инструментов, обеспечит экономию материалов, упростит регулирование их исполнительных размеров и др. Модули могут изготавливаться централизованно с обеспечением высокой точности и качества.

Наиболее распространенными примерами модулей являются многогранные твердосплавные (рис. 14.1) и керамические пластины и пластины, оснащенные СТМ (рис. 14.2), резцовые вставки расточных инструментов, микроборы и др.



Рисунок 14.1 – Многогранные твердосплавные пластины

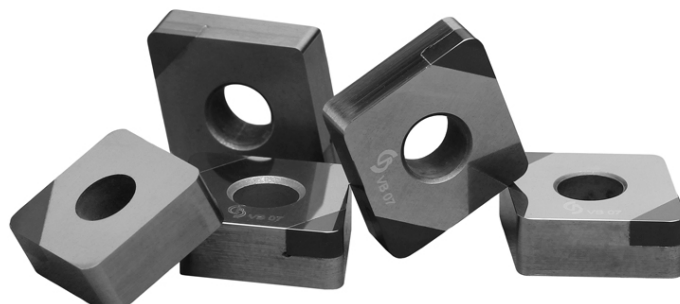


Рисунок 14.2 – Многогранные пластины, оснащенные СТМ

Резцы-вставки с микрометрическим регулированием представляют собой прецизионные инструменты для монтажа в расточных оправках (рис. 14.3). Применяются для растачивания точных отверстий начиная с диаметра 20 мм в случае необходимости подналадки размера на станке. Точность установки резца 0,01...0,005 мм. Установку резца контролируют по нониусу.

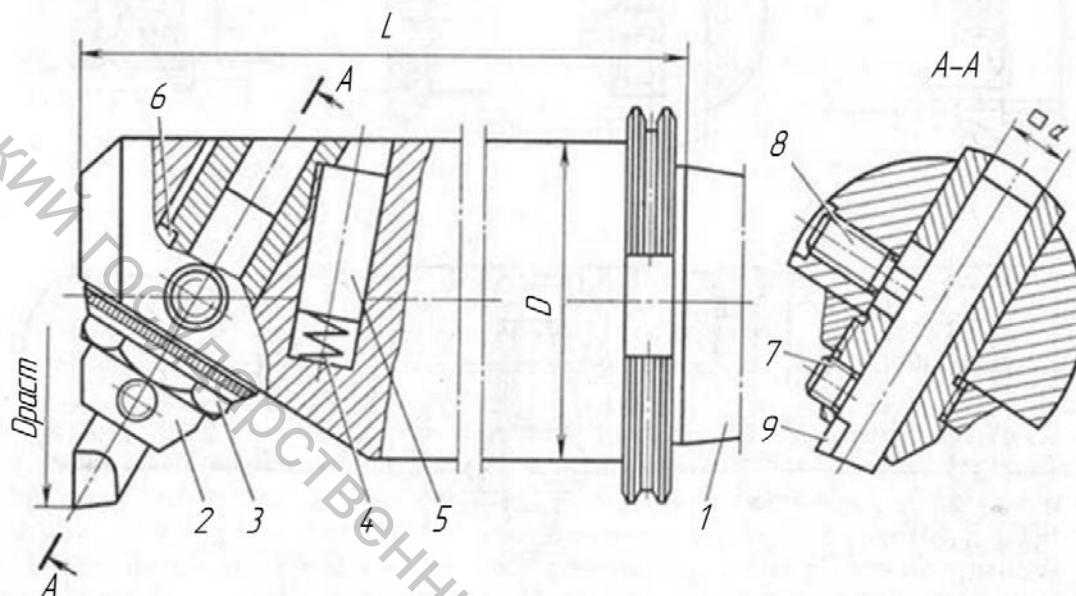


Рисунок 14.3 – Оправка с микрометрической регулировкой вылета резца с помощью резьбовой оправки

Конструкция состоит из корпуса 1 с конусом 7/24 по ГОСТ 25827-83. В корпусе на переднем торце имеется наклонное (под углом 53°) точно выполненное отверстие, в котором расположена державка 2 с квадратным сквозным отверстием для резца 9. На державке образована точная резьба, на которую навинчена лимб-гайка 3 со шкалой. Державка от проворота снабжена шпонкой 6, которая скользит по шпоночному пазу, имеющемуся в отверстии корпуса 1. Пружина 4 и толкатель 5 осуществляет постоянный прижим лимб-гайки 3 к плоскости корпуса 1. Резец 9 предварительно устанавливается в пазу державки 2 и закрепляется винтом 7, соединяющим жестко резец с державкой. Регулирование вылета резца осуществляется посредством поворота лимб-гайки на некоторый угол, соответствующий определенному числу делений лимба. Цена одного деления лимба соответствует радиальному перемещению резца на 0,01 мм. Винт 8 служит для фиксирования державки и резца в заданном положении. Предварительная настройка на размер производится вне станка на приборе, а окончательная подналадка – по пробному проходу.

Совершенствование конструкции инструментов с многогранными пластинами. Разработка конструкций, предусматривающих замену пластин на станке, расширение применения многогранных неперетачи-

ваемых пластин (МНП) для новых видов инструментов. При использовании твердосплавных пластин не требуется заточка затупленных лезвий, сокращается время на смену затупившегося элемента. Отслужившие свой срок пластины восстанавливают, благодаря чему экономятся дефицитные материалы. Степень использования МНП характеризует технический уровень механической обработки.

Конструкции режущих инструментов, оснащенных многогранными пластинами, отличаются многообразием применяемых способов крепления. Анализ схем крепления, принятых международной (ИСО 5608-80) и отечественной (ГОСТ 26476) классификацией, даёт возможность свести их к четырем основным типам: *C*, *M*, *P*, *S* (рис. 14.4).

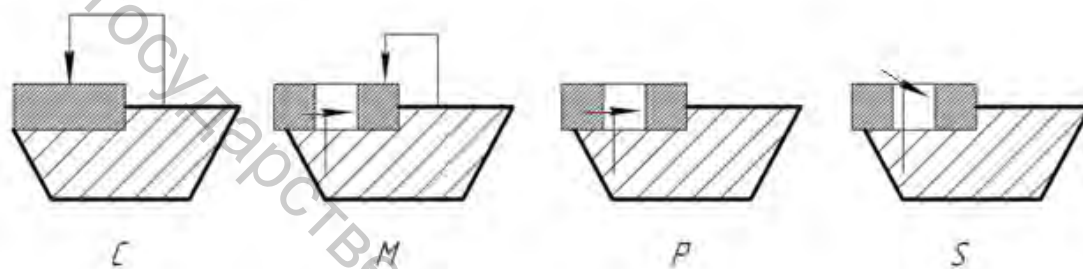


Рисунок 14.4 – Схемы крепления сменных многогранных пластин в конструкциях сборных инструментов

Сборный инструмент со сменными многогранными пластинами нашел широкое применение, выпуск его постоянно увеличивается как по объему, так по номенклатуре. Удельный вес такого инструмента сегодня составляет 35–40 % общего объема выпуска режущего инструмента.

Инструменты, оснащенные многогранными пластинами, имеют ряд достоинств, однако, они также обладают и недостатками, такими как:

- высокая стоимость из-за их высокой точности, а следовательно, высокой трудоемкости изготовления пластин и инструмента в целом;
- повышенные габариты корпусов инструментов из-за необходимости размещения в них элементов крепления пластин;
- невозможность полного обеспечения оптимальной геометрии режущей части инструмента из-за заданной формы пластин и условий их крепления.

Сборные инструменты занимают значительное место при обработке металлов резанием (рис. 14.5). Они охватывают широкую номенклатуру инструмента, но чаще сборными изготавливаются фрезы, зенкеры, развертки. Из других типов сборных инструментов укажем токарные, строгальные и расточные резцы, червячные зуборезные фрезы, протяжки, долбяки крупных размеров. Вторая группа отличается специфическими особенностями, присущими одному типу инструмента.

Инструмент первой группы по методам крепления зубьев имеет ряд преимуществ по сравнению с монолитными, т.к. позволяет производить смену каждого из зубьев в отдельности после его выхода из строя, а корпус инструмента может быть использован многократно. Первоначально стоимость сборного инструмента всегда выше монолитного, однако долговечность сборного инструмента значительно выше и поэтому при правильной эксплуатации затраты на инструмент, приходящиеся на единицу выполненной продукции, всегда будут меньше для сборного инструмента.

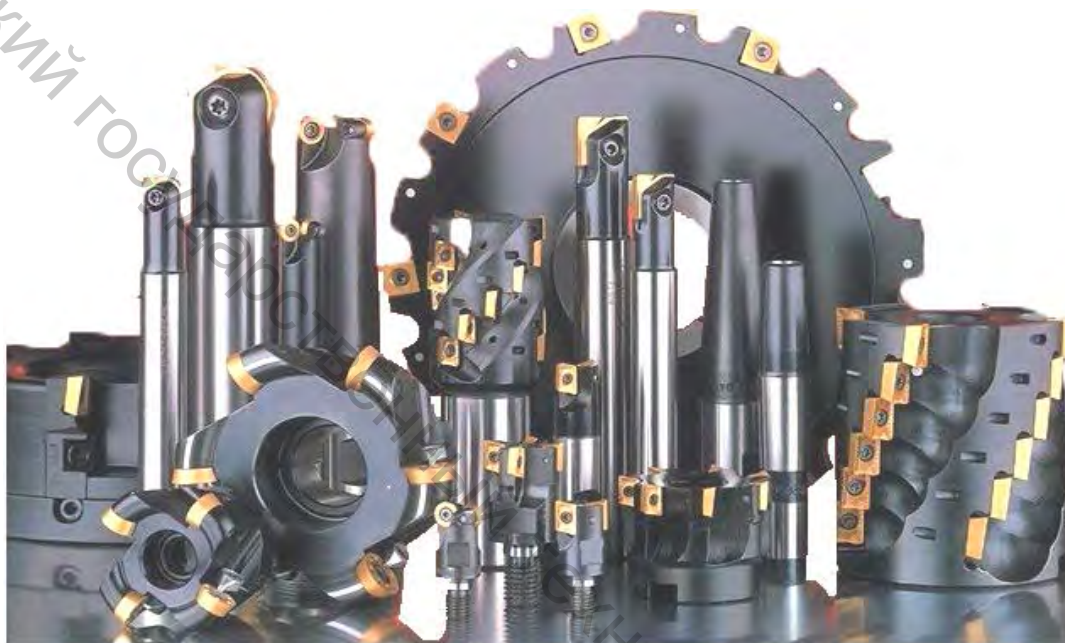


Рисунок 14.5 – Сборный инструмент

Многозубые инструменты с разделяемым креплением делятся на 2 группы:

- механическое крепление пластинки режущего материала;
- зубьями, состоящими из стальной вставки с припаянной или приваренной к ней пластинкой режущего материала.

Механическое крепление для фрез, зенкеров, разверток имеет недостатки. Прочность и в особенности виброустойчивость при механическом креплении значительно понижены. Объясняется это тем, что пластинки из твердых сплавов или минералокерамики неплотно прилегают к стенке паза, что часто вызывает их изгиб и приводит к поломке режущего инструмента. Благодаря меньшей толщине зубьев она допускает расположение по периферии корпуса повышенного числа зубьев, обеспечивает больше пространства для размещения стружки, что особенно важно при изготовлении малогабаритного инструмента.

В промышленности широкое применение получили инструменты, называемые *вставками*. Они выполняются в виде стержневых резцов,

либо зубьев призматической формы с напаянным материалом. Державка обработана до твердости HRC 30...40 ед. Повышенная твердость необходима для обеспечения надежности опоры для пластинки режущего материала.

Кроме двух групп в промышленности находят применение неразъемные конструкции сборного инструмента, в которые режущие пластинки либо припаиваются, либо привариваются. Напайка пластинок на многозубый инструмент отличается значительной сложностью и сопровождается появлением дополнительных напряжений, вызывающих в режущих пластинках микротрещины и трещины, приводящие к разрушению. Многозубый инструмент с припаянными пластинками не допускает многократного использования корпуса. Инструмент с неразъемным соединением благодаря своей монолитности обладает более высокой виброустойчивостью по сравнению с инструментом со вставными зубьями, поэтому высокоточные инструменты рекомендуют изготавливать неразъемными. Зубья сборного инструмента должны быть точно и надежно закреплены в пазах корпуса, регулирование зубьев должно быть точным, легким, быстрым, а также должно допускать, возможно, большее количество переточек. Это обеспечивается в тех случаях, когда расположение зубьев в пазах и направление их выдвижения совпадает с направлением максимального износа. Благодаря этому уменьшается слой, подлежащий удалению при переточке, и снижает трудоемкость.

Одним из самых распространенных элементов креплений зубьев сборных инструментов является рифление (рис. 14.6). Рифления позволяют при износе производить перестановку зуба на 1 или несколько делений или зубьев и тем самым установить величину слоя режущего материала, подлежащего удалению после переточек. Расположение рифлений на зубьях встречается 3 видов: направленное по радиусу инструмента (радиальное); направленное вдоль оси инструмента (осевое); направленное под углом 10...15 градусов к оси инструмента (угловое).



Рисунок 14.6 – Фреза с рифлеными режущими пластинами

Выбор расположения рифлений обуславливается в основном направлением максимального износа зубьев и требуемой переточки. Ра-

диальное расположение рифлений применяется в оси, у инструмента, у которого необходимо восстанавливать размер по ширине, например, дисковые трехсторонние фрезы.

При осевом расположении рифлений перестановка зубьев обеспечивает компенсацию размера по вершине зубьев, при осевом расположении может восстановить диаметр. Угловые рифления позволяют одновременно восстановить размер по диаметру и ширине. Наибольшее распространение получили осевые рифления как наиболее просто получаемые. Получение наклонных рифлений отличается сложностью, поэтому значительного распространения не получила. Существенным недостатком рифлений следует считать то, что режущая пластинка не имеет опоры у основания зуба. Такое же расположение при осевом. По мере перестановки площадь опоры уменьшается, уменьшается жесткость и виброустойчивость зубьев.

Помимо рифлений в практике встречаются рифления гладких призматических ножей, при помощи втулок, вкладышей, винтов с фасонными головками.

Происходит *пересмотр конструкций составных, сборных инструментов*. Вместо расположения пластин по передней поверхности лезвия, появились конструкции, в которых пластины расположены по задней поверхности лезвия. Это изменяет характер нагрузок и напряжений как в самой пластине, так и в узле крепления, упрощаются и улучшаются условия крепления пластин, но у многолезвийных инструментов уменьшается число зубьев. Такое положение пластин начали применять у концевых, фасонных и червячных фрез, у некоторых типов резцов и других инструментов.

Изменение формы передних и задних поверхностей инструментов производят для улучшения условий стружкообразования, стружколоманья, стружкоотвода, уменьшения трения. Изменяя только форму передней поверхности при неизменной форме задних поверхностей инструментов, можно изменить форму режущих кромок и, как следствие, форму обработанной поверхности детали. Этот простой технологический прием позволяет в некоторых пределах осуществить «гибкость» конструкции инструмента и может быть использован для небольших изменений формы режущих кромок фасонных инструментов с затылованными задними поверхностями.

Совершенствование конструкций твердосплавного инструмента идет по пути усложнения рабочих поверхностей, в первую очередь, передних поверхностей сменных режущих пластин (СРП). Оптимизация конструкций режущих пластин позволяет повысить стабильность и надежность механической обработки.

В последние годы номенклатура СРП существенно расширилась. Лидируют в области совершенствования конструкций режущих пластин иностранные концерны и их филиалы. В настоящее время пластины со

сложной формой передней поверхности рекомендуются для обработки всех групп материалов.

Основной тенденцией совершенствования СРП является универсализация геометрии с целью расширения диапазона стружкодробления, обеспечиваемого каждым типом пластин. Наряду с универсализацией геометрии стружкоформирующих элементов наблюдается противоположная тенденция – разработка СРП со специальной геометрией для сравнительно узких областей применения при обработке специальных сплавов, например, с высоким содержанием никеля, титановых, жаропрочных сплавов и т.д.

Оба направления базируются на общих принципах проектирования СРП со стружкозавивающей передней поверхностью, согласно которым определение геометрических параметров пластины осуществляется по критерию получения благоприятной формы стружки, учитывающему внешний вид стружки и механику резания.

По-прежнему довольно широко используются режущие пластины со стружкозавивающими канавками, которые выпускаются многими фирмами. Геометрические параметры канавок у сменных многогранных пластин (СМП) разных фирм различаются незначительно и их применение чаще всего ограничено областью обработки углеродистых и легированных сталей в диапазоне подач $0,25 \dots 0,7$ мм/об и глубин резания $2 \dots 8$ мм. Типичным примером такой пластины может служить пластина фирмы *Korloy* (Южная Корея), форма которой показана на рисунке 14.7.

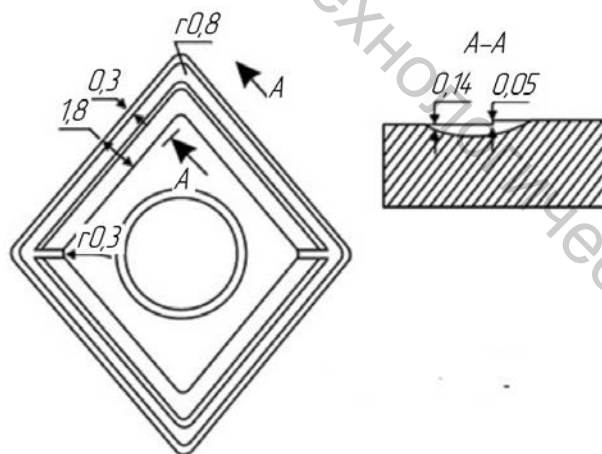


Рисунок 14.7 – Пластины фирмы Korloy

Применяются пластины с двумя и даже с тремя стружечными канавками. При малых сечениях среза работает первая канавка, при больших – вторая и т.д. Тем самым достигается универсальность пластины, обеспечивая дробление стружки при разной глубине резания.

Использование подобных сравнительно простых стружкоформирующих элементов не всегда позволяет гарантировать удовлетворительное дробление стружки в широком диапазоне режимов резания и свойств обрабатываемых материалов. Для увеличения деформаций и

напряжений в стружке создаются условия для ее завивания не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости.

С этой целью изготавливаются канавки переменного профиля с изменяющейся геометрией вдоль режущей кромки инструмента. Кроме этого на передних поверхностях СМП выполняют различного рода выступы и впадины, деформирующие стружку в поперечном сечении, что приводит к увеличению ее жесткости и снижению угла изгиба стружки для дробления. Наличие выступов и впадин на передней поверхности уменьшает площадь контакта стружки и облегчает доступ смазочно-охлаждающих технологических сред к прирезцовой стороне стружки, что приводит к уменьшению силы трения и количества тепла, передаваемого в инструмент. Однако в результате поперечной деформации стружки отмечается некоторое увеличение составляющих силы резания.

В конструкции передней поверхности СМП фирмы *Impero* (Италия) канавка выполнена с увеличивающейся глубиной и шириной по направлению от вершины СМП к середине длины режущей кромки. Фирма *Mitsubishi* (Япония) выпускает пластины, у которых глубина и ширина канавки уменьшаются к середине длины режущей кромки. СМП со сферическими углублениями на передней поверхности хорошо зарекомендовали себя при точении фасонных профилей и заготовок с переменной глубиной резания. Такие впадины могут располагаться непосредственно вблизи режущей кромки или с выходом на нее. СМП со сферическими лунками, выходящими на боковую поверхность, выпускаются, в частности, фирмой *Mantanwerke Walte rGmbH*. СМП квадратной, параллелограммной и треугольной форм имеют на каждой режущей кромке по 36 пересекающихся сферических углублений, радиус которой увеличивается по направлению от вершины к середине режущей кромки.

Принцип оформления стружкозавивающих элементов аналогичный вышеизложенному, реализован в СМП, запатентованной фирмой *Safety S.A.* (Франция). СМП имеет форму правильного трехгранника (рис. 14.8 а). Фаска 12 на пересечении боковой 11 и передней 13 поверхностей выполнена волнистой, а длина волн соответствует длине углублений 14а и 14b, образующих стружкозавивающую канавку. Длина углублений уменьшается по направлению от вершины к середине режущей кромки, а их ширина увеличивается в том же направлении.

Комбинация сферических углублений с одинарной канавкой запатентована фирмой *GTE Valenite Corp.* СМП в форме квадрата (рис. 14.8 б) имеет по периметру фаску 1, являющуюся укороченной передней поверхностью и сопряженную с одинарной канавкой постоянного профиля, образованной нисходящей 2 и восходящей 3 поверхностями. В зоне сопряжения верхней плоскости 4 с восходящей поверхностью 3 выполнены сферические углубления 5. Причем по мере удаления от вершины СМП расстояние от режущей кромки до центров углублений

увеличивается. Наличие углублений способствует гофрированию стружки при любых значениях глубины резания.

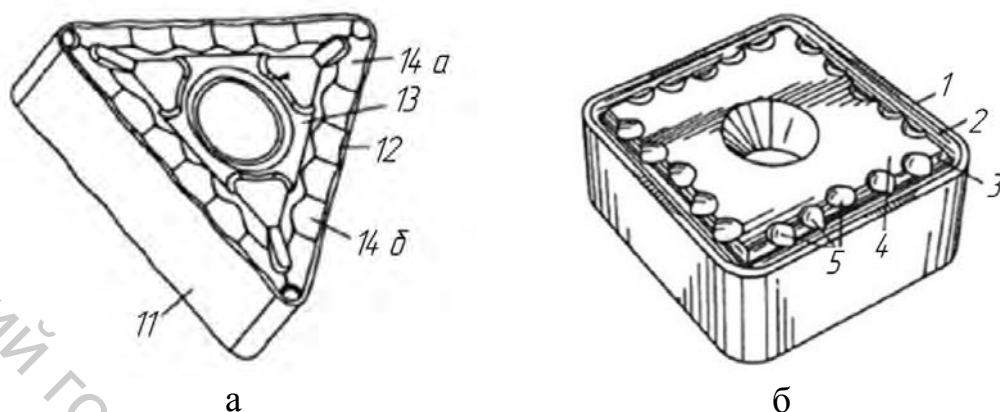


Рисунок 14.8 – Сменная режущая пластина:
а – фирмы Safety, б – фирмы GTE Valenite Corp

Фирмой *Sumitomo* (Япония) в 80-х годах были созданы пластины с торговыми марками *BumpyG*, *WaryASkipyS*, на передней поверхности которых были выполнены небольшие выступы сферической или каплевидной формы (рис. 14.9). Такие выступы обеспечивали пластинам уменьшение площади контакта стружки с передней поверхностью, что совместно с большими положительными передними углами гарантировало уменьшение силы и температуры резания. В настоящее время механизм управления формированием стружки с помощью локальных выступов заложен во многих конструкциях передней поверхности. В зависимости от режимов резания локальные выступы выполняют роль либо опоры, либо стружкозавивающего элемента, или изменяют форму поперечного сечения стружки.



Рисунок 14.9 – Пластина с выступами на передней поверхности

Фирмы *Sandvik Coromant*, *Krupp Widia*, *Mitsubishi* и другие рекомендуют изготавливать пластины с уступом, имеющим волнообразную форму (рис. 14.10). Тенденция усложнения формы передней поверхности инструмента путем задания различных геометрических параметров

режущей кромки и стружкоформирующих элементов в разных сечениях СМП обусловлена необходимостью использования единого инструмента в условиях значительных изменений глубины резания, подачи и диаметра заготовки при обработке одной детали, например, при наружном точении ступенчатого валика с фланцем.



Рисунок 14.10 – Пластины с уступом волнообразной формы фирмы Sandvik

На рисунке 14.11 показана геометрия СМП типа MF фирмы *Sandvik Coromant*, используемой для выполнения токарных операций обработки ступенчатых валов. По биссектрисе угла при вершине передний угол составляет 15° , а восходящая стенка канавки располагается в непосредственной близости от режущей кромки. Это обеспечивает удовлетворительное стружкодробление при малых сечениях среза. В направлении от вершины СМП к середине режущей кромки уменьшается передний угол, увеличивается ширина канавки, форма и положение задней стенки. Такая поверхность вместе с криволинейной формой режущей кромки обеспечивает удовлетворительное стружкодробление при различных значениях глубины резания. При обработке торца с подачей от центра стружкодробление осуществляется благодаря криволинейности режущей кромки и наличию выступа вблизи вершины.

Опыт проектирования СМП ведущими зарубежными фирмами позволил выделить наиболее характерные элементы стружкозавивающих элементов и на этой основе создать группы универсальных режущих пластин. Фирма *Sandvik Coromant* разработала гамму СМП для токарной обработки определенных групп материалов, включающую в себя три основных типа стружколомающих элементов, предназначенных для чистовой, получистовой и черновой обработки с глубинами и подачами соответственно $t = 0,22, 0$ мм и $s = 0,05 \dots 0,3$ мм/об, $t = 1,56$ мм и $s = 0,2 \dots 0,5$ мм/об, $t = 312$ мм, $s = 0,35 \dots 1,5$ мм/об. Оптимизированные геометрии PF, PM, PR предназначены для точения сталей, геометрии MF, MM, MR – для точения нержавеющей сталей и KF, KM, KR – чугуна. Другие геометрии WMX, WF, WM, WR – подходят как для обработки конструкционных и нержавеющей сталей, так и чугунов. Область применения каждой геометрии определяется диаграммой стружкодробления, пример которой для геометрии PF, PM, PR представлен на рисунке 14.12.

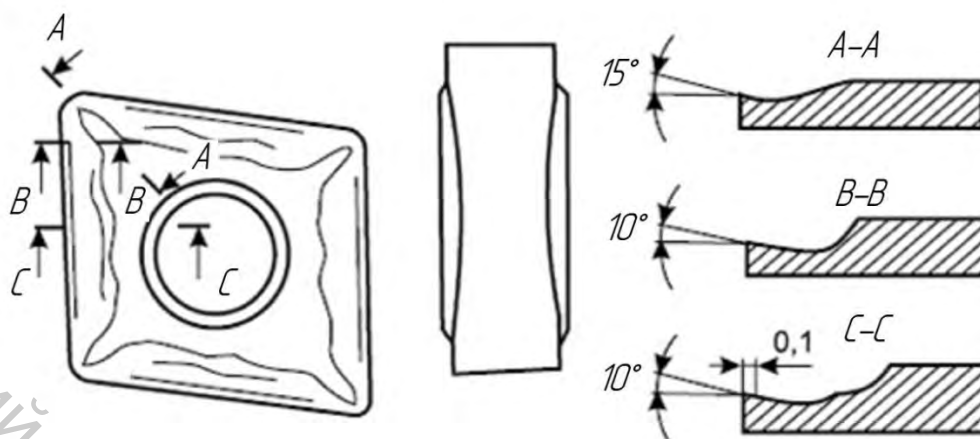


Рисунок 14.11 – Сменная многогранная пластинка с индексом MF фирмы Sandvik Coromant

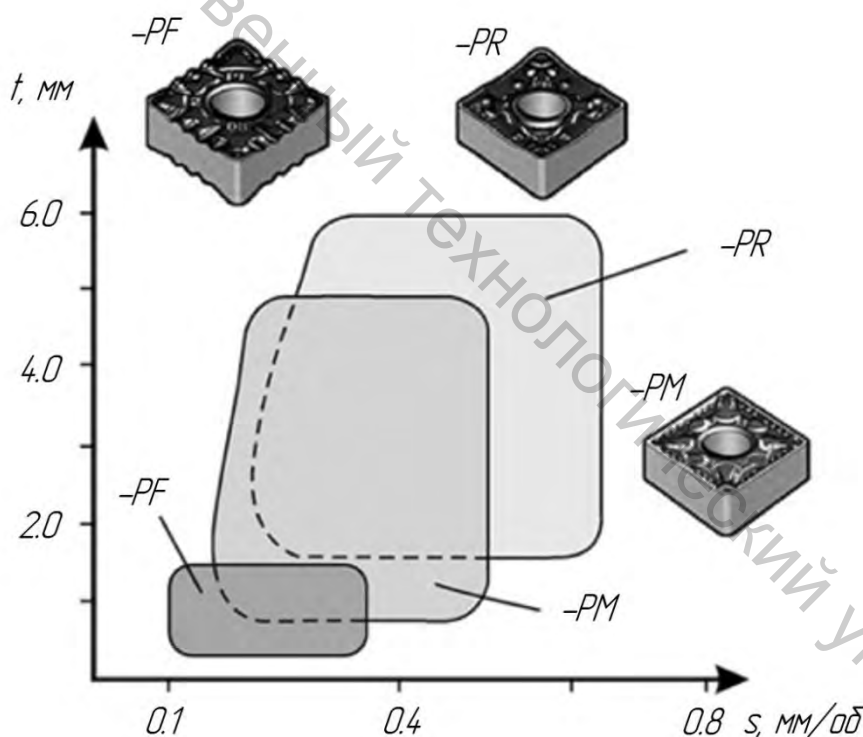


Рисунок 14.12 – Диаграммы стружкодробления режущих пластин фирмы Sandvik Coromant (фирма Plansee)

Sandvik Coromant (фирма Plansee) разработала гамму из трех типов стружколомающей геометрии, позволяющую заменить 2030 типов выпускавшихся ранее СМП. Наиболее широкое применение в условиях

гибких производственных систем находят СМП с геометрией типа ТМ, предназначенные для обработки практически всех видов сталей, в том числе по корке и окалине (рис. 14.13). СМП типа ТМ работают с подачей 0,12...0,65 мм/об с глубиной резания 0,7...6,5 мм. Для меньших сечений среза изготавливаются СМП типа ТF, а для более тяжелых условий – односторонние СМП с геометрией TR, изготавливаемые из более прочного твердого сплава типа Sr 137. По сведениям фирмы гамма СМП с геометрией TF, ТМ и TR может обеспечить стабильное стружкодробление в 80 % случаев токарной обработки сталей.

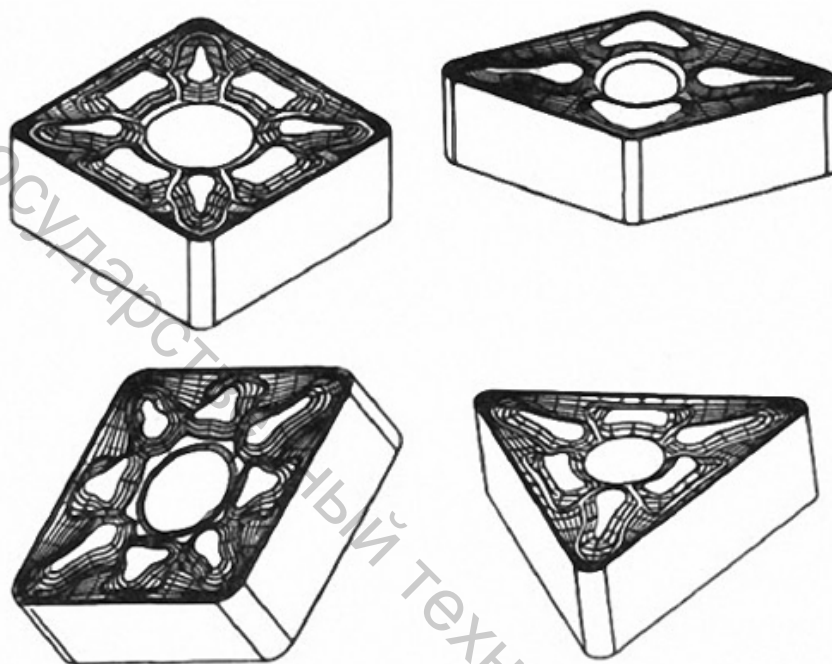


Рисунок 14.13 – Сменные режущие пластины с геометрией ТМ фирмы Metallwerk Plansee

При проектировании технологических процессов с использованием неперетачиваемых режущих пластин оптимизацию условий резания приходится осуществлять путем подбора режимов резания, соответствующих профилю выбранных пластин. Введение дополнительных ограничений на режимы резания приводит к потере производительности, что недопустимо в условиях массового или крупносерийного производства. Поэтому наряду с универсализацией геометрии стружкоформирующих элементов СМП наблюдается и противоположная тенденция – разработка максимально эффективных СМП со специальной геометрией для сравнительно узких областей применения. В настоящее время активно ведутся работы по созданию оптимальных конструкций режущих пластин для обработки сплавов с высоким содержанием никеля, для обработки аустенитных нержавеющей сталей и стального литья. Нашли применение в автомобилестроении односторонние СМП с волнистой режущей кромкой при обработке хромистых и никелевых ста-

лей. В этом случае обеспечивается снижение силы резания и вероятность возникновения вибрации.

Многие фирмы начали выпуск СМП с V-образным уступом, расположенным вблизи вершины инструмента (рис. 14.14). Такая конструкция хорошо зарекомендовала себя на чистовых операциях.

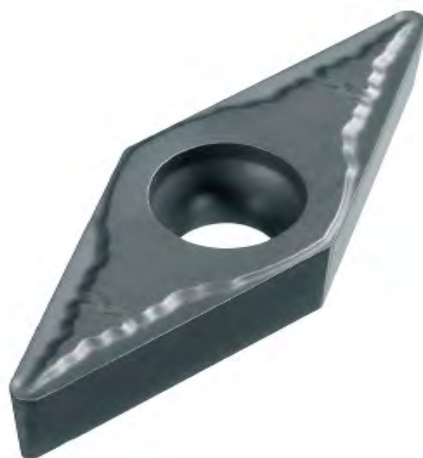


Рисунок 14.14 – СМП с V-образным уступом вблизи вершины инструмента

В настоящее время в связи с развитием технологии инструментального производства появляются возможности изготавливать СМП практически любой степени сложности высокого качества. Усложнение конструкций СМП вызывает необходимость решения вопросов автоматизации проектирования, изготовления и выбора оптимальной геометрии инструментов. Существующие САПР СМП строятся на основе анализа экспериментальных данных и выделения из них наиболее характерных элементов, влияющих на эксплуатационные свойства СМП. На базе такого анализа решаются вопросы универсализации геометрии СМП и расширения диапазона устойчивого стружкодробления. Известные системы больше выполняют функции стандартных конструкторских САПР, облегчающих рутинную оформительскую работу, а также процесса изготовления электродов, используемых при производстве пуансонов пресс-форм режущих пластин.

Таким образом, анализ конструкций СМП показывает, что используемые в металлообработке режущие пластины можно разделить на две группы: с однокоординатным стружколомом; с двухкоординатным одно- или многопараметрическим стружколомом.

Однокоординатным является стружколом с постоянным профилем в сечении вдоль режущей кромки. Двухкоординатный – стружколом с переменным профилем. Однокоординатные пластины предназначены для завивания стружки в нормальной к передней поверхности инструмента плоскости относительно оси, параллельной наибольшей стороне поперечного сечения стружки. При резании такой пластиной

стружка формируется в виде цилиндрической спирали с осью, параллельной главной режущей кромки пластины. Двухкоординатные режущие пластины обеспечивают завивание стружки в плоскости передней поверхности инструмента и нормальной к ней главной секущей плоскости. Конструктивной особенностью пластин является переменная вдоль главной режущей кромки геометрия передней поверхности.

В зависимости от числа изменяющихся параметров стружколомы СРП делятся на одно-, двух- и многопараметрические. У многопараметрических стружколомов вдоль режущих кромок изменяются несколько геометрических параметров. Типичным представителем двухпараметрической СРП является конструкция с оттянутым к вершине стружколомом. По виду вершины они делятся на стружколомы с острой или скругленной вершиной в плане. Многопараметрические СРП включают в себя различные сочетания выступов и впадин на передней поверхности, а также криволинейную режущую кромку. Линия пересечения поверхности такой пластины с плоскостью – профиль имеет сложную криволинейную форму, поэтому двухкоординатные многопараметрические режущие пластины можно называть сложнопрофильными.

Увеличение *длины активной части режущих кромок* инструмента, одновременно участвующих в работе, и количество их приводит в значительной степени к повышению производительности труда. Как показывает история развития инструмента, все прогрессивные инструменты обеспечивают высокую производительность благодаря использованию большого количества режущих кромок или зубьев, одновременно участвующих в процессе резания. С увеличением числа зубьев для многозубого инструмента уменьшается время обработки. Производительность работы в 20 раз больше. При обработке труднообрабатываемых материалов приходится идти на снижение числа режущих кромок, поэтому производительность возможна с применением инструмента с максимальным числом зубьев.

Все большее распространение получают *переходные режущие кромки* (фаски, закругления) в месте перехода главных режущих кромок во вспомогательные – в месте наибольших напряжений и износа. Переходные кромки обеспечивают повышение стойкости инструмента, улучшение качества обработанной поверхности. Их ранее применяли у сверл, начинают применять у зуборезных инструментов.

В корпусах инструментов желательны специальные каналы для *подвода СОТС* непосредственно в зону резания. Это способствует большему эффекту действия СОТС, лучшему охлаждению лезвия и отводу стружки. Такие каналы делают у сверл (рис. 14.15), но их следует предусматривать и у других видов инструментов.

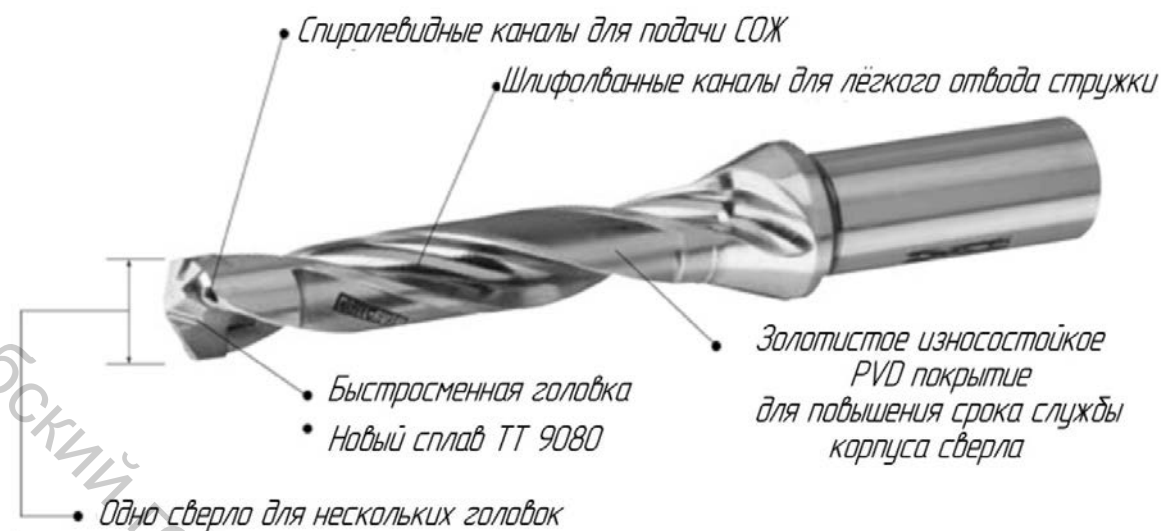


Рисунок 14.15 – Сверло фирмы Seco

Расширяется создание конструкций *комбинированных инструментов* как однотипных, так и разнотипных, обеспечивающих повышение точности взаимного расположения обработанных поверхностей, совмещение операций и переходов, сокращение времени обработки (основного и вспомогательного), уменьшение количества необходимых позиций для установки инструментов на автоматизированном оборудовании.

Цена комбинированных инструментов в несколько раз выше, чем единичных, входящих в их конструкцию, в связи с тем, что они сложнее и менее технологичны. Кроме этого, эти инструменты – специальные и изготавливаются единично и мелкосерийно, а не массово, что также повышает их цену. Поэтому комбинированные инструменты изготовлены для массового производства, основанного на использовании станков-автоматов, универсальных или специальных станков, типа агрегатных. Но даже в этих условиях по причине дороговизны комбинированные инструменты используются только тогда, когда они крайне необходимы.

В связи с увеличением использования станков с ЧПУ зона применения таких инструментов постоянно сужается, хотя сама идея обширного использования комбинированных инструментов остается. Но ее исполнение должно быть образовано на принципе основания модульных конструкций комбинированных инструментов, быстро собираемых из массово изготавливаемых стандартных модулей. Отдельные достижения в этом направлении уже имеются, особенно при создании расточных инструментов.

Применение комбинированных инструментов позволяет достичь таких преимуществ, как увеличение продуктивности обрабатывания, высвобождение рабочих позиций и мест в инструментальных магазинах, увеличение точности обработки, экономия инструментального ма-

териала, уменьшение количества вспомогательного инструмента и т.д. Следует отметить, что благодаря этим преимуществам использование комбинированного инструмента обеспечивает минимальную себестоимость обработки на данной операции и является актуальным направлением в развитии современного машиностроительного производства.

Комбинированные инструменты рационально использовать для достижения точного взаимного положения обработанных поверхностей или значительного упрощения и удешевления линии.

На данное время выработался класс комбинированных инструментов (прежде всего, в условиях крупносерийного и массового типов производства), предназначенных в основном для обработки фасонных и профильных поверхностей деталей. Такие детали в основном содержат цилиндрические, конические, торцовые и фасонные (в том числе резьбовые) участки. Применение комбинированных инструментов позволяет совместить как отдельные способы обработки (например, черновое и чистовое фрезерование), так и несколько методов обработки (сверление и фрезерование, зенкерование и нарезание резьбы метчиком и т.д.) в пределах одной операции (рис. 14.16).

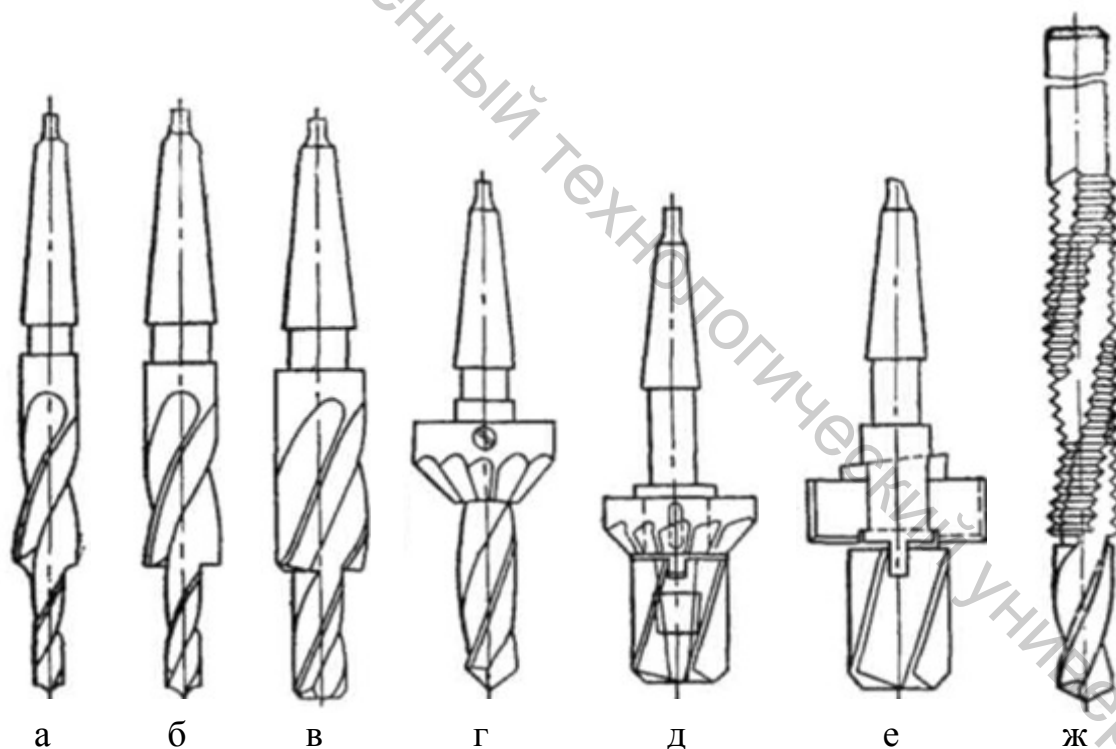


Рисунок 14.16 – Комбинированные инструменты:

а – ступенчатое сверло, б – сверло-зенковка, в – ступенчатый зенкер,
г – сверло-зенковка, д – зенкер-зенковка, е – зенкер-цековка,
ж – сверло-метчик

Расширяется применение инструментов для *совместной обработки резанием и деформированием* – инструментов с режущими и деформирующими зубьями или участками. Деформирующие участки применяют для повышения качества и точности обработанной поверхности, например, выглаживающие зубья протяжек. Чередование режущих и выглаживающих зубьев повышает обрабатываемость материала заготовки, применяют, например, у протяжек, разверток.

Простейшая конструкция комбинированного инструмента – это сочетание обычного резца с шариковым или роликовым деформирующим элементом (элементарная низшая пара). Развитием этой пары является многоэлементный инструмент. Деформирующие элементы в нем могут располагаться во вставках и сепараторах.

У комбинированного инструмента с элементарной низшей парой режущие элементы взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и сбегаящей стружкой с большим трением скольжения, а деформирующие элементы работают в условиях трения качения. В результате этого стойкость деформирующих элементов в десятки и сотни раз выше стойкости режущих элементов.

Для выравнивания стойкости режущих элементов весьма эффективным является комбинированный инструмент, у которого режущие и деформирующие элементы работают на основе кинематического принципа – свободного вращения вокруг своих осей. В этом случае режущий элемент выполняется в виде круглого самовращающегося резца, а деформирующим элементом является торовый ролик (элементарная высшая пара). Комбинированный инструмент, в основу которого положена элементарная низшая пара, в дальнейшем будет называться инструментом простого действия, а базирующийся на элементарной высшей паре – инструментом ротационного действия.

Комбинированный инструмент может быть выполнен таким образом, что силы резания и усилия деформирования не уравниваются (режущие и деформирующие элементы имеют одностороннее расположение), частично уравниваются (режущие и деформирующие элементы имеют противоположное расположение или количество режущих и деформирующих элементов разное) и полностью уравниваются (количество режущих элементов равно количеству деформирующих элементов, расположены они равномерно и одинаково относительно обрабатываемой поверхности). Кроме того, комбинированный инструмент можно разделить на инструмент последовательного действия (деформирующие элементы расположены вслед за режущими элементами на некотором расстоянии) и инструмент одновременного действия (режущие и деформирующие элементы расположены в одной плоскости, перпендикулярной к оси вращения детали или инструмента).

Для обработки различных поверхностей деталей машин наибольшее применение нашли конструкции комбинированного инструмента, в которых используется элементарная низшая пара.

Следует отметить разнообразие типов деформирующих элементов, используемых в конструкциях комбинированного инструмента: шары, дисковые торовые и цилиндрические ролики, алмазные и твердосплавные выглаживатели. Как правило, комбинированный инструмент имеет режущий элемент, выполненный в виде призматического резца, который работает в условиях трения скольжения, а деформирующие элементы – чаще всего в условиях трения качения. Используются комбинированные инструменты, у которых деформирующие элементы работают в условиях трения скольжения.

Благодаря простоте конструкции наибольшее использование в мелкосерийном и серийном производстве находит одноэлементный комбинированный инструмент.

Конструкции комбинированного инструмента выполнены таким образом, что деформирующий элемент расположен позади режущего элемента на расстоянии 25... 30 мм от режущей кромки и работают они последовательно: сначала режущий, а затем деформирующий.

Более производителен комбинированный инструмент, режущие и деформирующие элементы которого работают одновременно. Чтобы осуществить одновременную работу режущего и деформирующего элементов, их располагают под определенным углом друг к другу в вертикальной плоскости. В этом случае режущая кромка смещается лишь на 1,0... 1,5 мм относительно точки контакта деформирующего элемента.

На рисунке 14.17 показано конструктивное исполнение комбинированного инструмента с алмазным выглаживателем с упругой связью. В державке 7 с помощью винта закрепляется резец 8. За резцом под некоторым углом к нему установлен деформирующий шарик 1, который может свободно вращаться на шарикоподшипнике 3, установленном во вставке 2, подпружиненной относительно державки инструмента тарельчатыми пружинами 4. Давление шарика на обрабатываемую поверхность устанавливается винтом 5, который после регулировки стопорится контргайкой 6. Тарельчатые пружины обеспечивают равномерное усилие обкатки по всей обрабатываемой поверхности и в значительной мере гасят вибрации, возникающие при резании.

Вибрационное резание – способ обработки металла резанием, характеризующийся тем, что инструменту наряду с основным движением сообщается дополнительное колебательное движение относительно обрабатываемой заготовки. Вибрационное резание применяют для дробления стружки, для обработки труднообрабатываемых материалов (нержавеющих и жаропрочных сталей и др.), при резании материалов на вибрационных пилах и ножницах.

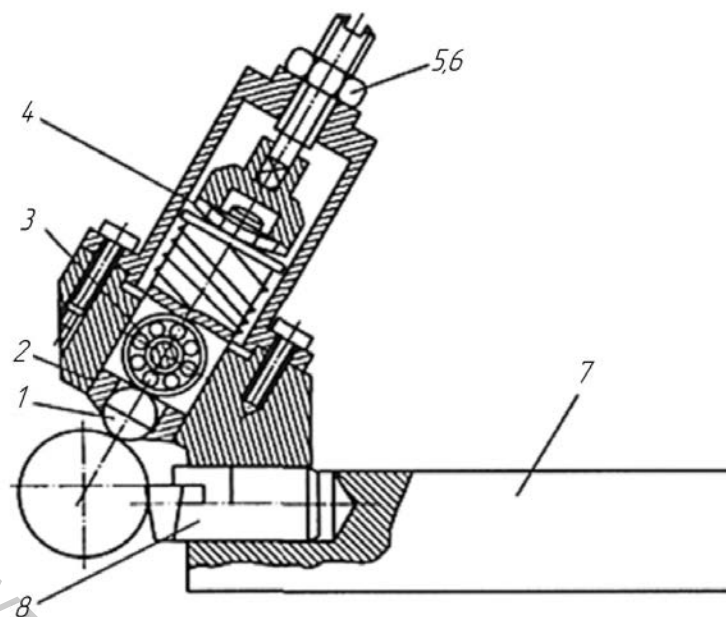


Рисунок 14.17 – Конструктивное исполнение комбинированного инструмента с алмазным выглаживателем

Инструменты для вибрационной обработки резанием позволяют улучшить стружкообразование, облегчить процесс резания труднообрабатываемых материалов и др. При их проектировании необходимо учитывать быстрое изменение в процессе обработки положения плоскости резания и связанное с этим изменение значений кинематических геометрических параметров, влияние вибраций на прочность режущих кромок и т.д.

Для дробления стружки используют низкочастотные вибраторы с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом (частота вынужденных колебаний не более 50 Гц). При постоянных условиях обработки с небольшими усилиями резания для получения вибраций могут быть также использованы автоколебания, вызываемые самим процессом резания. Для вибрационного резания труднообрабатываемых материалов применяют магнитострикционные, магнитомеханические, пьезоэлектрические, электродинамические, электрогидравлические и гидравлические вибраторы с частотой задаваемых колебаний свыше 100 Гц. Силовой кинематической связью между суппортом и вибратором служит столб рабочей жидкости. Это повышает долговечность высокочастотного вибратора, так как исключает подшипники, шарниры и др. детали, которые обычно быстро изнашиваются. Такие вибросуппорты имеют небольшие габариты, но создают значительные полезные усилия, т.е. обладают высокой удельной мощностью. Высокочастотные вибраторы в зависимости от кинематической схемы обработки и особенностей процесса резания могут быть однокомпонентные (вибрации в од-

ном направлении), двухкомпонентные (вибрации в плоскости) и трёхкомпонентные (пространственные вибрации).

При вибрационном резании с дроблением стружки наложение колебаний осуществляют в осевом направлении (в направлении подачи); эффективное и надёжное действие достигается при обработке поверхности по 5–6-му классам чистоты при заданной точности обработки и стойкости инструмента. Основные особенности вибрационного резания с осевыми колебаниями: большое изменение толщины среза за один цикл колебания инструмента, большое изменение угла резания при незначительном изменении скоростей резания.

При вибрационном резании наложение колебаний с целью улучшения обрабатываемости осуществляют в тангенциальном направлении по окружной составляющей скорости резания. Использование тангенциальных вибраций сопровождается периодическим возрастанием окружной скорости с переменным воздействием на срезаемый слой при практически неизменных сечениях среза, подаче и глубине резания.

Вибрационное резание, применяемое при работе вибрационных пил и ножниц, даёт хорошее качество кромок и значительно повышает производительность.

Кинематическая схема с колебательными движениями в радиальном направлении при вибрационном резании не применяется, так как при этом резко снижается класс чистоты обработанной поверхности.

Основные технологические условия рационального применения вибрационного резания – правильный выбор параметров вибраций (амплитуды, частоты).

На рисунке 14.18 изображено одно из многочисленных устройств для вибрационного резания. Изобретение относится к области металлообрабатывающей промышленности и может быть использовано для высокоскоростной обработки труднообрабатываемых материалов с повышенным качеством обрабатываемых поверхностей. Техническим результатом изобретения является снижение необходимых усилий резания и повышение динамической жесткости режущего инструмента, а также повышение чистоты обрабатываемой поверхности детали при высоких скоростях резания, за счет изменения схемы процесса резания, в частности, за счет изменения организации процесса подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания.

Устройство состоит из режущего инструмента 1, гидравлической системы 2 подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) под давлением, исполнительного вибрационного узла 3 (вибратора), полости 4, выполненной в режущем инструменте 1 для жидкофазной среды 5 (СОЖ), генератора 6 управляемых вынужденных колебаний, канала 7, выполненного в режущем инструменте 1 для подачи жидкофазной среды 5 непосредственно в зону резания в состоянии вынужденных колебаний и под технологически регламентированным давлением, обеспе-

чивающим непрерывное смывание взаимообращенных поверхностей режущей кромки 8 инструмента 1 и обрабатываемого изделия 9, в том числе и его отделяемой части – стружки. Заявленное устройство может быть использовано для обработки резанием труднообрабатываемых высокопрочных сплавов практически любой структуры, включая ультратонкую, с высокой скоростью резания, в том числе на автоматизированных линиях, с высоким качеством обрабатываемых поверхностей.

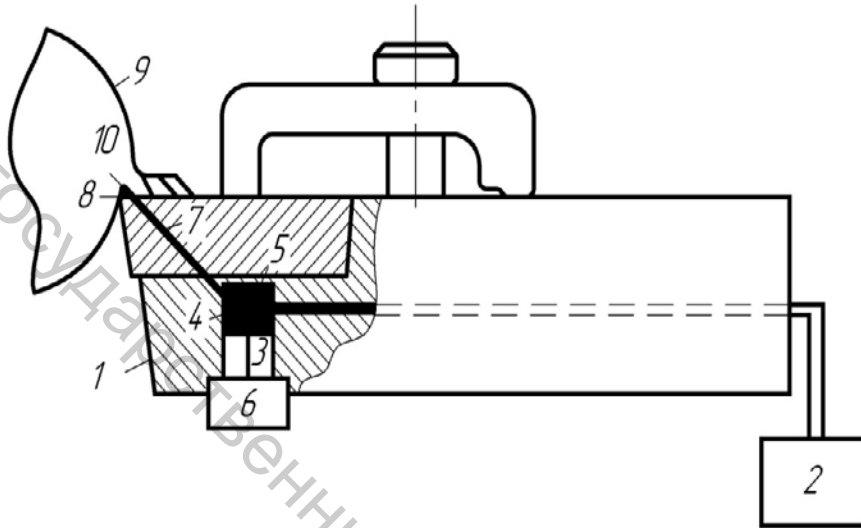


Рисунок 14.18 – Вибраторное устройство для резания цилиндрических деталей

Специальные протяжные и обкатные инструменты начинают использовать для обработки поверхностей, для которых эти инструменты ранее не применялись или имели ограниченное применение. Так, протяжки начинают применять для обработки поверхностей заготовок типа тел вращения, зубчатых колес и др. (рис. 14.19). Обкатные инструменты, спроектированные с использованием новых принципов их работы, могут быть с успехом применены для обработки сложных поверхностей, зубчатого и незубчатого типа (например, поверхности двоякой кривизны, изменяющейся как в продольном, так и в поперечном направлениях) и др.

Обработка резанием с подогревом потребует создания новых конструкций режущих инструментов.

Разрабатываются конструкции инструментов и режущих элементов для изготовления их методами порошковой металлургии, при их применении повышается стойкость лезвий. Эти методы дают возможность получать заготовки инструмента сложной формы с минимальной последующей обработкой, они особенно применимы для изготовления модулей режущих элементов.

Получают распространение *монокристаллические мелкогабаритные твердосплавные инструменты*.

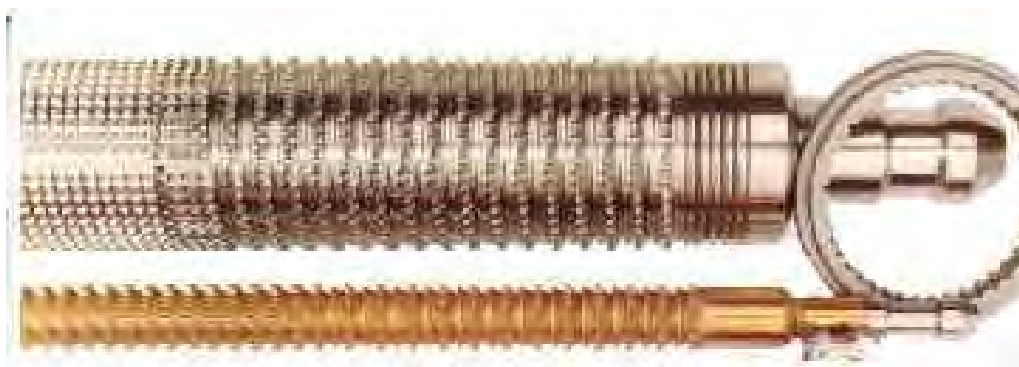


Рисунок 14.19 – Протяжка для зубчатых колёс

14.2 Развитие абразивного инструмента

14.2.1 Характеристики шлифовальных кругов

Развитие технологий шлифования проводится в следующих основных направлениях:

1. Создание и применение новых абразивных материалов.
2. Создание новых конструкций шлифовального инструмента.
3. Обеспечение условий охлаждения зоны обработки применением новых СОТС и технологий их подачи.
4. Высокоскоростная обработка и глубинные методы шлифования, обеспечивающие снижение теплового воздействия на обрабатываемый материал и повышение производительности.
5. Совершенствование технологий правки кругов.
6. Совершенствование оборудования и средств его технологического оснащения.

Инструментом для шлифования являются *шлифовальные круги* различной формы (табл. 14.1).

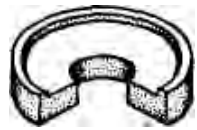
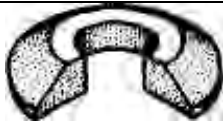
Кроме формы характеристику шлифовальных кругов определяют показатели, оценивающие состав, свойства, размеры и уравнированность инструмента. Шлифовальные круги изготавливаются из абразивных зёрен, сцементированных связкой [1–3].

Абразивные зёрна шлифовальных кругов чаще всего изготавливаются из *электрокорунда*, *карбида кремния черного и зеленого*, *кубического нитрида бора (эльбор, кубонит)* и из *природных и искусственных алмазов* (см. главу 13).

Самой распространенной *связкой* является *керамическая*. Она огнеупорна, водостойка, обладает химической стойкостью, жесткостью и относительно высокой прочностью при испытании на разрыв. Инструменты на керамической связке имеют высокую пористость, относительно хорошо отводят тепло, сохраняют профиль рабочей кромки, но чувствительны к ударам и изгибающим нагрузкам. Наиболее часто для ин-

струментов из нормального и белого электрокорунда применяются плавающие связки на основе борного стекла марки К4 и К5. Для кругов из карбида кремния используют связки марок К3 и К10. В последнее время для скоростных кругов (скорость шлифования более 80 м/с) начинают применять связку марки К43 на основе литийсодержащего борного стекла с добавкой фтористых соединений.

Таблица 14.1 – Некоторые формы шлифовальных кругов

Форма шлифовального круга	Наименование шлифовального круга	Условное обозначение	Форма шлифовального круга	Наименование шлифовального круга	Условное обозначение
1	2	3	4	5	6
	Плоский прямого профиля	ПП		Плоский с выточкой	ПВ
	Плоский с двусторонним профилем	ГП		Чашка цилиндрическая	ЧЦ
	Плоский с односторонним профилем	ИП		Чашка коническая	ЧК
	Плоский с конической выточкой	ПВК		Тарелка	Т

Бакелитовая связка (марок Б1...Б3) применяется для шлифовальных кругов, работающих со значительной (переменной) нагрузкой при удалении больших слоев металла. Основой этой связки является бакелит в виде порошка или жидкости. Кроме того, в связку добавляются наполнители – обычно неабразивные материалы, которые активируют процесс шлифования за счет химического воздействия на обрабатываемый материал, уменьшают нагрев шлифуемой детали за счет повышения теплопроводности связки, повышают прочность связи абразивных зерен и связки. В качестве наполнителей применяются также вещества, повышающие пористость либо в процессе изготовления (путем растворения или возгонки), либо в процессе шлифования (хрупкие, легко выкрашивающиеся материалы).

Бакелитовая связка обладает высокой прочностью и упругостью. Эти свойства, однако, существенно снижаются под действием щелоче-

содержащих охлаждающих жидкостей. Она не выдерживает высоких температур (выше 250 °С).

Для чистового фасонного шлифования, прорезания пазов и отрезания применяются круги на *вулканитовой связке* (марки В1...В3). Наполнители, также как и в инструментах на бакелитовой связке, вводятся в вулканитовую связку для повышения прочности и эксплуатационных свойств шлифовальных кругов. При оптимальном количестве наполнителя (10–20 %) прочность связки возрастает в 10...15 раз.

Для эльборовых и алмазных кругов применяются *органические, керамические и металлические* связки. Для органических связок связующим веществом служат фенолоформальдегидные смолы и комбинации на их основе. Наполнителями в этих связках служат минеральные вещества: карбид бора (Б1), белый электрокорунд (Б3), карбид кремния (Б4), а также железный порошок (Б2). Из керамических наиболее часто применяются связки К1 и К5. Круги на этих связках применяются для обработки твердосплавных пластинок одновременно со стальной державкой инструмента.

Из широкой номенклатуры металлических связок чаще всего используются связки марок М1, М5, МИ и МК. Основой для большинства металлических связок является медь и ее сплавы с оловом, алюминием, никелем и другими металлами. В качестве наполнителя в металлических связках МИ и МК служит соответственно карбид кремния зеленый и электрокорунд. Металлические связки более прочно удерживают алмазные и эльборовые зерна, чем органические. Наилучшими режущими свойствами обладают круги на связке М5, а также на новых связках МО13, М5-4, МС6 и др.

Характеристиками строения круга является *зернистость и структура*. *Номер зернистости* характеризует размерный параметр абразивных зерен (в сотых долях миллиметра для шлифзерна и шлифпорошка, и в мкм – для микропорошка). Для размерного шлифования чаще всего применяются шлифовальные круги с номерами зернистости 40...16 (0,40...0,16 мм).

Технология дробления и отсева абразивного материала не может обеспечить однородность размерных характеристик абразивных зерен в круге с данным номером зернистости. В любом абразивном инструменте содержатся зерна основной, крупной, мелкой и предельных фракций. В зависимости от содержания основной фракции (размерная характеристика которой соответствует номеру зернистости) выделяют четыре индекса марки шлифовального материала: В – содержание основной фракции 55–60 %, П – 45–55 %, Н – 40–45 %, Д – 39–41 %. Шлифовальные круги с повышенным содержанием основной фракции обладают лучшими эксплуатационными характеристиками. Однако для профильного шлифования и там, где требуется высокая стойкость кромки круга,

лучше себя показали шлифовальные круги, изготовленные из смеси зерен двух номеров зернистости 40 и 25.

Структура шлифовального круга характеризует соотношение объемов, которые занимают в нем абразивные зерна, связка и поры. В любом абразивном инструменте на керамической или бакелитовой связке имеет место соотношение

$$v_z + v_c + v_n = 100 \%,$$

где v_z – относительный объем зерна, v_c – связки и v_n – пор. Содержание пор в абразивных инструментах на вулканитовой и металлических связках очень мало.

Регулируемая пористость необходима шлифовальному кругу, так как чем больше относительный объем пор и чем крупнее сами поры, тем эффективнее идет процесс шлифования (особенно труднообрабатываемых материалов). В то же время инструмент с высоким содержанием пор менее прочен и больше изнашивается, чем инструмент более плотный, монолитный. Следует различать пористые круги с естественными порами и круги, поры которых получены благодаря применению выгорающих наполнителей. Последние называются высокопористыми (рис. 14.20) и могут иметь $v_n = 75 \%$.

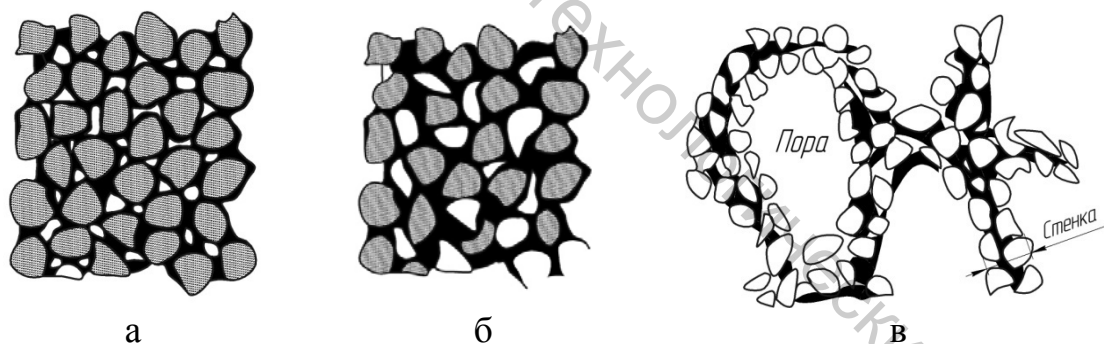


Рисунок 14.20 – Структура шлифовального круга:
а – закрытая, б – открытая, в – высокопористая

Номер структуры связывается с относительным объемом зерен (v_z). Структуре № 1 соответствует $v_z = 60 \%$. С повышением номера структуры на единицу v_z уменьшается на 2 %. И так до структуры № 12, где $v_z = 38 \%$. Чаще всего круги на керамической связке изготавливают с номерами структур от 4 до 9, причем по мере уменьшения размера зерен номер структуры повышается. Для чистовой обработки необходимы круги с меньшим номером структуры, чем для предварительной. Для профильного шлифования также следует выбирать круги с меньшим номером структуры.

Структура алмазных и эльборовых шлифовальных кругов характеризуется концентрацией абразивного материала. 100 % концентрацией алмазных зерен считают содержание 4,39 карата в одном кубическом сантиметре алмазного слоя. За 100 % концентрацию алмаза или эльбора принимают такое содержание абразивного зерна, которое составляет примерно 25 % объема рабочего слоя инструмента, независимо от типа связки. Шлифовальные круги выпускают с концентрацией от 25 до 150 %. По специальным заказам можно изготовить круги с концентрацией 175 и 200 %.

Твердость шлифовального круга характеризует прочность, с которой связка удерживает абразивные зерна, выходящие на рабочую поверхность круга и подвергающиеся ударным нагрузкам в процессе шлифования. Для абразивных инструментов установлена условная шкала твердости, приведенная в таблице 14.2. Цифры 1, 2 и 3 справа от буквенного обозначения характеризуют твердость в порядке ее возрастания. Измерение и оценка твердости состоит в том, что заданным стандартным способом механического воздействия производят разрушение небольшого участка поверхности контролируемого инструмента. Количественной оценкой твердости является размер разрушения, то есть глубина лунки или отпечатка, полученного при испытании. Контроль твердости абразивных инструментов с номером зернистости больше 16 осуществляется на пескоструйном приборе, на котором локальное разрушение производится струей стандартной порции кварцевого песка, выбрасываемого из рабочей камеры прибора сжатым воздухом под давлением 0,15 МПа. Для определения твердости инструмента на керамической или бакелитовой связке зернистостью N 12 и менее используется прибор Роквелла, на котором под действием стандартной нагрузки в круг вдавливаются шарик диаметром 5 или 10 мм. Прибор ТКН (твердомер конусный с нагревом) используется для определения твердости абразивных кругов на вулканитовой связке.

Таблица 14.2 – Твердость шлифовальных кругов

Название характеристики шлифовального круга	Условное обозначение характеристики	Степени твердости шлифовальных кругов со связками	
		керамической или бакелитовой	вулканитовой
Мягкий	М	M1, M2, M3	–
Среднемягкий	СМ	CM1, CM2	–
Средний	С	C1, C2	С
Среднетвердый	СТ	CT1, CT2, CT3	СТ
Твердый	Т	T1, T2	Т
Весьма твердый	ВТ	BT1, BT2	–

Для оценки твердости абразивного инструмента без его разрушения применяют акустические методы контроля, при которых определяют скорость распространения звука в среде инструмента.

Твердость является самой существенной характеристикой абразивного инструмента, часто предопределяющей эффективность процесса шлифования. Большое значение также имеет равномерность твердости круга в отдельных его частях. При неравномерной твердости круга его изнашивание тоже неравномерно, что приводит к появлению погрешности формы рабочей поверхности круга, которая переносится на шлифованную поверхность. Наиболее часто используются круги средней твердости. При выборе степени твердости для конкретных условий шлифования необходимо руководствоваться следующими рекомендациями: 1) при шлифовании периферией круга следует использовать более твердые круги, чем при шлифовании торцом; 2) при внутреннем и плоском шлифовании следует применять более мягкие круги, чем при круглом наружном шлифовании; 3) при профильном шлифовании, резьбошлифовании, шлифовании прерывистых поверхностей и заготовок малых диаметров, точном шлифовании цилиндрических поверхностей, ограниченных галтелями и жестким допуском на радиус, следует использовать более твердые круги; 4) при шлифовании с применением СОЖ следует применять более твердые круги, чем при шлифовании без СОЖ; 5) при замене керамической связки бакелитовой, электрокорунда нормального – белым или белого монокорундом, при уменьшении номера зернистости следует повысить твердость на одну-две степени; 6) для устранения опасности термического повреждения шлифованной поверхности следует применять более мягкие круги.

Шлифовальные круги изготавливают трех классов точности – АА, А и Б. Для кругов класса точности АА используют шлифовальный материал с индексами зернистости В и П, для класса точности А – только В, П и Н, а для класса Б можно использовать шлифовальный материал с любым содержанием основной фракции. Кроме того, размеры посадочного отверстия, наружной поверхности и высоты круга у класса АА выполняются точнее, чем у класса А, а у последнего точнее, чем у класса Б.

Шлифовальные круги различают также по классам уравновешенности. Установлено четыре класса неуравновешенности, обозначаемых цифрами 1, 2, 3 и 4. Классу 1 соответствует минимальная, а классу 4 – максимальная неуравновешенность. Допускаемая неуравновешенность для всех классов увеличивается при увеличении массы круга. Для уменьшения неуравновешенности, что имеет большое значение при чистовом и тонком шлифовании, а также при высоких (50...80 м/с) скоростях шлифования, проводят периодическую балансировку круга (вне станка и на станке). Некоторые методы балансировки освещены далее.

Маркировка шлифовальных кругов приведена на рисунке 14.21.

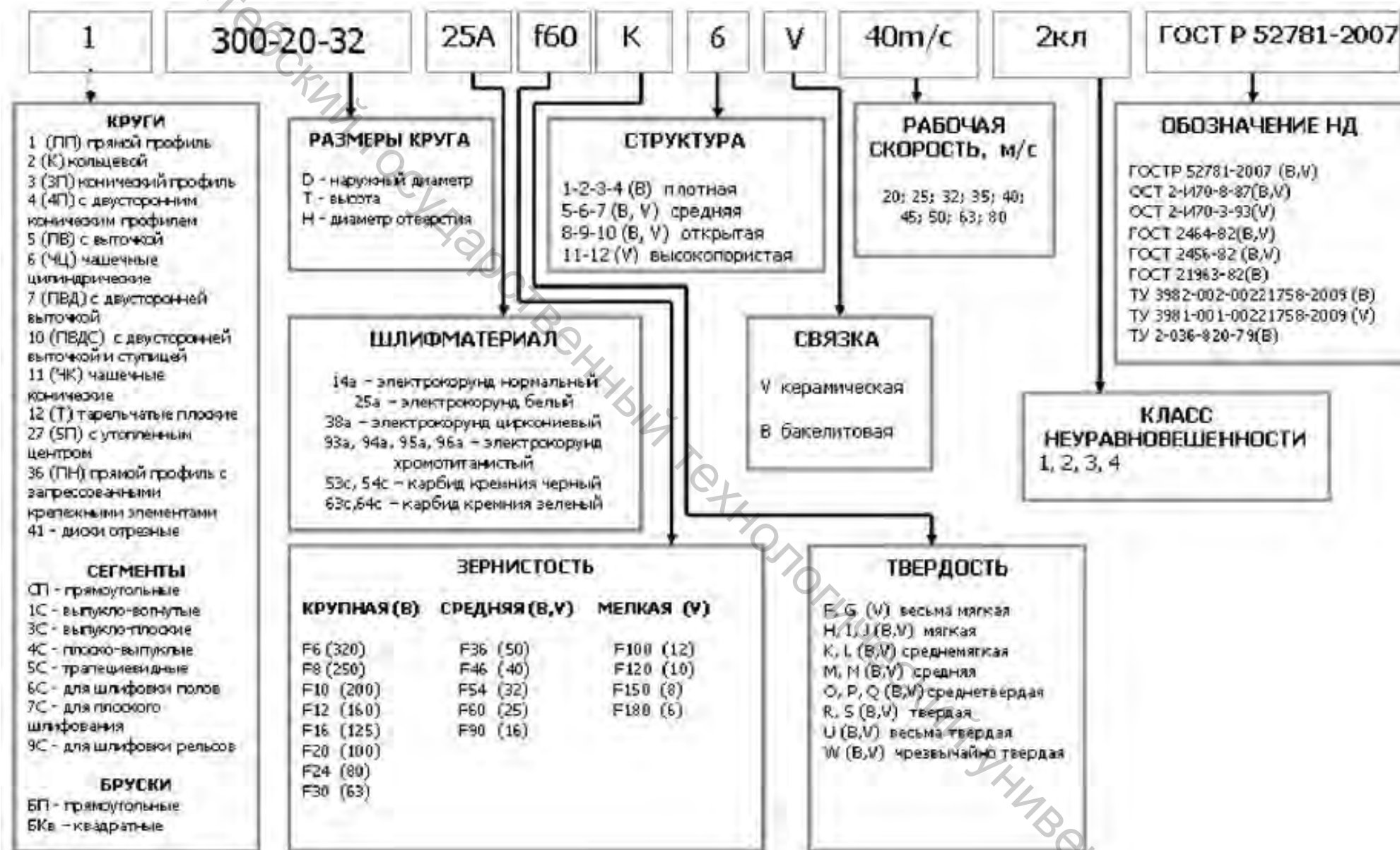


Рисунок 14.21 – Маркировка шлифовальных кругов

14.2.2 Высокопористые, прерывистые и импрегированные шлифовальные круги

К высокопористому инструменту относится абразивный инструмент с пористостью 50 % и выше. Главным отличием шлифовального высокопористого инструмента является его структурное строение с уменьшенным содержанием абразивного зерна в объеме инструмента.

Абразивные высокопористые круги благодаря порам обладают лучшим проникновением СОТС в зону обработки, хорошей самозатачиваемостью и меньшей засаливаемостью. Применение таких кругов уменьшает число зерен на рабочей поверхности круга и силу резания, приходящуюся на одно зерно, облегчает правку и повышает эффективность использования СОТС. Однако прочность пористых кругов несколько меньше прочности обычных кругов.

Схема устройства для подачи СОТС через поры круга показана на рисунке 14.22. Здесь СОТС через осевое отверстие в шпинделе станка 3, радиальные отверстия 2 подводится к шлифовальному кругу 1, а затем под действием центробежных сил проходит через поры круга на его рабочую поверхность (периферию круга). При этом СОТС одновременно с охлаждением зоны обработки обеспечивает очистку рабочей поверхности круга от затупившихся зерен.

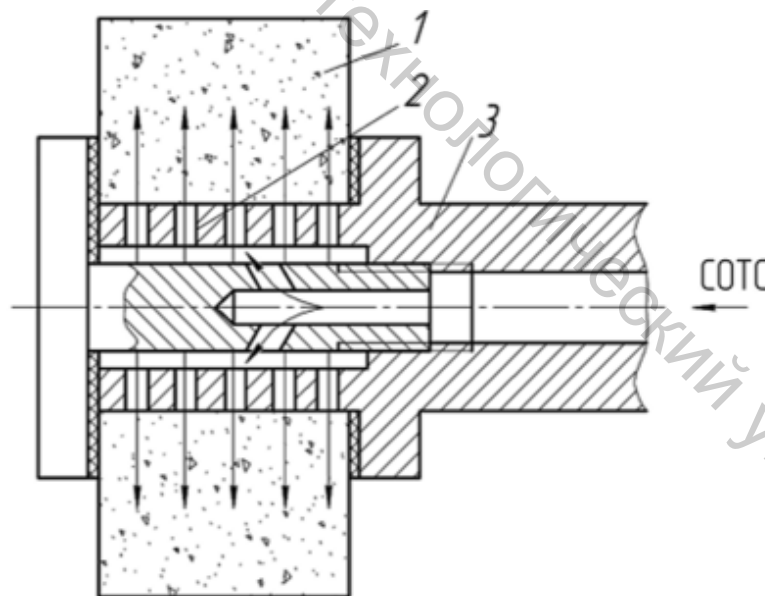


Рисунок 14.22 – Подача СОТС через поры шлифовального круга:
1 – шлифовальный круг; 2 – радиальные отверстия; 3 – шпиндель станка

Пористые круги изготавливают на керамической связке. Причем высокопористое строение круга создается либо из-за газообразования при химической реакции, протекающей в круге во время его изготовле-

ния, либо путем введения выгорающих добавок в состав круга. Чаще всего в качестве порообразователей используют порошки синтетических смол, искусственных и природных материалов (нафталин, полистирол, кокс, торф, опилки, перлит и др.). Введение таких выгорающих добавок приводит к образованию в процессе термообработки инструмента большой объемной пористости (до 70 %) и к увеличению размеров отдельных пор. Так, например, при использовании в качестве порообразующего наполнителя синтетического полистирола марки I ИСС и перлита марки 11 объемное содержание пор для кругов зернистостью 40–16 может находиться в пределах 5–25 %, а зернистостью 12–6 – в пределах 10–30 %. Применение высокопористых кругов приводит к снижению в 1,5–1,7 раза температуры обрабатываемой поверхности, что позволяет осуществлять бесприжоговое шлифование труднообрабатываемых материалов. При этом уменьшаются энергетические затраты, а производительность процесса шлифования возрастает на 15–70 %.

Основные области применения высокопористых шлифовальных кругов на керамической связке:

- глубинное шлифование замков турбинных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов авиационных двигателей, газоперекачивающих и энергетических установок, включая елочный профиль;
- профильное глубинное шлифование деталей из титановых сплавов, в т.ч. хвостовиков компрессорных лопаток;
- круглое наружное шлифование деталей гидроприводов из легированных сталей, имеющих азотированную поверхность;
- плоское шлифование деталей гидроагрегатов из цементированных закаленных легированных сталей без охлаждения;
- при обработке высокоточных и ответственных деталей из коррозионностойких сталей без охлаждения;
- обработка конструкционных материалов, чувствительных к структурно-фазовым превращениям, термодинамическим дефектам, характерным для процесса шлифования – прижогам, сколам, трещинам;
- прецизионное шлифование;
- резьбошлифование.

Прерывистые шлифовальные круги (рис. 14.23) изготавливают путем прорезания, накатывания или прессования пазов на рабочих поверхностях обычных абразивных кругов. Для изготовления таких кругов рекомендуется использовать круги с повышенной на 1–2 степени твердостью и меньшей зернистостью по сравнению с обычными кругами.

Наличие впадин на рабочей поверхности круга обеспечивает лучшие условия охлаждения шлифуемой поверхности путем подвода СОТС непосредственно в зону контакта круга с заготовкой. В зависимости от протяженности впадин (2–45 мм) силы и температура шлифования снижаются на 10–40 %. Благодаря этому при работе на повышенных режи-

мах резания и при обработке высокопрочных материалов уменьшается вероятность появления поверхностных дефектов – прижогов и микро-трещин.

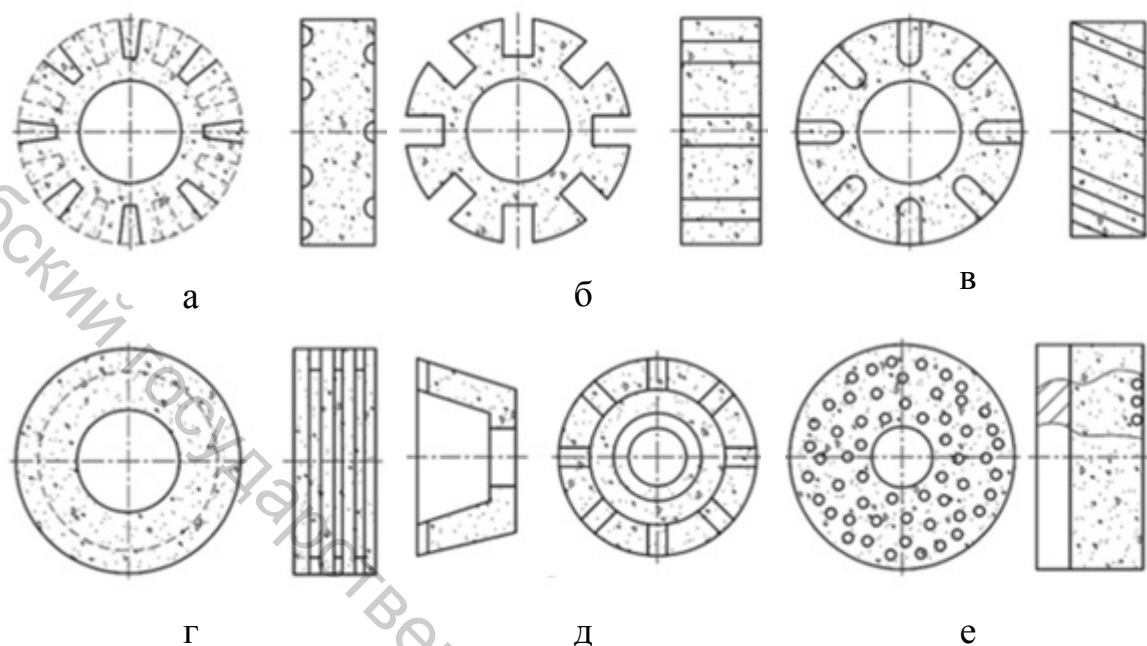


Рисунок 14.23 – Прерывистые абразивные круги:
а – с выточками, б – с пазами, в – с прорезями, г – с канавками,
д – с насечками, е – с отверстиями

Импрегнированные шлифовальные круги – это абразивные круги, пропитанные специальными составами – импрегнаторами (графит, дисульфид молибдена, стеарин, парафин, формальдегидные смолы и др.). Заполнение пор абразивных кругов наиболее часто осуществляют путем свободного капиллярного заполнения их жидкими составами.

Пропитку абразивных инструментов применяют как средство регулирования их прочностных свойств и твердости и как способ применения смазки. В первом случае, например, для повышения твердости абразивных инструментов на керамической связке производят пропитку инструмента в бакелитовом растворе, а для снижения твердости этих же инструментов их кипятят в водном растворе каустической соды. Во втором случае пропитку используют для изменения процессов контактного взаимодействия инструмента с заготовкой, благодаря чему на поверхностях абразивных зерен и связки формируется смазочное покрытие, а в порах инструмента создаются микрообъемы смазки, которая находится в твердом или пластическом состоянии. После размягчения смазки теплотой резания она перемещается в зону обработки под действием центробежных сил.

Эффективность импрегнирования значительно выше при сухом шлифовании, чем при работе с СОТС, и при обработке закаленных ста-

лей, чем при обработке сталей незакаленных. В целом импрегнирование позволяет существенно повысить стойкость шлифовальных кругов (в 2–4 раза), снизить их засаливаемость и уменьшить шероховатость обработанной поверхности. В ряде случаев устраняются скрытые тепловые дефекты шлифованной поверхности.

14.2.3 Глубинное и высокоскоростное шлифование

Наиболее интенсивно развиваются технологии высокоскоростного и глубинного шлифования, характеристики которых приведены в таблице 14.3.

Таблица 14.3 – Значения некоторых режимов резания высокоскоростного и глубинного шлифования

Параметр	Традиционное шлифование	Высокоскоростное шлифование	Глубинное шлифование	Высокоэффективное глубинное шлифование
Глубина резания, мм	0,001...0,05	0,003...0,05	0,1...30	0,1...30
Скорость заготовки, м/мин	1...30	1...10	0,05...0,5	0,02...0,3
Скорость резания, м/с	20...60	100...200	20...60	80...200
Удельная скорость удаления материала, мм ³ /мм·с	0,1...10	0,1...60	0,1...10	50...2000

Глубинное шлифование (Creep Feed grinding) является сравнительно новым способом абразивной обработки. Оно имеет несколько разновидностей, представленных в таблице 14.4, в которой показаны значения, характерные для шлифования никелевых суперсплавов. Если при традиционном шлифовании для удаления припуска и обеспечения точности обработки требуется множество проходов с глубиной резания порядка 0,002...0,05 мм при подаче 50...250 м/мин, то при глубинном шлифовании это достигается за 2...3 прохода при глубине резания 1...10 мм и скоростью подачи 0,7...15 м/мин. Обычно выполняется один или несколько черновых проходов (в зависимости от величины удаляемого припуска) и последующий чистовой проход. За один установ детали таким образом выполняются операции черновой и чистовой обработки.

Производительность глубинного шлифования может быть в 100 раз выше, чем традиционного.

Глубинным шлифованием обрабатывается широкая номенклатура материалов, включая конструкционные и инструментальные стали, сплавы на никелевой основе, титановые сплавы и керамика.

Важнейшими достоинствами глубинного шлифования являются возможность с высокой точностью и качеством поверхностного слоя обрабатывать сложные фасонные поверхности деталей и высокая эффективность обработки труднообрабатываемых материалов (высокопрочных сталей, титановых и никелевых сплавов).

Замена фрезерования и протягивания сложных фасонных поверхностей глубинным шлифованием позволяет достигнуть экономии за счет меньшей стоимости режущего инструмента (фасонные фрезы и протяжки очень дороги) и сокращения технологического маршрута обработки (одна операция глубинного шлифования взамен фрезерования, удаления заусенцев и последующего традиционного шлифования). При глубинном шлифовании отсутствуют заусенцы, что является дополнительным преимуществом по сравнению с фрезерованием. Точность и стабильность процесса также выше, чем фрезерования. Формируемые при глубинном шлифовании остаточные напряжения сжатия позволяют отказаться от операций поверхностного пластического деформирования, часто выполняемых после шлифования.

Таблица 14.4 – Значения режимов резания, характерные для шлифования никелевых суперсплавов

Параметр	Глубинное шлифование с непрерывной правкой	Глубинное шлифование с высокоскоростной непрерывной правкой	VIPER – шлифование	Глубинное шлифование кругами из КНБ без правки
Глубина резания (мм)	2	3	2	2
Скорость заготовки (м/мин)	1,2	5	1,5	0,2
Скорость резания (м/с)	20...35	80	40...60	50...80
Удельная скорость удаления материала (мм ³ /мм·с)	50	300	100	15
Скорость подачи правящего ролика, мкм/об	0,6...1,2	2...2,5	-	-

Классическая схема глубинного шлифования, реализуемая при использовании высокопористого абразивного круга с его постоянной правкой, приведена на рисунке 14.24.

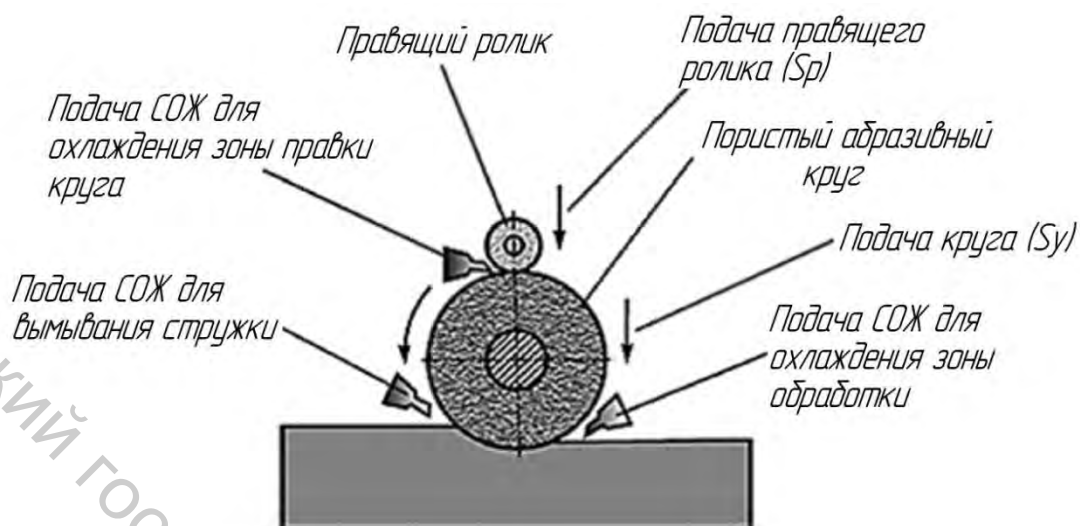


Рисунок 14.24 – Базовая схема глубокого шлифования

Основными факторами, определяющими эффективность глубокого шлифования, являются: базирование, обеспечение жесткости и надежности закрепления заготовки; характеристика шлифовального круга; размеры и скорость вращения круга, продольная подача заготовки, глубина резания; давление, температура и объем подаваемой СОЖ, ее тип, место расположения охлаждающих сопел и их форма; способ и условия правки круга; жесткость, мощность и точность технологического оборудования.

При глубоком шлифовании вследствие большой дуги контакта круга с заготовкой значительно в 10...30 раз увеличивается мощность резания. Из-за больших сил резания используемое оборудование должно иметь высокую жесткость. Необходимо также надежное и жесткое крепление заготовки.

В ряде случаев при обработке маложестких деталей с целью уменьшения силы резания используют несколько проходов или уменьшают скорость перемещения стола. Увеличение глубины резания приводит к увеличению длины контакта и, как следствие, пути проходимо-го абразивной частицей в контакте с деталью и частицами, одновременно находящимися в контакте. Каждое абразивное зерно срезает более тонкую, но более длинную стружку, чем при обычном шлифовании.

Специфические условия процесса глубокого шлифования требуют использования специального инструмента. Шлифовальные круги, используемые при глубоком шлифовании, можно разделить на две группы: с традиционными абразивными материалами и сверхтвёрдыми абразивными материалами (суперабразивами). Обычные абразивы имеют форму зерен или частиц, а суперабразивы – форму кристаллов. Ти-

пичными традиционными абразивами являются корунд (Al_2O_3 , твердость по Кнуру 2500) и карбид кремния (SiC , твердость по Кнуру 2700).

К суперабразивам относят кристаллы кубический нитрид бора (твердость по Кнуру 4700) и алмазы (твердость по Кнуру 7000). Основным требованием к инструменту для глубинного шлифования является наличие и равномерное распределение одинаковых по размеру пор, соединенных друг с другом каналами, обеспечивающими подвод СОЖ через тело круга. Считается, что наилучшими кругами для глубинного шлифования являются мягкие круги с высокой пористостью и открытой структурой. При их получении в связку добавляют частицы, которые при спекании выгорают, образуя поры.

Следует отметить, что при большой глубине резания подвод СОЖ в зону обработки иногда возможен только через поры. Равномерное распределение пор необходимо для обеспечения равномерной плотности и, как следствие, минимизации дисбаланса шлифовального круга. Зернистость кругов выбирается в основном в зависимости от требований, предъявляемых к шероховатости обрабатываемой поверхности.

Сравнительно новой является технология *VIPER (Very Impressive Performance Extreme Removal)*. Она запатентована Rolls Royce для глубинного шлифования деталей из никелевых и кобальтовых сплавов, широко применяемых в авиационных двигателях (лопатки турбины, сопловые аппараты и др.). В ней используется прерывистая или непрерывная правка круга, вращающегося с высокой частотой. Управляемые сопла подают СОТС под высоким давлением (70...100 бар) перед кругом, при этом СОТС увлекается им в зону обработки, обеспечивая эффективное охлаждение. Обработку выполняют на обрабатывающих центрах, используя специальные шлифовальные круги небольшого диаметра, или на станках глубинного шлифования (обработка с непрерывной правкой круга).

Для реализации технологии VIPER разработано специальное оборудование, в частности, станки MAKINO I Grinder и BRIDGEPORN FGC2.

Высокоскоростное шлифование характеризуется скоростями резания 60...300 м/с. Увеличение скорости позволяет качественно изменить технические показатели и технологические возможности процесса шлифования.

Его применение позволяет: многократно, в сотни раз увеличить производительность шлифования (до $2000 \text{ мм}^3/\text{мм}\cdot\text{с}$); увеличить стойкость круга; улучшить качественные характеристики поверхностного слоя (снизить шероховатость и уровень остаточных напряжений, уменьшить степень деформации), толщина измененного высокоскоростным шлифованием слоя не превышает 10 мкм; достигнуть кратного снижения сил резания и теплового потока в шлифуемый материал.

Процесс характеризуется очень малыми силами резания и низкими температурами в зоне обработки. Он перспективен для обработки изделий из твердых хрупких материалов, керамик, а также закаленных материалов и твердых сплавов. Процесс может выполняться с высокими частотами вращения изделия, когда скорость перемещения зоны контакта достигает 300 ... 500 м/мин, и малыми глубинами резания.

Основными факторами, ограничивающими применение высокоскоростного шлифования, являются необходимость специального оборудования, высокие требования к балансировке кругов, сравнительно высокая стоимость инструмента. Для высокоскоростного шлифования создаются специальные станки с повышенной жесткостью и виброустойчивостью, а также специальные шлифовальные круги, обладающие повышенной прочностью на разрыв.

При высоких скоростях вращения в шлифовальных кругах возникают большие напряжения, вызываемые центробежной силой. Для повышения прочности таких кругов применяют специальные керамические связки К5 и К6 – для работы со скоростью 60 м/с и К43 и К43Л – для работы со скоростью 80 м/с. Применяют также круги переменного сечения с утолщением центральной части, плавно снижающейся к рабочей части. Иногда центральную часть кругов на керамической связке пропитывают термопластичными составами, например, эпоксидной смолой и др.

Точность кругов для высокоскоростной обработки должна быть классов АА и А, неуравновешенность – не ниже класса 2 для кругов с рабочей скоростью до 60 м/с и не ниже класса 1 для кругов, работающих со скоростью 80 м/с.

14.2.4 Правка шлифовальных кругов

При шлифовании вследствие изнашивания изменяется микро- и макрогеометрия рабочей поверхности шлифовального круга, а, следовательно, и его эксплуатационные свойства. Для их восстановления шлифовальный круг периодически подвергается правке. Особенно велика роль правки при врезном шлифовании, когда погрешности профиля круга копируются обработанной поверхностью. От правильного выбора средств и режимов правки зависят не только точность и шероховатость, но и производительность обработки, расход шлифовальных кругов и экономическая эффективность процесса шлифования. Широко применяемые шлифовальные круги на керамической связке твердостью СМ2...СТ2 в основном расходуются не в процессе шлифования, где их износ очень мал, а в процессе правки. На правку расходуется от 45 до

80 % полезного объема абразивных кругов, а затраты времени на правку могут достигать до 30 % от времени обработки [1–3].

Метод и режим правки выбирают в зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Правку абразивных кругов можно осуществить обтачиванием алмазным инструментом, обкатыванием металлическими, твердосплавными или абразивными дисками, шлифованием кругами из карбида кремния или алмазными роликами (брусками), накатыванием стальными профильными роликами.

Правку обтачиванием (рис. 14.25) выполняют по схеме токарной обработки. Этот наиболее точный метод применяют для автоматической и профильной правки, а также при шлифовании по 5-му и 6-му квалитетам допуска ($Ra = 0,16...0,63$). Правящим инструментом являются: крупные алмазные зерна, зачеканенные в оправки; алмазные резцы; либо алмазно-металлические карандаши. Наибольшее распространение имеют алмазно-металлические карандаши, в которых в определенном порядке размещены кристаллы алмазов, прочно соединенные металлической связкой с державкой.

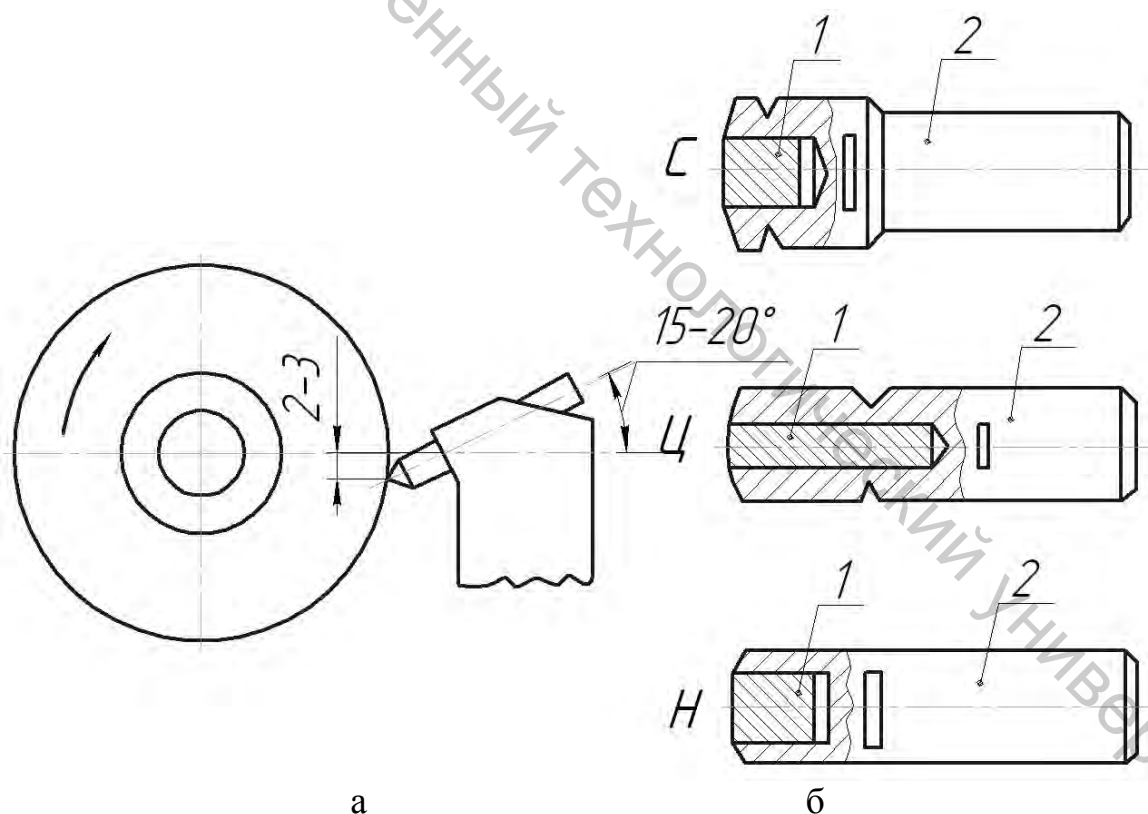


Рисунок 14.25 – Схема правки обтачиванием:

а – установка алмазно-металлического карандаша на станке, б – виды алмазно-металлических карандашей: 1 – алмазоносная вставка, 2 – оправка

В зависимости от расположения алмазных кристаллов различают четыре типа алмазно-металлических карандашей: Ц – с алмазами, расположенными цепочкой; С – с алмазами, расположенными по 3–5 штук слоями, которые могут перекрываться или не перекрываться; Н – с неориентированным расположением алмазов. Каждый тип карандашей подразделяют на марки, отличающиеся массой и количеством кристаллов алмаза, а также размерами державки.

В процессе правки алмазно-металлические карандаши изнашиваются (на рабочих поверхностях алмазных зерен образуются площадки). Поэтому карандаши обычно устанавливают так, чтобы их ось была наклонена под углом в сторону вращения шлифовального круга. Это позволяет, периодически поворачивая карандаш вокруг оси на 40...60, вводить в работу незатупившиеся грани алмаза (восстанавливать задний угол). Такая установка карандашей снижает износ алмаза, предохраняет его от перегрузки и исключает вибрации при правке. Для карандашей типа Ц угол = 10...15°, а для типов С и Н = 2...5°.

Алмазы с естественными гранями, закрепленные в оправках, имеют намного большую износостойкость по сравнению с алмазно-металлическими карандашами, так как их устанавливают в оправе так, чтобы плоскости сколов кристаллов не совпадали с направлением сил, действующих на алмаз при правке. Для закрепления алмазов в оправках применяют металлический зажим, пайку или чеканку (рис. 14.26).



Рисунок 14.26 – Алмазные карандаши

Правка *методом обкатывания* (рис. 14.27 б) представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен и связки на рабочей поверхности круга правящим инструментом, прижатым к вращающемуся шлифовальному кругу с определенной силой и вращающимся в результате действия сил трения. Чаще всего в качестве правящего ин-

струмента при правке обкатыванием применяется монокристаллический твердосплавный ролик, ось которого скрещивается с осью шлифовального круга под углом $5...10^\circ$. Такое расположение оси ролика несколько увеличивает производительность правки, но при этом повышается износ правящего инструмента.

Правку кругов методом обкатывания чаще всего применяют как предварительную, когда необходимо снять относительно большой слой абразива. Можно применять этот метод правки для кругов, используемых при предварительном или полужестком шлифовании с $Ra > 1,25$ мкм.

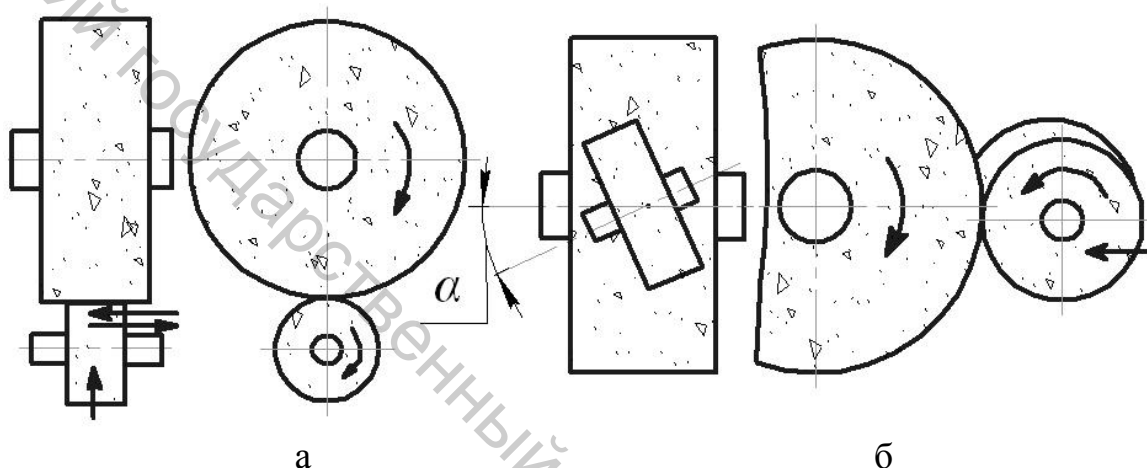


Рисунок 14.27 – Схемы методов правки шлифовальных кругов:
а – метод шлифования; б – метод обкатки

Правка *методом шлифования* (рис. 14.27 а) представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен рабочей поверхности шлифовального круга вращающимся правящим инструментом, который получает движение от отдельного привода. В отличие от метода обкатывания, в данном случае на рабочей поверхности шлифовального круга действуют не только радиальные, но и значительные тангенциальные силы. В качестве правящего инструмента чаще всего применяют ролик с алмазным слоем, который соединен с корпусом специальной твердосплавной связкой. В условиях массового производства применяют алмазные ролики, позволяющие методом врезания править сразу несколько рабочих поверхностей круга, что сокращает затраты времени на правку.

Метод непрерывной врезной правки таким роликом в сочетании с воздействием на рабочую поверхность круга струи СОЖ под высоким давлением в 20...30 раз повышает режущие свойства шлифовального круга по сравнению с обычными методами периодической правки. На плоскошлифовальных станках вместо алмазного ролика с отдельным приводом можно для фасонной правки круга применять алмазный фа-

сонный брусок, который устанавливается на столе станка соосно обрабатываемой заготовке. Правка методом шлифования обеспечивает точность профиля шлифуемой детали до $0,01...0,02$ мм и значения параметра шероховатости $Ra = 0,32...0,63$ мкм. Достижимая точность профиля зависит от точности изготовления алмазных роликов и их биения.

Правка методом накатывания рабочей поверхности круга представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении металлического правящего ролика (рис. 14.28) и прижатого к нему с определенной радиальной силой шлифовального круга. Данный метод применяется исключительно для правки профильных шлифовальных кругов. Профилирование ведут при скорости накатывания $1...1,5$ м/с и поперечной подаче $0,05...0,1$ мм/мин. Правящий ролик имеет профиль шлифуемой детали. Износ ролика вследствие незначительного проскальзывания при правке сравнительно невелик, поэтому одним и тем же роликом можно править многократно. В зависимости от конструктивных особенностей станка принудительное вращение при накатке сообщают либо шлифовальному кругу, либо ролику.

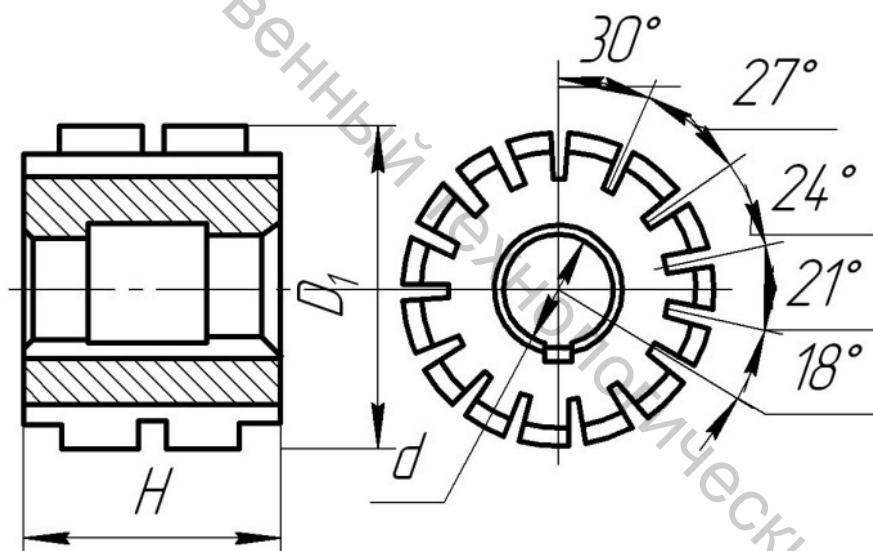


Рисунок 14.28 – Ролик для накатывания

Круги, заправленные методом накатывания, обладают достаточно высокими режущими свойствами и обеспечивают шлифование с $Ra 1,25$ мкм. Наличие канавок с неравномерным шагом на ролике интенсифицирует процесс профилирования круга. Для изготовления роликов применяют термически улучшенные стали марок 45 и 40Х или закаленные инструментальные стали (У8А, ХГ, Р6М5). Хотя закаленные до высокой твердости (HRC 60–64) ролики более износостойчивы, но стоят дороже, и для их изготовления требуются оптико-шлифовальные станки.

Алмазные и эльборовые круги с прямолинейной образующей рабочей поверхностью правят одним из двух методов – шлифованием или обкаткой. Метод шлифования более эффективен для кругов на бакелитовой связке. Высокие режущие свойства круга, который подвергается правке шлифованием, достигаются, когда правящий абразивный круг имеет скорость 20...30 м/с, а подвергаемый правке вращается навстречу со скоростью в 2 раза меньшей. Для правки алмазных и эльборовых кругов сложного профиля на металлической связке наиболее рационально применять методы электроэрозионного или электрохимического профилирования.

Фирма *Studer* разработала и внедрила метод правки *STUDER-WireDress* и устройство правки, работающее по принципу *проволочной электроэрозии*, которое полностью интегрировано в шлифовальный станок и его систему управления. Шлифовальный круг для осуществления правки не нужно снимать со станка. При такой правке благодаря сильному выступанию абразивных зерен шлифовальный круг всегда очень острый, в шлифовальный зазор попадает большое количество СОЖ, что позволяет производить шлифование с высокими подачами при пониженном отжиге детали. Интервалы времени между правками можно увеличивать. Обеспечивается правка сложных профилей за короткие промежутки времени. При черновом и чистовом шлифовании эксплуатант станка использует при этом наиболее полно преимущества шлифовальных кругов на металлической связке.

Амортизация новой технологии правки *STUDER-WireDress®* происходит менее, чем через год. Устройство правки по своему принципу представляет собой небольшой проволочный электроэрозионный станок. Электродом является проволока, которая с постоянной скоростью 100 мм/с с небольшим зазором подводится к месту обработки. Противоположным полюсом является металлический шлифовальный круг, который во время правки вращается со скоростью от 50 до 140 м/с.

Отдельного диэлектрика не требуется, поскольку эту функцию выполняет используемая при шлифовании СОЖ.

Правящая проволока проходит по периметру направляющего керамического круга. В том месте, где между металлической связкой и проволокой появляется искра, в металлической связке, облегающей абразивное зерно, образуется выемка, и абразивное зерно выступает из связки. При такой правке можно достичь скорости подач от 15 до 25 мм/мин. Таким способом на шлифовальном круге можно создавать высокоточные геометрические мелкоструктурированные профили с внутренними радиусами 0,2 мм и наружными радиусами 0,05 мм. Съем материала достигается до 80 мм³/мин. Абразивное зерно сохраняет при этом бесконтактном процессе правки свою первоначальную острую форму. Инструмент правки не изнашивается. Проволока во время правки непрерывно двигается. Поэтому в позиции правки всегда имеется

электрод с точной геометрией профиля. На ролике с проволокой правящего устройства имеется 10 км проволоки – примерно на 16 часов правки. Использованная проволока после правки разрезается на мелкие куски и собирается в специальную емкость для утилизации. Направляющий керамический круг, через который работает электродная проволока, очень стойкий и изнашивается только после нескольких сотен часов работы. Технология правки интегрирована в систему управления шлифовального станка. Технология правки STUDER-WireDress® интегрирована в систему управления шлифовального станка. Она обладает всей требуемой функциональностью процесса правки и содержит также программное обеспечение для профилирования с оптимизацией траектории правки Studer-Dress integrated.

14.3 Вопросы для самоконтроля

1. Приведите известные Вам направления развития конструкций режущих инструментов.
2. Приведите примеры использования модульного принципа в конструировании инструментов.
3. Изобразите схемы крепления сменных многогранных пластин в конструкциях сборных инструментов.
4. Приведите примеры сборных инструментов.
5. На какие группы делятся многозубые инструменты с разделяемым креплением?
6. Охарактеризуйте крепление зубьев сборных инструментов с помощью рифлений.
7. Для чего в инструментах меняют формы передних и задних поверхностей?
8. Каковы тенденции в совершенствовании конструкций твердосплавного инструмента?
9. Какие Вам известны принципы оформления стружкозавивающих элементов сменных многогранных пластин?
10. Какие особенности геометрии имеют сменные многогранные пластины типа MF фирмы Sandvik Coromant?
11. Для чего на сменных многогранных пластинах фирмы Sumitomo делаются выступы сферической или каплевидной формы?
12. Для чего на сменных многогранных пластинах делаются уступы волнообразной формы?
13. Для чего в конструкциях инструментов применяются переходные режущие кромки?
14. Каковы достоинства и недостатки комбинированных инструментов?

15. Изобразите схему комбинированного инструмента с алмазным выглаживателем с упругой связью.
16. Дайте характеристику процессу вибрационного резания.
17. Изобразите схему вибрационного устройства для резания цилиндрических деталей.
18. Перечислите направления развития технологий шлифования.
19. Какие Вам известны формы шлифовальных кругов?
20. Какие Вам известны виды абразивных материалов?
21. Назовите виды связок абразивных кругов и области их применения.
22. Дайте определение понятиям зернистости и структуры шлифовального круга.
23. Что характеризует твердость шлифовального круга?
24. Как маркируются шлифовальные круги?
25. Перечислите области применения высокопористых шлифовальных кругов на керамической связке.
26. Изобразите схемы прерывистых абразивных кругов.
27. Какова технология изготовления и область применения импрегнированных шлифовальных кругов?
28. Дайте характеристику глубинному шлифованию.
29. Приведите базовую схему глубинного шлифования.
30. Что представляет собой технология VIPER?
31. Перечислите основные факторы, ограничивающие применение высокоскоростного шлифования.
32. Какие Вам известны методы правки шлифовальных кругов?
33. Изобразите схему правки шлифовальных кругов обтачиванием.
34. Для чего при правке шлифовального круга алмазные карандаши устанавливаются так, чтобы их ось была наклонена под углом в сторону вращения шлифовального круга?
35. Как происходит метод правки шлифовального круга при использовании принципа проволочной электроэрозии?

15 МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ИНСТРУМЕНТ

15.1 Покрывтия режущих инструментов

Одними из наиболее значимых показателей использования режущего инструмента является его способность сохранять свои функциональные параметры в течение длительного срока. Обеспечивая увеличение работоспособности инструмента, можно значительно повысить производительность механизированного труда, тем самым снизить затраты на закупку нового инструмента и сэкономить на прочие сопроводительные технологические составляющие.

В ходе эксплуатации режущего инструмента основная нагрузка передаётся на его рабочую часть, это, как правило, приводит к частичному износу или полному разрушению плоскостей и режущих кромок. Существует ряд технологий обработки рабочих поверхностей, которое придает им дополнительное упрочнение, наиболее результативным из которых является способ нанесения на поверхность режущего инструмента специальных покрытий.

В настоящее время широкое распространение получили покрытия на основе нитрида титана, карбида титана, нитрида молибдена, окиси алюминия (TiN , TiC , TiCN , TiAlN , ZrC , HfN , HfC , AlCrN , CrN , Al_2O_3 и др.), а также алмазоподобное покрытие DLC (табл. 15.1).

Многочисленными иностранными фирмами предлагается металлорежущий инструмент с тонкопленочными износостойкими покрытиями индивидуальных торговых марок и обозначений. В качестве примера ниже приводятся фирмы и названия покрытий, которые они наносят: *WALTER* – покрытие PVD-TIGER; *BALZERS TOOLCOATING INC.* (США) – покрытия BALINIT и BALINIT FUTURE NANO; *CEMECON GmbH* (Германия) – покрытие ALOX; *SAS INTERNATIONAL INC.* (США) – покрытие RAINBOW; *BALZERS VERSCHLEIßSCHUTZ GmbH* (Германия) – покрытие BALINIT FUTURA TOP; *FRAISA* (Германия) – покрытия UNICUT-4X, UNICUT-DURO, UNICUT-CELERO, UNICUT-TRIBO; *GUHRING* (Германия) – покрытия F, MOVIC и FIREX; *COURCELLE-GAVELLE* (Франция) – покрытие OPTIMAL; *GCDC TOOL* (Великобритания) – покрытие DRYCUT; *PRAMET DEUTSCHLAND* (Германия) – покрытие DIADUR; *RICHTERPRECISION INC.* (США) – покрытие TITANKOTE; *UNION TOOL EUROPE* (Швейцария) – покрытие HARD MAX; *CEMECON AG* (Германия) – покрытие TINALOX SNJ и др.

Использование индивидуальных видов покрытий говорит о многочисленных их вариантах, наносимых на режущий инструмент. Производители инструмента не приводят данных о конкретных составах по-

крытий и их точных характеристик. В основном, указывается только сфера рационального применения конкретного инструмента с покрытием и рекомендуемые режимы резания. Однако известно, что покрытия наносятся методами PVD и CVD (см. далее) [291–296].

Преимущества инструментов с покрытиями:

- повышенный срок службы рабочих элементов и сокращение числа замен сменных пластин;
- снижение трения в зоне резания инструмента;
- сокращение энергоёмкости и затрат на обработку в целом;
- рост скорости и производительности обработки;
- обработка более твердых материалов;
- неизменность геометрии и размеров рабочей поверхности (малая толщина покрытия режущих инструментов в несколько микрон);
- возможность повторного нанесения.

Увеличение стойкости режущего инструмента происходит за счёт твёрдости самого покрытия, которая на порядок выше твёрдости быстрорежущих сталей или твёрдого сплава. Толщина покрытия на инструменте составляет от 1 до 4 микрон. Износ инструмента начинается с вершины режущей кромки, которая контактирует с материалом. Покрытие существенно замедляет процесс разрушения инструмента.

Температура в точке резания может достигать 1000 °С. И это при поступлении охлаждающей жидкости в зону резания. Любое из износостойких покрытий имеет коэффициент трения значительно ниже, чем сталь или твёрдый сплав. Снижение коэффициента трения приводит к снижению температуры в зоне резания. Кроме того, уменьшается налипание обрабатываемого материала на инструмент. В результате появляется возможность увеличения режимов обработки материала, что ведёт к повышению эффективности использования оборудования. Как правило, режимы резания инструмента с покрытием на 30–50 % выше, чем у инструмента без покрытия.

Таблица 15.1 – Некоторые свойства покрытий

Характеристика	TiN	TiCN	AlCrN	TiAlN	DLC
Цвет	золотой	т.серый т.бурый	серый	темно-синий	черный
Твердость HV	2500	3200	3000	3000-3500	6000-95000
Коэффициент трения	0.65	0.45	0.35	0.42	0.1
Толщина покрытия, мкм	3-5	1-4	1-6	1-3	0.5
Максимальная рабочая температура	600	600	1100	1100	

15.2 Технологии нанесения покрытий на инструмент

В качестве основных технологий нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на режущий инструмент используются процессы химического осаждения покрытий из газовой фазы **CVD** (*chemical vapor deposition*) и физического осаждения покрытий из газовой фазы **PVD** (*physical vapor deposition*).

В общем случае термин осаждение покрытий из газовой фазы (vapor deposition) можно определить как конденсацию газообразных (парообразных) элементов или их соединений с образованием твердого покрытия. При этом основное отличие процессов PVD от CVD состоит в том, что в технологиях PVD исходные твердые материалы за счет испарения или распыления переводятся в газовую (паровую) фазу, которая имеет тот же состав, что и покрытие, а сам процесс осуществляется только при низком давлении.

При **CVD процессах** в качестве исходных материалов используются различные газы, а состав газовой фазы и состав покрытия существенно различаются, процессы в большинстве случаев проводятся при атмосферном давлении и только в отдельных случаях – в вакууме. Летучее соединение осаждаемого элемента подается к подложке, где подвергается термическому разложению (пиролизу) или вступает в восстановительные химические реакции с другими газами (или парами). При этом нелетучие продукты реакций осаждаются на поверхность подложки, а летучие – утилизируются. Все процессы CVD сопровождаются термической или плазменной активацией зоны осаждения (включая подложку) или дополнительно активацией реагента (реагентов) вне зоны осаждения.

Термоактивация зоны осаждения производится с использованием индукционного, радиационного или резистивного нагрева. Покрытия образуются в результате большого количества химических реакций, протекающих в газовой фазе вблизи от поверхности подложки и на самой поверхности подложки. Известно, что при CV процессах материал осаждается в виде порошка, если химическая реакция образования его частиц в твердом состоянии протекает только в газовой фазе, и в виде покрытия, если реакция образования твердых частиц материала происходит на поверхности подложки. Очевидно, что для образования износостойких покрытий на инструменте используется только вторая группа процессов химического осаждения из газовой фазы.

Разновидностями метода химического осаждения CVD являются высокотемпературное *high-temperature CVD* (MT-CVD) осаждение покрытий, среднетемпературное осаждение *medium-temperature CVD* (MT-CVD) и осаждение покрытий с плазменным сопровождением (PA-CVD).

На рисунке 15.1 представлена принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы (CVD).

Процессы HT-CVD реализуются при достаточно высоких температурах – 900...1100 °С. Такие температуры исключают возможность применения этого метода для инструмента из быстрорежущей стали. Однако и при нанесении покрытий на твердосплавные инструменты нагрев до столь высоких температур часто неблагоприятно сказывается на его работе. Твердосплавные инструменты с CVD-покрытиями часто имеют повышенную склонность к хрупкому разрушению в виде выкрашиваний и сколов. Это особенно проявляется при прерывистом резании, когда действуют циклические нагрузки, при обработке труднообрабатываемых сплавов, при обработке с большими толщинами срезаемого слоя.

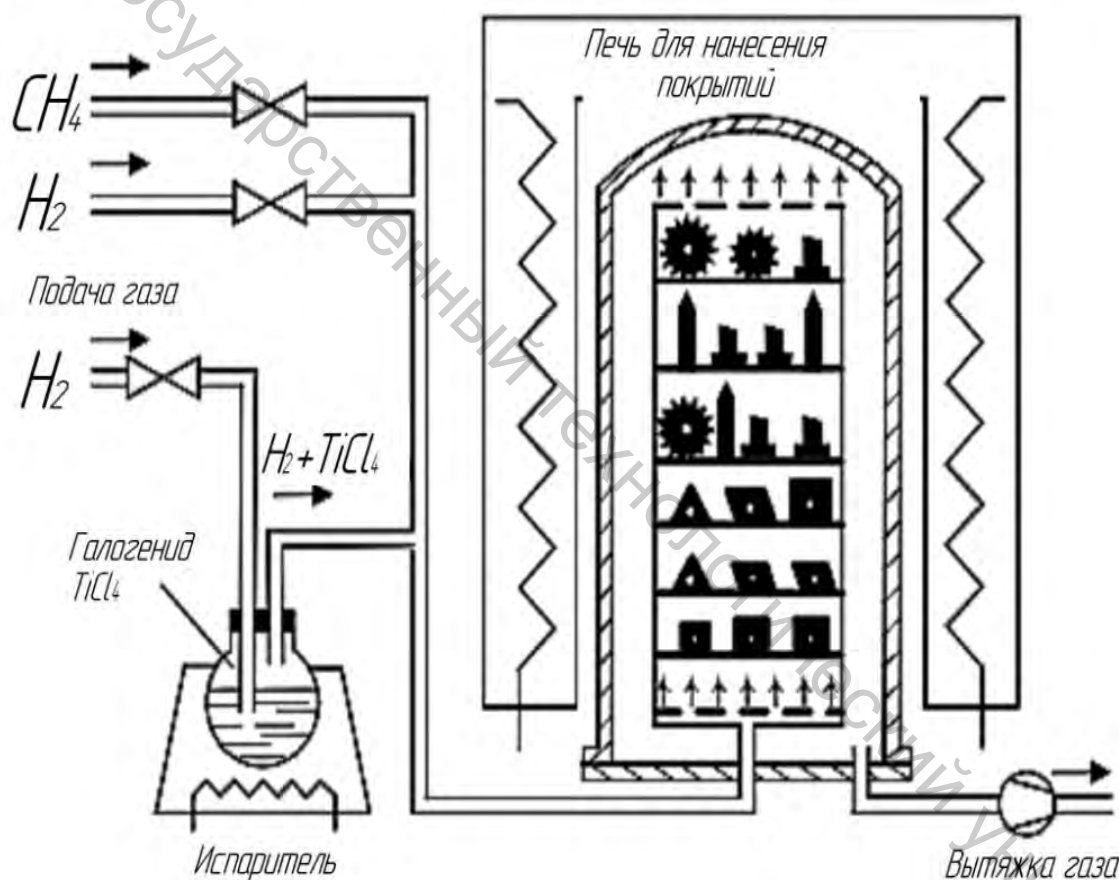


Рисунок 15.1 – Принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы на твердосплавные инструменты

Одной из причин повышенной хрупкости твердосплавного инструмента с покрытием CVD является высокотемпературная диффузия кобальта (частично и вольфрама) из твердого сплава в покрытие. В результате этого на границе раздела «покрытие – твердый сплав» форми-

руется хрупкая η -фаза W_6Co_6C , W_3Co_6C), толщина которой может достигать 4 мкм (рис. 15.2).

Формирование η -фазы существенно повышает склонность твердосплавных инструментов к хрупкому разрушению в процессе резания. Другой причиной повышенной хрупкости являются возникающие растягивающие напряжения и трещины, зарождающиеся на поверхности твердосплавного инструмента в процессе остывания после нанесения покрытий.

Формирование хрупкой η -фазы практически не происходит при использовании метода химического осаждения покрытий при *средних температурах* – *medium-temperature CVD (MT-CVD)*, который реализуется при температурах 700... 900 °С.

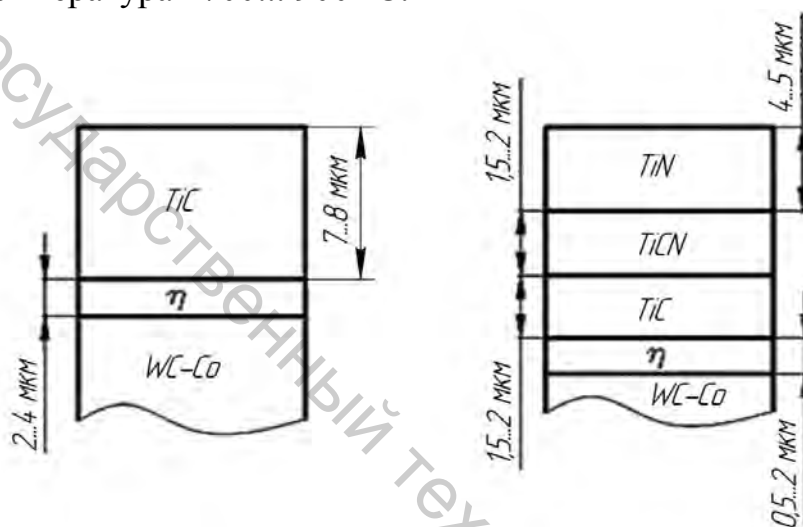


Рисунок 15.2 – Схема однослойного и многослойного покрытия

Методами CVD наносятся покрытия на основе нитридов, карбидов, оксидов и карбонитридов тугоплавких металлов. Кроме того, с их помощью наносятся покрытия с алмазоподобной структурой. Наибольшее распространение в инструментальном производстве получили следующие соединения, формируемые процессами CVD: TiN, TiC, TiCN, Al_2O_3 . Указанные соединения применяются как в качестве однослойных покрытий, так и в качестве отдельных слоев многослойного покрытия (рис. 15.2).

Основным направлением совершенствования твердого сплава с CVD-покрытиями является снижение хрупкости его поверхностного слоя.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день порядка 80 % всего выпускающегося твердосплавного инструмента имеют различные покрытия, большую часть которых составляют покрытия, нанесенные по технологиям CVD. Существенными недостатками CVD-методов являются достаточно высокие температуры, при которых они реализуются, сложность управления составом и структурой формируемых покры-

тий в широких пределах, а также то обстоятельство, что они практически не используются для нанесения многоэлементных покрытий.

Процессы CVD, где используется плазменная активация зоны осаждения, включая подложку, называются *plasma enhanced CVD (PECVD или PACVD)*. Плазменная активация осуществляется с помощью электродной и безэлектродной разрядных систем в реакционных камерах, выполненных на базе трубчатых или колпаковых реакторов пониженного давления.

Основные преимущества процесса PA-CVD по сравнению с CVD заключаются в том, что при его реализации температуры процессов не превышают 600 °С, достигается более высокая прочность адгезионной связи покрытия и инструментальной основы.

Еще одним важным достоинством процессов химического осаждения покрытий из газовой фазы с плазменным сопровождением являются более высокие скорости осаждения, чем в процессе обычного (термического) CVD. Но в то же время контролировать процессы PA-CVD часто достаточно сложно.

В международной практике процессы CVD, где отсутствует плазменная термическая активация изделий, а обеспечивается только плазменная активация реагентов, называются *plasma chemical CVD*. Таким образом, CVD технологии – это группа физико-химических гетерогенных процессов осаждения покрытий, образуемых на границе раздела двух фаз: твердой (подложка) и газообразной (газа, пара или газовой низкотемпературной неравновесной плазмы) с участием большой совокупности инертных и химически активных нейтральных и заряженных газовых частиц, электронов и фотонов в широком диапазоне энергий (от 0.025 до 500 эВ).

PVD-методы можно разделить на две группы: 1) термическое испарение и 2) ионно-плазменное распыление.

При термическом испарении напыляемый материал нагревают до достаточно высокой температуры, при которой некоторые атомы или молекулы приобретают достаточно энергии для того, чтобы разорвать химические связи и покинуть вещество. При этом жидкости испаряются, а твердые вещества сублимируют.

По способам нагрева различают следующие процессы:

1. Термическое испарение (резистивный нагрев) (TVD-процесс). В сверхвысоком вакууме ($\leq 1,3 \cdot 10^{-8}$ Па) вещество термически нагревается до требуемой температуры испарения, при этом его атомы и молекулы попадают на подложку, где происходит их конденсация.

2. Электронно-лучевое испарение (EBVD-процесс). На образец металла, служащий анодом, направлен поток электронов с энергией в несколько кэВ, эмитируемых катодом, что приводит к непрерывному испарению атомов.

3. Лазерная абляция. Мишень облучается импульсным УФ-излучением лазера. Интенсивность излучения составляет 10^8 – 10^9 Вт/см², длительность – несколько наносекунд, что достаточно для абляции вещества (металлов, оксидов металлов) в точке нагрева мишени.

4. Испарение в электрической дуге (arc-PVD-процесс).

Между катодом и анодом инициируется вакуумная дуга, которая испаряет материал катода. Процесс идет в среде инертного газа при низких давлениях 0,133–13,3 Па и при более низкой, чем в методах термического испарения, температуре эпитаксии.

При ионно-плазменном распылении поверхность мишени бомбардируют атомами, ионами или молекулами, имеющими энергию, превышающую энергию связи атомов мишени (рис. 15.3 и 15.4). Для бомбардировки, как правило, используют ионы благородных газов, так как их легко разгонять до нужной энергии в электрическом поле и они химически инертны.

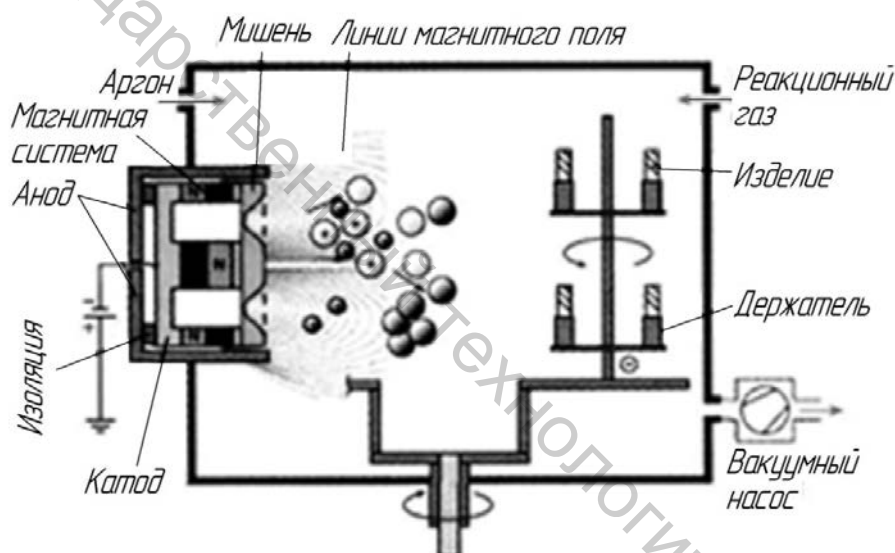


Рисунок 15.3 – Схема установки ионно-плазменного напыления



Рисунок 15.4 – Установка ионно-плазменного напыления

Выбор метода нанесения покрытия (*PVD* или *CVD*) определяется условиям эксплуатации инструмента и следующими факторами:

- свойствами материала наносимого покрытия;
- скоростью нанесения покрытия;
- ограничениями, вносимыми видом и материалом инструмента, например, максимально допустимой температурой нагрева инструмента, габаритными размерами инструмента;
- величиной адгезионной прочности сцепления покрытия с основным материалом инструмента;
- величиной когезионной прочности самого материала покрытия;
- энергозатратами (затрачиваемой мощностью оборудования для нанесения покрытия);
- доступностью оборудования и необходимостью специальных средств технологического обеспечения;
- стоимостью процесса;
- дефицитностью исходных материалов;
- ремонтпригодностью, возможностью вторичного нанесения после переточки, простотой снятия предшествующего покрытия;
- экологическими аспектами.

За рубежом оборудование для *CVD* процессов выпускается, например, фирмами: *RICHTER PRECISION INC.* (США), *TICOATING, INC.* (США), *HITECH FURNACE SYSTEMS, INC.* (США), *RÜBIG & Co KG GmbH* (Германия), для процессов *PACVD* – *PLATEG GmbH* (Германия), *OC OERLIKON BALZERSAG* (Лихтенштейн), *IONBOND AG OLTEN* (Швейцария), *KOLZER* (Италия) и др.

Предложений по изготовлению и поставке белорусских и российских установок для нанесения покрытий на инструмент методом *CVD* в настоящий момент нет.

За рубежом оборудование для нанесения покрытий на режущий инструмент методами *PVD* выпускается, например, фирмами: *SULZER METAPLAS GmbH* (Германия), *VTD VAKUUMTECHNIK DRESDEN GmbH* (Германия), *PLATITAG* (Швейцария), *IONBOND AG OLTEN* (Швейцария), *HAUZER TECHNOCOATING* (Нидерланды), *OC OERLIKON BALZERS AG* (Лихтенштейн) и др. Данное оборудование предназначено для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на крупные партии различного металлообрабатывающего инструмента. Стоимость его составляет от 800 до 2000 тысяч евро.

В России для нанесения покрытий на режущий инструмент методами *PVD* разработано оборудование, которое выпускается, например, фирмами: *ОАО «СИБЭЛЕКТРОТЕРМ»*, *ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»*, *ОАО «ЦНИИТМАШ»*, *ООО НПФ «ЭЛАНПРАКТИК»*, *МГТУ «СТАНКИН»*, *ЗАО «ВАКУУМНОПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»* и др.

В Российской Федерации разработаны два новых метода безвакуумного нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на режу-

щий инструмент, а именно: высокочастотное плазменное напыление кремнийсодержащего покрытия и финишное плазменное упрочнение (ФПУ) путем нанесения покрытия на основе карбида, нитрида и оксида кремния. Сравнительные характеристики основных методов нанесения тонкопленочных износостойких покрытий для процессов CVD, PVD и ФПУ приведены в таблице 15.2.

Таблица 15.2 – Характеристики методов нанесения покрытий

Характеристика	Метод нанесения покрытия		
	CVD	PVD	ФПУ
1	2	3	4
Характер непрерывности режима осаждения покрытия	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Непрерывный
Рабочее деление при нанесении покрытия на инструмент	Атмосферное (для CVD) или вакуум (для PECVD)	Вакуум	Атмосферное
Температура инструмента при нанесении покрытия, °C	700-1100 (при CVD-процессах) 400-600 (при PECVD-процессах)	200-500	100-120
Зона поверхности инструмента, на которую наносится покрытие	Все поверхности инструмента, в том числе внутреннее с внешним доступом	При неподвижном инструменте – только зона, непосредственно обращенная к источнику ионов, при вращении – вся рабочая поверхность, кроме закрытых внутренних зон	Покрытие может быть нанесено на любые локальные зоны, в том числе и внутренние с внешним доступом
Максимальные габариты и форма обрабатываемого инструмента	Габариты ограничены размерами реакционных и вакуумных камер. Возможно нанесение на разнотипный инструмент	Габариты ограничены размерами вакуумных камер. Сложность нанесения покрытий на разнотипный инструмент, паяный инструмент, инструмент из разнородных материалов, сложно-профильный инструмент, на внутренние поверхности, протяженные и глухие полости, отверстия	Без ограничений
Исходный материал инструмента	Нельзя наносить покрытия на инструмент с низкой температурой отпуска (например, из стали У10, быстрорежущей стали при CVD-процессе)	Нельзя наносить покрытия на инструмент с низкой температурой отпуска (например, из стали У10)	Без ограничений
Предварительная подготовка инструмента	Многооперационная подготовка (обезжиривание, виброабразивная обработка, ультразвуковая мойка, промывка, сушка, обезвоживание)	Тщательная многооперационная подготовка (мойка, сушка, обезвоживание, подогрев)	Достаточным является обезжиривание и подогрев до 60-80°C)
Толщина наносимого покрытия, мкм	2-10 (покрытия увеличивают радиус скругления режущей кромки)	0.1-6 (покрытия толщиной 3-6 мкм увеличивают радиус скругления режущей кромки)	0.01-2
Состав наносимого покрытия	TiC, TiN, TiCN, Al ₂ O ₃	TiN, TiC, TiCN, TAIN, ZrN, HfN, CrN, Al ₂ O ₃	На основе карбида, нитрида и оксида кремния
Микротвердость наносимого покрытия, ГПа	20-24	21-35	52
Коэффициент трения	0.4-0.6	0.1-0.5	0.07-0.15
Температура окисления, °C	400-600	400-1100	1100

Окончание таблицы 15.2

Остаточные напряжения в поверхностном слое металла	Высокие растягивающие	Растягивающие	Сжимающие
Необходимость проведения термической обработки после нанесения покрытия	Требуется дополнительная термическая обработка для снятия остаточных напряжений	Не требуется	Не требуется
Расходные материалы	Дорогостоящие высокочистые химические материалы	Дорогостоящие катоды (мишени) вакуумного переплава	Доступные: аргон, жидкий технологический препарат Сетол (расход при односменной работе – 0.5 л/год)
Объем камеры, мм	Ø325x1250 (BemexBPX325S) Ø530x1250 (BemexBPX Pro 530L)	Ш – 400, Г – 380, В – 520 (PLATIT PL70); Ø400 – UNICOAT 600 («ЭЛАН ПРАКТИК»), Ø600, Н 600 (ННВ 6.6-И1)	Процесс осуществляется без применения камер
Максимальная загрузка, кг	По твердосплавным пластинам: – 200 кг (установка BemexBFX 325S) – 400 кг (установка Bemex BPX Pro 530L)	Осевой инструмент Ø10x70 - 162 шт. (установка PLATTT P170) Червячные фрезы Ø80x180 - 6 шт. (установка PLATTT PL70) Пластаны Ø20x6 - 1248 шт. (установка P1AJ P170) Осевой инструмент Ø20x60 108 шт. (установка UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПТШИК»)) Червячная фреза Ø80x80 - 32 шт. (установка UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПМШК»))	Не ограничивается
Типичное время цикла	3–5 ч	Для PLATIT PL70: Откачка + нагрев 50 мин, очистка + травление 10–20 мин, осаждение (2 мкм) – 1.5 ч, охлаждение (в He) – 20–30 мин. Для UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПРАКТИК»): откачка 25 мин, очистка 20 мин, осаждение (3 мкм) – 120 мин, охлаждение – 15 мин	От 3 с до 20 мин
Производительность	3–5 ч на загрузку	3.25 ч на 162 шт. Ø10x70 (PLATTTPL70) 6 ч на 6 шт. червячных (фрез Ø80x180 (PLATITPL70)) 3 ч на 1248 шт. пластин Ø20x6 (PLATTT PL70)	От 15 до 200 мм ² /с упрочняемой поверхности
Экологические проблемы	Токсичность используемых реагентов, взрывоопасность	Необходимость постоянной вытяжки, обеспечивающей отсутствие паров масла в рабочих помещениях и местной вытяжкой вентиляции, включаемой при открытии вакуумной камеры и выгрузке инструмента	Использование местной вытяжной вентиляции при профилактике плазмотрона и плазмохимического генератора
Потребляемая мощность установки, кВт	20–40	60 (ННВ 6.6-И1) 40 (Станкин АПП-950) 60 (Станкин АПП-1600) 15 (PLATTT PL70)	5

При новой технологии ФПУ упрочняющее нанопокрывтие толщиной 10...200 нм на основе карбида, нитрида и оксида кремния наносится без использования вакуума при атмосферном давлении из низкотемпературной плазмы электродугового плазмотрона с генератором плазмохимических реакций. Локальная плазменная струя, содержащая аргон, кремний, углерод, водород, азот и кислород с оптимальными параметрами перемещается вдоль обрабатываемой поверхности по заданной программе, обеспечивая формирование непосредственно на упрочняемой поверхности нанопокрывтия требуемой толщины. Отклонение толщины покрытия от заданной, как правило, не превышает 10 % и обеспечивается постоянством технологических параметров при автоматизированном поддержании заданных характеристик процесса и соблюдением параметров перемещения плазмотрона с плазмохимическим генератором относительно изделия. Принципиально данная технология относится к плазмохимическим процессам химического осаждения покрытий из газовой фазы. Если в традиционных PECVD-процессах в основном используются высокочастотные или дуговые плазменные разряды, горящие при низком давлении, то в процессе ФПУ применяется дуговой разряд при атмосферном давлении.

В отличие от общеизвестных и широко применяемых процессов CVD и PVD, новая технология обеспечивает нанесение нанопокрывтия без использования вакуума. Значительным преимуществом новой безвакуумной технологии плазменного нанесения упрочняющего нанопокрывтия является простота и минимальное время предварительной подготовки обрабатываемых поверхностей – только обезжиривание и подогрев до температуры 50–100 °С.

Условия формирования покрытия при безвакуумном плазменном нанесении нанопокрывтия характеризуются также повышенной адгезией нанопокрывтия к основе за счет активных хемосорбционных процессов. Это подтверждается проведенными исследованиями адгезионных свойств покрытия с использованием склерометрического метода.

15.3 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите материалы для покрытий режущих инструментов.
2. Назовите фирмы и индивидуальные марки тонкопленочных износостойких покрытий металлорежущих инструментов.
3. Каковы преимущества инструментов с покрытиями?
4. Опишите суть CVD-метода нанесения покрытий на инструменты.
5. Какие Вам известны разновидности метода CVD?

6. Изобразите принципиальную схему процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы на твердосплавные инструменты.

7. Какова причина повышенной хрупкости твердосплавного инструмента с покрытием CVD?

8. Назовите пути снижения хрупкости твердосплавного инструмента с покрытием CVD?

9. Опишите суть PVD-метода нанесения покрытий на инструменты.

10. Какие Вам известны способы нагрева для PVD-метода нанесения покрытий на инструменты?

11. Изобразите схему установки ионно-плазменного напыления.

12. Какими факторами обуславливается выбор метода нанесения покрытия (PVD или CVD)?

13. Перечислите известные Вам фирмы, выпускающие оборудование для CVD-процессов.

14. Перечислите известные Вам фирмы, выпускающие оборудование для PVD-процессов

15. В чем суть финишно-плазменного упрочнения поверхностей инструментов?

16. Проведите сравнительный анализ характеристик CVD-, PVD- и ФПУ-методов.

16 ОБЗОР И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И МИРОВЫХ ЛИДЕРОВ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕЗВИЙНОГО И АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

16.1 Обзор и краткая характеристика

Современными отечественными и мировыми лидерами в области производства лезвийного и абразивного инструмента являются:

Республика Беларусь (Минский инструментальный завод, Оршанский инструментальный завод);

Российская Федерация (Белгородский абразивный завод, Челябинский инструментальный завод, Днепровский завод специнструмента, Ижевский инструментальный завод, Иршавский абразивный завод, ИТО-Туламаш, Лужский абразивный завод, Московский инструментальный завод, Петербургский абразивный завод и др.);

Германия (CeramTec, DaksTools, Dummel, Emuge-Franken, F-Britsch, Guhring, HAHNREITER, Hobe GmbH, Hoffmann, ILIX, JohannesBoss, JD-Tools, KarnaschProfessionalTools, KONRAD FRIEDRICHS, Re-Bo REBER, REIME NORIS, Rohm, RUKO, SCHUNK, SPPW, STOCK, TBT Tiefbohrtechnik, Walter, Vogel, Volkel, Werkö, WIDIA, WNT, Wurth, Zecha);

Германия и Южная Корея (IBERCUT);

Великобритания (Renishaw);

Швейцария (ALESA, Denitool, REGO-FIX, SphinxTools, Swiss Tool, Stellram, Sylvac, TESA);

Испания (EUSKRON, CANELA, Helion Tools, Izar, KENDU, Kintek, Madaula);

Италия (CGM diamond tools, HTT, Silmax, Vergnano);

Швеция (MIRCONA, Sandvik Coromant, SECO);

Дания и Швеция (SmiCut);

Люксембург (Ceratizit);

Польша (Fanar);

Португалия (MEF.TOOLS);

Франция (Tivoly);

США (DataFlute, DorianTool, Drill Masters-Eldorado Tool, Gagemaker, IMCO, K-Tool, Kyocera, Mastercut Tool, Micro 100, Precision Cutting Tools, Robb Jack, Scientific Cutting Tools, SGS, Sterling Gun Drills, YG-1 Tool Co);

США, Великобритания (Carboloy, Cogsdill Tool, NTK Cutting Tools);

США и Канада (Kennametal);

Бразилия (Hanna Tools);

Израиль (Erojet, Iscar, VARGUS);

Турция (AKKO, Eroglu);

Китай (DIJET);

Южная Корея (KORLOY);

Тайвань (RBH);

Япония (Hitachi Tool, Kitagawa, Mitutoyo, NT TOOL, NSTOOL, Sumitomo, TANOI MFG).

Ниже приводится краткий обзор некоторых компаний.

Оршанский инструментальный завод введен в эксплуатацию в 1974 по государственному заданию правительства СССР как специализированное предприятие по обеспечению металлообрабатывающим инструментом и станочной оснасткой предприятий всего Советского Союза (рис. 16.1).

В настоящее время завод – один из развитых производителей в Республике Беларусь вспомогательного, зажимного и металлорежущего инструмента для металлообрабатывающих станков. Свыше 400 специалистов и рабочих трудятся на площади около 55 000 квадратных метров территории, занятой под производственные корпуса и служебные помещения. Номенклатурный ряд производимого заводом инструмента насчитывает свыше 3 тысяч наименований и типоразмеров. Сотни промышленных предприятий отраслей станкостроения и машиностроения, автомобильного и железнодорожного транспорта, энергетического и агропромышленного комплекса в Беларуси, Российской Федерации и других странах являются постоянными потребителями продукции завода.



Рисунок 16.1 – Главный офис Оршанского инструментального завода

Парк станков завода насчитывает свыше тысячи единиц металлообрабатывающих станков с ЧПУ и обрабатывающих центров токарной, фрезерной, сверлильной, расточной и шлифовальной групп. Производство оснащено термическим оборудованием для закалки инструментов

из быстрорежущей и конструкционной сталей, оборудованием для процесса цементации, гальваническим оборудованием.

В настоящее время заводом выпускается 22 наименования изделий, имеющих сертификаты соответствия Республики Беларусь. Органом по сертификации промышленной продукции выданы сертификаты на следующие виды продукции: втулки переходные, оправки для фрез, оправки расточные универсальные, патрон расточный, патрон резьбо-нарезной и головка предохранительная, патрон цанговый, патрон сверлильный, центры упорные, центры станочные вращающиеся, полуцентры упорные, сверла спиральные с коническим хвостовиком, сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком, метчики машинные и ручные, метчики гаечные, резцы токарные сборные с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин [303–304].

ОАО «Белгородский абразивный завод» – один из ведущих в России производителей абразивного инструмента различного назначения. Вместе с «Лужским абразивным заводом» «Белгородский абразивный завод» занимают порядка 65 % российского рынка абразивного инструмента.

Предприятие было основано в 1964 году. Основным видом деятельности являлось опытное производство по освоению выпуска шлифовальной шкурки на синтетических связующих.

В состав промышленной базы ОАО «Белгородский абразивный завод» входят: производство шлифовальной шкурки; производство сегментных и бесконечных шлифовальных лент; производство торцевых и лепестковых кругов; производство шлифовальных дисков на основе шлифовальной шкурки; производство полировальных и фетровых войлочных дисков; производство листов самозакрепляющихся и дельт на основе шлифовальной шкурки [306].

Московский инструментальный завод («МИЗ») был организован в 1919 году и был первым специализированным инструментальным заводом в России. В настоящее время Московский инструментальный завод (рис. 16.2) является современным высокооснащенным предприятием по выпуску прецизионного инструмента классов А, АА и ААА. Более 80 % инструмента сертифицировано по Российским стандартам. Освоено производство инструмента по международным стандартам ANSI (США), DIN (Германия), британским и японским стандартам. Продукция «МИЗ» хорошо известна в США, Германии, Италии, Турции, Южной Корее, Израиле и других странах [305].

В технологическом процессе практически все финишные операции выполняются на высокоточном оборудовании таких всемирно известных фирм, как Клингельнберг, Вендт (Германия), Рейсхауер (Швейцария) и др. Широко применяются станки с ЧПУ. Завод обладает современным комплексом измерительной техники, позволяющей поддерживать высокий уровень качества выпускаемой продукции.



Рисунок 16.2 – Центральный офис МИЗ

Основной продукцией предприятия являются: зуборезный инструмент (фрезы червячные, долбяки зуборезные, шеверы дисковые); измерительные колеса; резьбообразующий инструмент (головки, ролики и сегменты резбонакатные, гребенки резбонарезные); резбонарезной твердосплавный инструмент для обработки труб и муфт нефтяного сортамента.

ООО «ИТО-Туламаш» – это производитель металлорежущего инструмента и полного комплекса технологической оснастки для применения в машиностроительной отрасли, являющийся дочерним предприятием Производственного Объединения ТУЛАМАШЗАВОД. Предприятие широко известно в России, СНГ и странах дальнего зарубежья. Вся продукция концерна реализуется ЗАО ТД «ИТО-Туламаш» (рис. 16.3).

Завод «ИТО-Туламаш» осуществляет производство измерительного и режущего инструмента общемашиностроительного и специального назначения, вспомогательного инструмента и оснастки, различных приспособлений. Также компания занимается производством прессформ с использованием высокопроизводительных станков ROBOFIL и ROBOFORM.

Вся продукция изготавливается из высококачественных современных материалов. На изделия наносятся износостойкие покрытия, такие, как нитрид титана (TiN), что в несколько раз увеличивает характеристики стойкости инструмента. Изготовление осуществляется в стандартном виде и по индивидуальным чертежам заказчика.

Инструмент, производимый ООО «ИТО-Туламаш»: сверла; метчики и плашки; фрезы (концевые, отрезные (шлицевые) прорезные, шпоночные, концевые удлиненные и длинные); полотна ножовочные; измерительный инструмент (штангенциркули, рулетки, линейки, микрометры, индикаторные скобы, угольники, стойки, призмы и проверочные плиты, уровни, глубиномеры, толщиномеры, средства для измере-

ния углов, штативы, измерительные щупы, рейсы, зубомеры, проволочки для измерения резьбы); вспомогательный инструмент и инструментальные наборы [308].

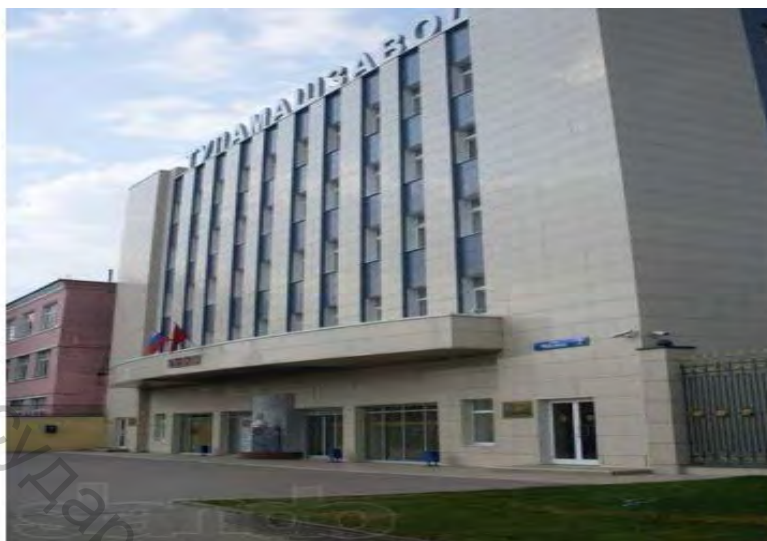


Рисунок 16.3 – Офис Туламаш

Немецкая компания *CeramTec* известна своей уникальной программой по производству инструмента из таких материалов, как керамика и кубический нитрид бора (CBN). Металлокерамика широко используется компанией для изготовления широкого спектра режущего инструмента для токарной обработки, отрезки и обработки канавок, фрезерования и растачивания [309].

Основной режущий инструмент *CeramTec* на рынке представлен под фирменным брендом SPK® и предназначен для высокопроизводительной обработки различных материалов. Программу поставок также дополняют керамические режущие материалы повышенной прочности и отличительной износостойкости, металлокерамические пластины (Cermets).

Производитель *CeramTec GmbH* использует металлокерамику (SC), керамику на основе нитрида кремния (SL) и поликристаллического кубического нитрида бора (WURBON®/WBN), которые позволяют получить высокоэффективные режущие сплавы, сменные пластины с инновационной геометрией и керамические режущие материалы и инструменты с гарантией повышенной износостойкости, особой твердости и прочности.

Выпускаемая продукция: пластины; фрезерный инструмент; токарный инструмент; инструмент для обработки канавок; инструмент для черновой и чистовой расточки; инструмент для обработки валов. Также в ассортименте продукции представлены металлокерамические

сплавы (оксидная керамика, CBN и др.) и керамические режущие материалы.

Датой основания компании **Dümmel** (Paul Dümmel GmbH), специализирующейся на производстве металлорежущего инструмента, является 1928 год.

Проектирование и производство высококачественного цельнотвердосплавного режущего инструмента для таких видов обработки металла, как точение и фрезерование, стало приоритетом компании на более чем 60 лет. *Dümmel* на данный момент является одним из ведущих производителей твердосплавного инструмента в своем промышленном сегменте, отличающемся быстрым ростом (рис. 16.4) [311].



Рисунок 16.4 – Офис компании Dümmel

Благодаря профессиональному подходу, компания выстраивает долгосрочные отношения и является надежным партнером для своих клиентов. Инструмент *Dümmel* предоставляет возможность оптимизировать процесс производства и повысить продуктивность.

Выпускаемая продукция: токарный инструмент (пластины, державки, инструмент для обработки мельчайших отверстий, системы инструмента для внутреннего точения); инструмент для растачивания; премиум инструмент для обработки материалов высокой твердости; сменные твердосплавные пластины; инструмент для отрезки и обработки канавок; фрезерный инструмент.

Компания **F-Britsch** была основана в 1976 Фридрихом Бричем как торговая компания для обеспечения мастерских токарным инструментом. Сегодня *F-Britsch* – активно развивающаяся современная компания, надежный поставщик и партнер множества организаций в плане поставок токарного инструмента как в Германии, так и по всему миру.

Инструмент *F-Britsch* отличается качеством: весь ассортимент включает в себя продукцию от известных производителей Германии или же Швейцарии.

Компания выпускает: инструмент для станков с ЧПУ, устройства подачи прутка, пластины ISO, плавающие патроны, различный твердосплавный режущий инструмент с покрытием TiN или TiAlN, формовый инструмент и инструмент для накатки, цанги, направляющие и закрепительные втулки, держатели, расточные оправки, системы охлаждения – все это есть на виртуальном складе компании [312].

Фирма **GÜHRING** (рис. 16.5) является ведущим мировым производителем инструмента для сверления, нарезания резьбы, фрезерования, зенкования, развертывания, а также инструментальных систем для комплексной обработки. 6000 сотрудников во всем мире занимаются разработкой, изготовлением и продажами [313].



Рисунок 16.5 – На одной из производственных площадок фирмы

Собственное производство твердых сплавов поставляет оптимальный режущий материал, собственное машиностроение разрабатывает и производит специальные станки и установки для изготовления высокотехнологичного прецизионного инструмента, а отдел покрытий готов предложить более 15 видов износостойких покрытий под любые задачи. На данный момент мы имеем 1850 видов инструмента более 45000 типоразмеров. Дивизион «Сервисное обслуживание» предлагает сервис вплоть до инструментального менеджмента.

Guhring на международном уровне располагает 28 производственными площадками, 47 сервисными центрами, 46 национальными компаниями и бесчисленными партнёрами в области продаж.

В 1974 году была основана немецкая компания **HAHNREITER PRAZISION**, благодаря слиянию с другим производством под названием Ernst Birgden **HAHNREITER Präzisionswerkzeuge** (рис. 16.6).

Производитель инструмента HAHNREITER имеет в своем распоряжении штат размером около пятидесяти человек. Команда предлагает отличный сервис, учитывая предпочтения клиентов. У компании есть как свой внутренний персонал в Германии, так и внешний, который всегда готов прийти на помощь. Благодаря высокому качеству обслуживания и продукции производителю удалось зарекомендовать себя во всем мире.

Стандартный и специальный инструмент HAHNREITER изготавливается на современном автоматизированном производстве и насчитывает более 8000 наименований.

Инструмент, производимый компанией HAHNREITER: стандартные и специальные метчики; стандартные и специальные плашки; резьбовые калибры; инструмент для растачивания; дисковые пилы [315].



Рисунок 16.6 – Завод HAHNREITER

Компания **Hobe GmbH** (Hobe Tools), основанная в 1971 году в Германии, занимается производством инструмента для обработки металлов и пластика. Основное направление деятельности – изготовление режущего инструмента для машинной обработки металлов, при этом формирование инструментов и компоненты для измерительных систем также входят в программу поставок (рис. 16.7) [316].

Первая запатентованная продукция компании была представлена в 1997 году на выставке ЕМО в Ганновере. Основным инструментом Нобе представлен решениями для изготовления отверстий малых диаметров (от 0.33 до 8 мм). Для этого сотрудники компании проектируют, разрабатывают и запускают в производство сверла, токарные резцы, фрезы, канавочный инструмент и инструмент для производства пресс-форм и

штампов. В качестве сырья для производства инструмента используются качественные твердые сплавы.



Рисунок 16.7 – Офис и производственный цех компании Hobe

Крупнейший производитель и известная торговая **компания Hoffmann Group** (ЗАО «Хоффманн Профессиональный Инструмент») является частью холдинга *Hoffmann*, основанного в 1919 году в Мюнхене, где сейчас расположен центральный офис.

Изначально поставляя оборудование для сварки, компания впоследствии получила стремительное развитие и занялась производством и развитием собственных марок, а также стала представителем и дистрибьютором инструмента от лица многих ведущих мировых компаний, общая численность которых превышает 500 производителей. Благодаря *Hoffmann Group* можно купить инструмент *Hoffmann*, который представляет собственные марки Garant и Horex, а также продукты других брендов, например, Bosch.

Инструмент *Hoffmann* распространяется через 15 дочерних филиалов компании и розничных представительств, находящихся не только в Германии, но и в Италии, Испании, Австрии и многих других регионах.

По всему миру в компании работает: более 3000 сотрудников, 69 представительств более чем в 50 странах, 44 подразделения в Европе (из них 10 – в Германии), более 1400 технических консультантов. Клиенты *Hoffmann Group* – такие компании, как American Standard, Audi, Bosch, Braun, Gillette, Liebherr, Porsche, Siemens, VW.

Инструмент Хоффман, насчитывающий в своей истории уже почти сотню лет, – это более 55000 наименований.

Инструмент компании *Hoffmann Group*: сверла, резьбообразующий инструмент, зенковки, развертки, машинные полотна, дисковые и

ленточные пилы, фрезерный инструмент, метчики, плашки; фрезы, обработка отверстий, инструмент для точения, накатный инструмент; патроны, оправки, тиски, зажимы; абразивные материалы, инструмент для шлифования, слесарные напильники [317].

Немецкая корпорация **ILIX Precision GmbH** появилась во Франкфурте-на-Майне 1 июля 1895 года – ее основателями стали Людвиг Гюнтер и Кристиан Эберхадт. На тот момент производитель инструмента был известен как «Гюнтер и Эберхадт». Позднее, спустя два года, на смену Кристиану Эберхадту на должность партнера пришел Гюстав Клеймонд, что повлекло за собой смену названия компании на **Frankfurter Präzisions-Werkzeuge-Fabrik Günther & Kleinmond**. Основным направлением деятельности компании стало производство концевых фрез, широкого спектра метчиков и разверток, а также спиральных сверл и сверл из актуальной на тот момент литой стали, выпускаемой под маркой **ILICO**.

В 1918 году, в связи с появлением новых возможностей, включающих высокоскоростную переплавку стали, была запущена линейка, представляющая инструмент **ILIX**. В результате выпуск новой серии послужил поводом для очередного изменения названия компании, ставшего окончательным – **ILIX Präzisionswerkzeuge GmbH**.

Благодаря своему многолетнему опыту производства высокоточных режущих инструментов компания может предложить широкий ассортимент продукции высокого качества. Точный режущий инструмент предназначен для различных целей – от выполнения резьбы спиральными сверлами сухой обработки до осуществления развертки со стократным увеличением.

Центральный европейский склад компании позволяет осуществлять продажу гарантированно широкого круга товаров по доступным ценам и организовывать оперативные поставки инструмента в большую часть стран мира [318–319].

Немецкая компания **JD-Tools** более 40 лет производит режущий инструмент, представленный широким кругом различных продуктов высокого качества. В ассортимент включен токарный, фрезерный, резьбонарезной, цельнотвердосплавный инструмент, решения для отрезки и обработки канавок, инструмент для сверления, а также концевые фрезы **HDS** [320].

Обширная программа отличается многообразием продуктов, подходящих для любых отраслей применения и операций машинной обработки. Инновационный инструмент **JD-Tools** выполнен с учетом современных технологий, в соответствии с последними разработками компании, которая на сегодняшний день выступает в качестве надежного партнера для решения всех задач промышленности.

Основной ориентир производителя *JD-Tools* – это поиск идеального предложения и подбор индивидуального инструмента для каждого клиента.

Компания ***Karnasch Professional Tool***, основанная в 1961 году и изначально называвшаяся *Dietrich Karnasch Sägen and Schneidwerkzeuge GmbH*, свыше 50 лет представляет широкий спектр разнообразного инновационного режущего инструмента, включая профессиональный, во многих странах (более 50).

Производитель инструмента *Karnasch Professional Tools* часто выступает первопроходцем в плане разработки новых продуктов и представления новых технологий, а также является лидером в нескольких сферах (например, технологий производства высокопроизводительного инструмента – микроинструмента; зенкеров, циркулярных пил, дисковых ножей, инструмента для стоматологической отрасли).

Инструмент *Karnasch* отличается превосходными показателями производительности и используется клиентами по всему миру во всех отраслях промышленности.

Резьбонарезной инструмент NORIS от компании ***REIME NORIS*** – это гарантия качественной обработки. На протяжении практически 100 лет своей истории компания стремилась учитывать любые пожелания клиентов, внедряя актуальные инновационные решения для сложных запросов.

Производство прецизионного инструмента для нарезания резьбы стартовало 19 сентября 1915 года. Первейшие разработки в скором времени получили глобальный успех и стали выходить под торговой маркой NORIS. В 1936 году на Leipzig Fair были представлены безканавочные метчики – NORIS-INNENSPAN и NORIS-STABIL, а некоторое время спустя вышли метчики NORIS-SPANLOS. Эти продукты до сих пор составляют основную часть производственной программы компании.

Еще одна веха в истории продукции – разработка метчика NORIS-TOP-SPEED (инструмент подходит для скоростей резания до 100 м/мин) и метчика NORIS-SALO-REX UNI (первый метчик для изготовления глухих отверстий во многих материалах с одинаково хорошим результатом).

Компания также продемонстрировала продукты для популярной отрасли резьбофрезерования. Универсальная цельная твердосплавная резьбофреза NORIS UNiVersal предназначена для изготовления отверстия в отливке, развертывания и зенкования и нарезания резьбы в материалах с длинной и короткой стружкой – и все за одну операцию.

Выпускаемая продукция: метчики; резьбовые фрезы; плашки; резьбовые калибры; метчикодержатели; аксессуары [323].

Компания ***RÖHM***, на данный момент являющаяся признанным лидером мирового рынка в области производства и поставок зажимов и

патронов для металлообрабатывающей промышленности, была основана в 1909 году в Целла-Мелисе, область Тюрингия (Германия). Сразу же был налажен выпуск двухкулачковых сверлильных патронов, а в следующем году был получен первый патент. С каждым годом инструмент Rohm получал улучшения, завоевывая новые позиции на рынке, и уже в 2011 году компания была названа глобальным игроком на поле технологий и производства зажимного инструмента.

Сейчас в компании трудится приблизительно 1500 сотрудников, задействованных в процессе изготовления инструмента неизменного качества. Благодаря их опыту и стараниям, зажимы и патроны *Rohm* идеальны и представлены в широком ассортименте – от самого миниатюрного сверлильного патрона до высокотехнологичной механизированной системы зажимов.

Инструмент *Rohm* распространяется с помощью более чем 60 филиалов и агентов. Программа компании включает множество наименований сверлильных, механизированных патронов и тисков, валиков, центров и прочих устройств для зажима – как стандартных, так и созданных по специальному проекту [324].

Производитель металлорежущего инструмента ***RUKO GmbH*** – это компания, в настоящее время расположенная в г. Хольцгерлинген (под Штутгартом) (рис. 16.8). Образованная в 1974 году в городе Бёблинген как RUKO OHG, фирма впоследствии была преобразована в RUKO GmbH Прецизионный инструмент (в 1980 году).

Режущий инструмент ***RUKO*** отличается высоким качеством. При производстве продукции компания применяет полностью автоматизированные центры с ЧПУ, благодаря чему, с помощью технологии заточки CBN (кубический нитрид бора), обеспечивается наивысшая точность.

Основное направление деятельности – это производство сверл по металлу и зенкерного инструмента [325].



Рисунок 16.8 – Компания RUKO

Немецкая семейная компания **SCHUNK** предлагает самый большой ассортимент стандартных кулачков, зажимного оборудования и стандартных захватов.

Компания была основана 70 лет назад Фридрихом Шунком как мастерская, и под руководством его сына, Хайнц-Дитер Шунка, достигла компетенции и заняла позицию мирового лидера в области зажимных технологий и систем захвата. Сегодня компанией руководит третье поколение семьи: Хенрик А. Шунк и Кристина И. Шунк. Около 2300 сотрудников, слаженная работа представительств и дистрибьюторов в более чем 50 странах мира обеспечивают активную позицию на рынке.

База клиентов компании включает в себя такие известные бренды: Airbus, Bosch, DMG, Heidelberger Druck, Rolex, Schaeffler и т.д. [327].

Торговая компания **SPPW** (*Spanabhebende PräzisionsWerkzeuge GmbH*), расположившаяся в центре Германии в городе Лих, в течение полусотни лет специализируется на реализации обширной программы поставок режущего инструмента высочайшего уровня для работы с легкими и тугоплавкими сплавами, редкими металлами, автоматной сталью и пластиком.

Компания **Spanabhebende GmbH**, основанная в 1963 году, является успешным примером семейного бизнеса. На протяжении всего срока существования фирмы сборный каталог инструмента, составленный **SPPW**, неустанно обновлялся и оптимизировался, благодаря чему на сегодняшний день представлен богатый ассортимент позиций.

Изделия предназначены для всех основных направлений металлообработки – в списке продукции, составленном компанией, есть инструмент для сверления, фрезерования, развертывания, нарезания резьбы, бурения, центрования, зенкования, растачивания, а также представлены специальные системы инструмента. Отличительной чертой ассортимента продукции **SPPW** является инновационный высокотехнологичный инструмент, разработанный специально для проведения микронной и субмикронной обработки.

Помимо осуществления продаж по стандартной программе поставок, насчитывающей свыше 30000 наименований, компания также выполняет заказы на подбор специального инструмента по запросу – заявка выполняется в соответствии с пожеланиями заказчика [328].

Немецкая компания **Stock** производит твердосплавный инструмент, подходящий для решения как стандартных задач производства, так и непредвиденных ситуаций, нередко возникающих во время металлообработки. Серии инструмента включают множество позиций резьбонарезного, сверлильного, фрезерного инструмента, а также разверток.

Металлорежущий инструмент **Stock** изготавливается из кобальтовой быстрорежущей стали (HSS, HSS-E, HSS-Co, M42, HSS-E-PM) или из твердого сплава и отличается внутренней подачей СОЖ и применением прогрессивных покрытий. Компания производит уникальную про-

дукцию, идеально подходящую для применения на обрабатывающих центрах с ЧПУ и сверлильно-фрезерных станках.

Прецизионный режущий инструмент позволяет снизить силу трения при работе и отличается повышенной износостойкостью благодаря обработке поверхности инструмента паром, которую проводит компания в процессе изготовления изделия. Отличительной чертой продукции также является специальное покрытие высокой прочности FIRE (TiAlNTiN по методу PVD), TiN, которое максимально увеличивает срок службы изделий [329].

Компания **TBT Tiefbohrtechnik** – производитель инструмента, станков и решений, позволяющих справиться с любыми операциями глубокого сверления. Компания представляет собой семейное предприятие, входящее в международную группу Nagel. Основана в 1966 году в Деттингене-на-Эрмсе (рис. 16.9).

С самого начала специализацией TBT являются технологии глубокого сверления, поэтому в приоритете стоит цель комплексного предложения станков, инструментов и услуг из одного источника [330].

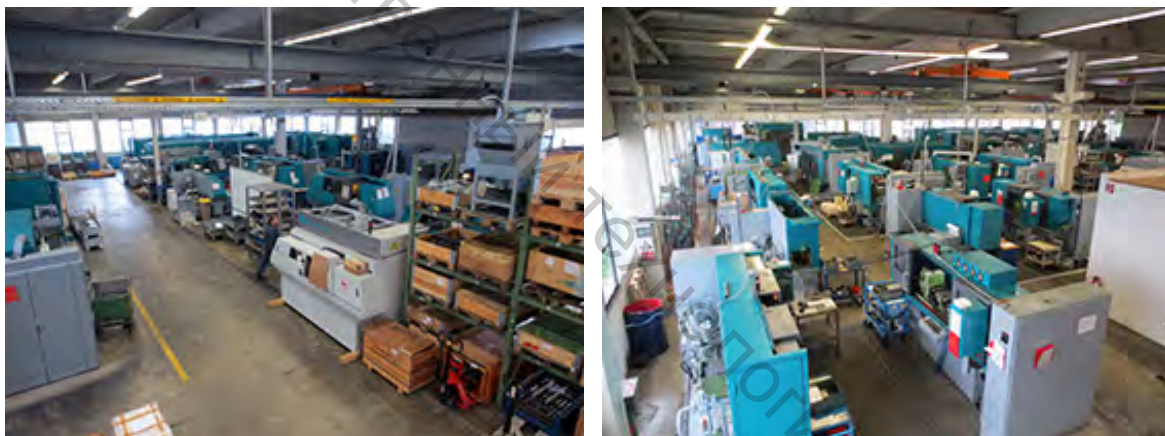


Рисунок 16.9 – В производственных цехах компании TBT Tiefbohrtechnik

Инструмент, производимый компанией TBT Tiefbohrtechnik: однолезвийные сверла; ружейные сверла; одноперые сверла со сменными пластинами; двухлезвийные сверла; быстрорежущий инструмент; специальные инструменты.

Компания **WNT** – это динамичное предприятие из Германии, разработчик и поставщик режущего инструмента для отрасли машиностроения. В программе компании есть как традиционные решения, так и специальные: представлены все варианты для токарной и фрезерной обработки, сверления, чистового растачивания, отрезки и обработки пазов, фиксации инструмента.

Компания стремится к росту и постоянно работает над расширением границ своей сети продаж, не забывая при этом о должном каче-

стве продукции. В программу продукции компании включено 45000 наименований металлорежущего инструмента высокого качества.

WNT соблюдает все законы, следуя установленным правилам организации производственного процесса и выполняя все требования к качеству. Система менеджмента компании сертифицирована по стандартам DIN EN ISO 9001:2000 [331].

Компания **Wurth** Group, производитель высококачественного инструмента, была основана Адольфом Вюртом (Adolf Würth) в 1945 году. Немецкий концерн Adolf Würth GmbH & Co. KG – это семейный бизнес семьи Вюрт, на данный момент возглавляемый Райнхольдом (Reinhold), сыном основателя компании.

Компания **Wurth** занимается производством и поставкой металлорежущего инструмента, оперативно решающего любые задачи в области металлообработки и считается одним из лучших предприятий в области производства и поставок режущего инструмента в более чем 400 представительствах, расположенных в 80 странах. Сейчас компанию можно назвать лидером рынка, насчитывающим более 64 тысяч сотрудников, примерно 30 тысяч из которых являются торговыми представителями.

Инструмент, производимый компанией **Wurth**: метчики и плашки; сверла для металла, сверла для опалубки, сверла для камня, сверла кольцевые, зубила, резцы; фрезерный инструмент и борфрезы; зенковки; пильные полотна; инструмент для шлифовки и полировки; развертки; отрезные диски; штамповочный инструмент [332].

Компания **VÖLKE** выпускает промышленный резьбонарезной инструмент, представленный широким рядом моделей со стандартной резьбой, а само производство происходит с использованием CNC-станков (рис. 16.10).

В настоящее время **VÖLKE** экспортирует инструмент примерно в 70 разных стран, расположенных на территории Европы, Азии, Австралии, Африки, а также Америки (Северной, Центральной и Южной). Экспортная квота составляет около 70 %. Концепция международного производства под собственным контролем реализуется с 1991 года. Дочерние компании и предприятия-партнеры в Европе и Азии производят инструмент на машинах **Volkel** в соответствии со стандартами качества и с учетом существующей специфики металлообработки.

Все процессы, связанные с реализацией инструмента **VÖLKE**, проходят исключительно под управлением центрального подразделения компании, расположенного в Ремшайде и являющегося базой-складом. За счет этого гарантируются подлинность товара и исключительное качество как самого изделия, так и процесса организации каждой отдельной поставки. В наличии на складе производителя находится более 7000 наименований резьбонарезного инструмента разных форм и размеров, вся продукция соответствует международным стандартам резьбы. В 1996 появился новый режущий инструмент **Volkel**, соответствующий

японским стандартам сертификации – продажи данных изделий осуществляются до сих пор [333].



Рисунок 16.10 – Головной офис компании VÖLKELE

Компания **Walter** была основана в 1919 Рихардом Вальтером в Дюссельдорфе (название *Metallurgische Gesellschaft Richard Walter und Co.*) В то время он занимался в основном спечёнными твёрдыми сплавами и новыми металлургическими технологиями. В 1925 г. компания переехала в город Тюбинген, где осуществлен запуск производства корпусов инструментов для обработки отверстий и фрезерования с напайными твердосплавными пластинами.

В настоящее время компания **WALTER** представляет собой уникальную в своем роде организацию, прославившуюся высоким качеством выпускаемой продукции в области режущего инструмента.

Благодаря широкому ассортименту стандартной (более 45 000 наименований) и специальной продукции для точения, фрезерования, обработки отверстий и резьбонарезания компания **WALTER** является комплексным поставщиком для металлообрабатывающих предприятий.

WALTER объединяет пять торговых марок профессиональных инструментов и сервисов: **WALTER**, **WALTER TITEX**, **WALTER PROTOTYP** и **WALTER MULTIPLY**.

WALTER – токарная обработка, фрезерование и обработка отверстий инструментами с твёрдосплавными пластинами и пластинами с PCD. Торговые марки: Tiger·tec®, Xtra·tec®, Walter BLAXX.

WALTER TITEX – обработка отверстий твёрдосплавными и быстрорежущими инструментами. Торговые марки: X·treme, XD.

WALTER PROTOTYP – резьбонарезание и фрезерование твёрдосплавными и быстрорежущими инструментами. Торговые марки: Protostar®, Paradur®, Eco Plus.

WALTER MULTIPLY – специализированные решения для производства, логистики, программного обеспечения и обучения в целях по-

вышения эффективности производства. Торговые марки: Walter Tool-ID, Walter®GPS.

Слоганом компании *WALTER* является *Engineering Kompetenz*. Он включает в себя немецкое качество продукции, высокий профессионализм и компетентный подход при решении задач различной сложности. Немаловажным направлением деятельности компании служат инновационные разработки.

Центральный офис компании *WALTER AG* находится в г. Тюбинген (Германия). Там же находится технологический центр (рис. 16.11) [334].



Рисунок 16.11 – Технологический центр
WALTER AG в г. Тюбинген

Производитель инструмента *WERKÖ GMBH*, история которого насчитывает более 75 лет опыта, находится в Германии – это ведущий поставщик изделий для точной металлообработки и компетентный поставщик сверл, метчиков, зенкеров и разверток по всей Европе. Инструмент *Werkö* представлен широким рядом высокоточных шлифовальных инструментов из твердых материалов и кобальто-порошкового сплава (HSS).

Werkö является международной современной независимой компанией внутри концерна TDC и имеет свое собственное размещение производства и сбыта во всем мире (в Китае, США, Мексике и Бразилии) [336].

Концерн *WIDIA Products Group* объединяет в себе несколько марок, включая бренд *Hanita*. Металлорежущий инструмент общего и специального назначения – фрезерный, токарный, сверлильный инструмент *Widia* – представлен в огромном ассортименте и реализуется при поддержке сети квалифицированных дистрибьюторов. *Widia* предоставляет продукты и услуги более чем в 40 странах, что позволяет компании но-

силь звание одного из ведущих производителей инструментов во всем мире. Пластины Hanita широко распространены наравне с другими изделиями компании, они используются в аэрокосмической и автомобильной промышленности, медицинской сфере, тяжелом и общем машиностроении.

Любая из торговых марок продукции, реализуемой группой компаний *Widia Group*, расположенной в Германии, – это в первую очередь максимальная производительность и гарантированно длительный срок службы товаров. Поднявшись до уровня многих других лидеров, занимающихся производством режущего инструмента, концерн до сих пор не теряет позиций и предлагает полный спектр высокоточных инженерных изделий.

Выпускаемая продукция: токарный инструмент (твердосплавные пластины, алюминиевые пластины, керамические пластины, пластины из стм, инструмент для обработки отверстий, резьбонарезной инструмент); фрезерный инструмент (фрезы со сменными режущими пластинами, твердосплавные концевые фрезы, фрезы HSS-е, торцовые фрезы, копировальные фрезы, отрезка и обработка канавок); инструмент для обработки канавок; расточной инструмент; сверлильный инструмент; инструментальная оснастка [338].

Компания **Zecha** была основана 1 апреля 1964 года г-ном Эрвином Захой в его собственном доме. Сначала он сосредоточился на производстве специальных твердосплавных инструментов для резки и штамповки.

На сегодняшний день режущий инструмент *Zecha* – это результат высокотехнологичных разработок, проводимых специальным отделом проектирования (рис. 16.12).

Производитель инструмента использует современные твердые сплавы с однородной структурой, образцовой твердостью и повышенной стойкостью, которые гарантируют продление срока эксплуатации выпускаемой продукции.

Инструмент, производимый компанией *Zecha*: сверла с внутренней СОЖ, конические зенковки, центровочные сверла, сверла NC, буровые сверла, спиральные сверла; концевые фрезы, конические резьбофрезы, сферические фрезы, концевые фрезы с радиусом скругления угла, концевые однозубые фрезы; развертки; пилы; специальный инструмент [339].

Инструмент **IBERCUT** – это результат работы специалистов в области металлообработки. Под этим брендом собраны инструменты лучшего качества, высочайшей производительности и конкурентные по цене. Инструмент производится на заводах Германии и Южной Кореи.

Компания специализируется на инструменте из высокотехнологичных и производительных материалов, таких как поликристаллический алмаз (PCD, PKD), кубический нитрид бора (CBN или Эльбор), ке-

рамика (в том числе с покрытием, керамика с Whisker), белая керамика, инструмент из SiAlON, Silicon-Nitride (Si_3N_4). Также в программе присутствует нестандартный инструмент из твердого сплава [340].



Рисунок 16.12 – В производственном цеху компании Zecha

Производитель инструмента **Renishaw** – один из лидирующих представителей инжиниринговых компаний, использующих современные научные разработки. Практический опыт позволяет компании успешно изготавливать высокоточный инструмент для точных измерений.

Renishaw занимается поставкой продукции и услуг, востребованных во многих отраслях: от производства реактивных и ветряных двигателей до стоматологии и хирургии головного мозга. Это мировой лидер в сфере аддитивного производства (3D-печати образцов из металлов), который является единственным представителем на рынке Великобритании по проектированию и изготовлению промышленного оборудования для «печати» деталей из металлических порошков.

Renishaw Group в настоящее время включает более 70 офисов в 35 странах. Большая часть научно-исследовательских работ и проектно-конструкторских разработок проводится в офисе в Великобритании.

Измерительный инструмент *Renishaw* позволяет производителям повысить объем выпускаемой продукции, при этом уменьшив время, затрачиваемое на изготовление и контроль компонентов. Продукция компании также выгодна для промышленной автоматизации и кинематических систем: системы *Renishaw* для измерений и определения координат

помогают производителям изготавливать надежную продукцию с высокой точностью.

Выпускаемая продукция: щупы СММ, программное обеспечение и прецизионные измерительные датчики; система калибров; система зажимных приспособлений; системы для калибровки станков; щупы для металлорежущих станков [341–342].

Компания **ALESA** уже давно работает на рынке режущего инструмента. Первые партии инструмента для розничной продажи начали производиться в 1934 году, а в 1946 году компания представила международный бренд высококачественного инструмента ALESA GOLD. В 1958 году производитель инструмента выпустил головки ножей со сменными лезвиями из быстрорежущей стали и из твердого сплава. На базе этого инструмента была создана современная технология сменной режущей пластины. В 1980 году компания изобрела и представила современную вакуумную технику упрочнения быстрорежущей стали (HSS). Также именно ALESA является изобретателем самой первой сменной пластины из HSS-ES с покрытием TiN с сильно позитивной геометрией.

Производство пластины ALESA TWIST стартовало в середине 90-х годов. В дальнейшем стали выпускаться цельнотвердосплавные дисковые пилы, торцово-цилиндрические концевые фрезы и системы Nutex/Nutex Plus.

В 2006 году к управлению пришло уже четвертое поколение семьи владельцев. Производитель ALESA гордится, что является одним из самых сильных и независимых семейных производств во всей отрасли и имеет профессиональный, хорошо обученный персонал на производстве в Швейцарии.

Предприятие сотрудничает с более чем 60 компаниями-партнерами по всему миру, чтобы всегда иметь возможность поставлять высококачественный инструмент ALESA на мировой рынок, а также обеспечивать техническую поддержку первого класса.

Выпускаемая продукция: инструмент со сменными пластинами для фрезерования, точения, отрезки и обработки канавок, строгания и формовки; дисковые фрезы и циркулярные дисковые пилы (стандарты DIN и ISO); специальный инструмент, исполняемый на заказ [343].

Производитель инструмента **Denitool**, известный своей инновационной, качественной и высокопроизводительной продукцией, существует на рынке более 40 лет.

В 1970 году в Шпрайтенбахе (Швейцария) Гербертом Дени была основана компания HERBERT DENI. В 1977 году была сформировано предприятие H. Deni AG в коммуне Рудольфштеттен-Фридлисберг (Швейцария). Уже в 2000 году произошел ребрендинг, и появилось название Denitool. В 2001 году произошло перемещение производства в коммуну Фельтхайм (Швейцария), а в 2005 была создана компания в

Мурфрисборо (штат Теннесси, США), известная как DENITOOL INC. В 2011 году DENITOOL INC. переезжает в Роли (Северная Каролина). С этого момента начинается активный рост и развитие, укрепляющие позицию компании в США. Denitool Inc. поставляет прецизионный режущий инструмент, отличающийся швейцарской точностью (рис. 16.13).



Рисунок 16.13 – Штабквартира Denitool в Фельтхайм (Швейцария)

Denitool предлагает широкий выбор режущего инструмента и пластин для точения, растачивания, отрезки и обработки канавок, фрезерования, в первую очередь фокусируя внимание на области применения с требованиями в отношении очень маленьких геометрических размеров. Инструмент *Denitool* отвечает всем требованиям покупателя и соответствует высоким стандартам качества.

Также компания предлагает изготовление специального инструмента и пластин на заказ, а также нанесение покрытия. Также есть сервис по ремонту твердосплавных расточных оправок.

Denitool также выпускает инструмент со специальными оптимизированными геометриями: пластины и державки с нестандартными передними углами для различных материалов и областей применения [344].

Компания **REGO-FIX**, сформированная в 1950-м году в Райгольдсвиле (коммуна в Швейцарии) под первоначальным названием *Fritz Weber Feinmechanik und Werkzeugbau*, производит и продает высокоточные системы зажимов и крепления. Основатель компании Фриц Вебер (Fritz Weber) разработал цанговый патрон ER и современное зажимное приспособление, являющееся стандартом отрасли.

Цанговый патрон был представлен и запатентован в 1972 году. В 1980-м году компания была преобразована в открытое акционерное общество, а название бренда REGO-FIX было взято как имя компании. В 1988-м открывается дочерняя компания в США: REGO-FIX TOOL Corp.

Название REGO-FIX состоит из двух компонентов: нескольких букв из названия коммуны Райгольдсвилль (REIGOLDSWIL), где была основана компания, и слова FIX (от англ. «закрепление»).

На сегодняшний день REGO-FIX является одной из лидирующих компаний по производству зажимного инструмента [346].

Компания **Sphinx Tools Ltd** является одной из лидирующих компаний, занимающихся производством высокоточного режущего инструмента.

Опыт компании в сочетании с мировыми стандартами качества, профессиональным ростом, функциональностью и новаторством гарантирует клиентам оптимальные решения и широкий выбор продукции. Предприятие было основано в 1994 году. Инструмент, производимый компанией Sphinx Tools: микросверла; спиральные сверла; высокопроизводительные сверла phoenix; центровочные сверла; сверла-развертки; концевые фрезы [347].

Производитель инструмента **ATI Stellram**, одна из современных компаний-лидеров, специализируется на производстве и поставках промышленного твердосплавного инструмента.

Изначально компания называлась *Wolfram & Molybden AG* и была основана в 1929 году в Швейцарии. В 1932 году появилась торговая марка Stellram®, а впоследствии, в результате слияния трех известных организаций – Stellram, Garryson и Landis – был создан современный вариант корпорации *ATI Stellram*.

Под руководством компании выпускается продукция, представленная тремя брендами: Stellram® Cutting Tool Systems, Garryson® Burrs, Abrasives and Routers и Landis® Threading Systems. Инструмент *Stellram* – это широкий ассортимент ключевой продукции, в которую входят различные системы для резки и обработки металлов, включая фрезерный инструмент и твердосплавные борфрезы, специальный абразивный инструмент, резбонарезной и резбонакатный. Инструмент *Stellram* представлен в 50 странах мира.

Как ведущий производитель инструмента для глубокого сверления, компания **Sterling Gun Drills** предлагает универсальные практические решения для удовлетворения различных технологических требований металлообработки. Производственная программа включает в себя любые сверла – стандартные и специальные, для конкретного материала и области применения [348].

Компания **Swiss Tool Systems AG**, расположенная в Швейцарии, является одним из ведущих поставщиков модульных систем инструмента.

Инструмент Swiss Tool изначально был представлен модульными расточными системами, получившими высокие оценки пользователей в плане высокой точности, эксплуатационной гибкости и надежности. Впоследствии программа инструмента была расширена. Компания

добавила в свое портфолио токарный инструмент HSK. Программа токарного инструмента PSC соответствует программе HSK и показывает достойные результаты в сравнении с продукцией других производителей-конкурентов [349].

Инструмент, производимый компанией: хвостовики; удлинители; инструмент для растачивания; инструмент для точения наружной и внутренней резьбы; токарный инструмент (наружное и внутреннее точение); пластины.

Производитель инструмента **EUSKRON** приступил к работе в декабре 1989 года. Компания специализируется на изготовлении как стандартного, так и специального инструмента.

Предприятие предлагает решения для каждого случая металлообработки, выпуская широкий круг наименований режущего инструмента, выполненного с учетом современных разработок и технологий.

Выпускаемая продукция: фрезерный инструмент (90° фрезы, угловые фрезы, копировальные фрезы, инструмент для фрезерования Т-образных канавок, черновые фрезы); токарный инструмент (инструмент для внутреннего и внешнего точения, напайные резцы); резьбонарезной инструмент; специальный инструмент; пластины [350].

Компания **Canela** была образована в 1967 г. в городе Бадалона (Испания) Рамоном Канела (Ramon Canela). Первоначально деятельность компании заключалась в выполнении субподрядных договоров, однако в 1974 г. на машинах, приобретенных ранее, началось производство инструмента для использования со сменными пластинами. В 1977 г. был основан завод по отливке металлических изделий Microfusió Catalana, использующий процесс литья по выплавляемой модели, в качестве дополнения к производству инструмента.

Это было своего рода эмбрионом большого семейного бизнеса, начатого в те годы Рамоном Канела и его супругой Марией Розой Винес (Maria Rosa Vinyes), и позже продолженного их детьми – сыном Алексом Канела (Alex Canela) и дочерью Сильвией Канела (Silvia Canela).

В настоящее время *Canela* – единственный производитель инструмента подобного масштаба в мире, который является независимым и который не куплен какой-либо крупной инструментальной группой (рис. 16.14).

В группу *Canela* входит компания MEXIN TOOLING, основанная в 1969 году с целью производства и реализации инструментальной оснастки.

Инструмент *Canela* обладает высокой производительностью и большим сроком службы, соответствуя высоким стандартам качества, благодаря чему признан во всем мире. В процессе изготовления используется только современное высокотехнологичное оборудование, осуществляется строгий контроль производства.



Рисунок 16.14 – Основное производство CANELA

Выпускаемая продукция: инструмент для точения; резьбонарезной инструмент; инструмент для обработки канавок и отрезки; инструмент для производства штампов, пресс-форм; сверлильный инструмент; фрезерный инструмент и инструментальная оснастка; сверлильные патроны, цанговые и резьбонарезные патроны, оправки и переходные втулки; система быстрой смены инструмента; расточные головки; пластины [351].

Компания-производитель режущего инструмента **Helion Tools** была основана в 1952 году в городе Манрэса (Испания), и в 2012 году отмечала свой 60-летний юбилей.

Helion – один из ведущих производителей металлорежущего инструмента, имеющий огромный ассортимент продукции. Особенность инструмента **Helion** заключается в отличном соотношении цены и качества, а также высокой производительности.

Инструмент, производимый компанией **Helion**: концевые фрезы; сверла; метчики; развертки; специальный инструмент; заготовки для инструмента [352].

Испанская компания **IZAR**, основанная в 1910 году и расположенная в городе Аморебьета-Эчано, изначально специализируется на поставках прецизионного сверлильного, токарного, фрезерного, резьбонарезного инструмента, а также продукции для развертывания и растачивания. В 2008 году предприятие приступило к внедрению и развитию одного из наиболее молодых направлений в отрасли режущего инструмента на европейском рынке, основав новую отрасль по производству перовых сверл и оборудования для производства инструмента (рис. 16.15).

Процессы сверления и резки металла совершенствуются благодаря спиральным сверлам и концевым фрезам **Izar** из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Современные покрытия TIN и TiAlN, применяемые компанией, позволяют сократить затрачиваемое на обработку время соответственно до 40 % и 75 %.



Рисунок 16.15 – Завод IZAR

Глобальная программа поставок компании включает инструмент *Izar* с усовершенствованным дизайном и уникальной геометрией, с успехом прошедший четкий контроль качества, благодаря чему продукция занимает особое место на рынке. Производитель гарантирует идеальный результат обработки любых материалов, даже в случае использования металлорежущего инструмента в сложных условиях.

Компания IZAR стремится к достижению лидерских позиций не только на домашнем рынке, но и во всех точках Европы – в планах производителя отмечено желание вывести спиральные сверла HSS/HM и концевые фрезы *Izar* на европейский рынок и стать одним из наиболее значимых представителей среди поставщиков твердосплавного инструмента по всему миру.

Инструмент, производимый компанией IZAR: сверлильный инструмент; инструмент для нарезания резьбы; фрезерный инструмент; специальный инструмент; токарный инструмент; пластины; инструмент для отрезки.

Испанская компания **KENDU, S. COOP.** была основана в 1976 году с целью производства концевых фрез из улучшенной быстрорежущей стали (фрез HSSE). Позднее, отвечая возросшему рыночному спросу, *Kendu* приступила к изготовлению прочего цельного твердосплавного инструмента для расширения программы поставок. Стали выпускаться не только концевые фрезы, но и концевые резьбофрезы, пластины и сверла. На сегодняшний день в каталоге компании представлено более 8000 позиций инструмента как из твердого сплава, так и из улучшенной быстрорежущей стали. Продукция подходит для высокоскоростного резания и для обычной машинной обработки (рис. 16.16) [353].

Компания **KINTEK Group** занимается изготовлением и поставкой держателей для инструмента и сопутствующих аксессуаров (запасных частей и инструментальной оснастки). Центральный офис компании находится в промышленной зоне Маппано (провинция Турин, Италия) [355].



Рисунок 16.16 – Штаб-квартира компании KENDU в городе Сегура

Итальянская компания **CGM diamond tools S.r.l.** специализируется на производстве алмазных инструментов (рис. 16.17). Несмотря на то, что компания основана всего лишь в 2010 году, благодаря своему основателю Стефано Гардози (который более 30 лет руководил системой производства на предприятии), уже обладает большим опытом. На производстве собран высокопрофессиональный коллектив, способный проектировать и изготавливать как стандартные инструменты, так и специальные (по заказу клиента).

В промышленности широкое применение получили PCD (поликристаллический алмаз) и CBN (кубический нитрид бора) – их износостойчивость позволяет увеличивать скорость обработки материала приблизительно на 30 процентов. Кроме того, благодаря увеличению скорости подачи, сокращается и время обработки детали.



Рисунок 16.17 – Офис и производство компании CGM diamond

Компания **CGM** внедрила в линейку своих товаров специальные инструменты из твердого сплава (HD) и из поликристаллического алма-

за (PCD) для фрезерования, вытачивания и нарезания резьбы при работе на углеволокне, титане и композитном материале.

Компания CGM предлагает широкий ассортимент пластин, насадок, фрез, торцевых фрез, свёрл, а также специальных инструментов, спроектированных и изготовленных по заказу клиента [355].

Компания **HTT CENTRO AFFILATURA SRL** была основана в 1982 году, в Италии, и специализируется в точных режущих инструментах из твердого сплава для автомобильного и аэрокосмического сектора (рис. 16.18). Компания родилась как центр заточки, коррекции и регенерации инструментов.

Разработанные компанией ноу-хау позволили ей развиваться до производителя высокоточного монокристаллического твердосплавного режущего инструмента для сверления, фрезерования, развертывания, зенкования.



Рисунок 16.18 – Офис компании НТТ в городе Вентикано

HTT разработала специальные инструменты для обработки таких материалов, как титан, алюминий, композиционных на основе углеродного волокна, получившие «патенты инструментов» (в Европе, Канаде, США, Австралии).

Компания HTT имеет свой уникальный исследовательский центр. Специалисты компании работают над решениями задач для эффективной и экономичной обработки инструмента, способной работать со всеми передовыми, новыми и экзотическими материалами [357].

Компания **Silmax S.p.A.** была основана в 1819 году. Сейчас это современная и динамично развивающаяся организация.

В своей работе компания руководствуется несколькими основными принципами. Во-первых, разработка инновационных решений на основе постоянных исследований. Во-вторых, применение передовых технологий и оборудования в производстве инструмента и, в-третьих, про-

водится постоянное расширение спектра представленных в каталоге инструментов.

Инструмент *Silmax* представлен богатым ассортиментом фрез для металлов и легких сплавов, позволяющим проводить черновую, получистовую и чистовую обработку [358].

Компания *Vergnano* была основана более 70 лет назад в Кьери (Турин, Италия). Производитель представляет твердосплавный режущий инструмент *Vergnano* как идеальный результат сплетения мировых традиций и собственных инноваций, успешное сочетание которых развивалось все эти годы. Благодаря постоянным инвестициям, непрекращающимся исследованиям и поискам новых технологических решений, тщательному контролю над процессом и качеством производства, компания смогла укрепить свои позиции на рынке Италии и выйти на международный уровень.

Непревзойденное качество и износостойкость, которыми славится инструмент, достигаются за счет неустанного контроля над каждым этапом процесса производства, а также благодаря использованию специальной системы измерений (данная система способна предвидеть результат любого действия еще на стадии проектирования, что позволяет достигать цели независимо от сложности поставленной задачи).

Инструмент, производимый компанией *Vergnano*: концевые фрезы, концевые фрезы с хвостовиком, сферические фрезы, фрезы для обработки штампов, концевые фрезы с коническим хвостовиком, торцово-цилиндрические концевые фрезы, твердосплавные червячные фрезы; метчики с прямыми канавками, спиральные метчики, метчикораскатники, твердосплавные метчики, метчики для синхронизированного резьбонарезания, патроны для метчиков, резьбонарезные плашки [360].

Производитель инструмента *MIRCONA* – шведская компания, головной офис которой находится в городе Евле. С момента основания – с 1948 года – основным направлением деятельности предприятия является проектирование, разработка, изготовление и реализация твердосплавного режущего инструмента для отрасли механической обработки металлов. Изначально производились только специальные продукты на заказ – по дизайну, представленному от клиентов.

На сегодняшний день в производственной программе представлен широкий спектр токарного и фрезерного инструмента с пластинами из твердых сплавов, керамических материалов или же сверхтвердых материалов. Почти 90 % объема инструмента *MIRCONA* экспортируется примерно на 20 различных рынков по всему миру [361].

Шведская компания *Sandvik Coromant* является подразделением *Sandvik Machining Solutions*, которая, в свою очередь, входит в состав основной корпорации *Sandvik AB*.

Головная компания *Sandvik AB* была основана в 1862 году Гораном Фредриком Горанссоном (Göran Fredrik Göransson). Первоначальным родом деятельности было производство стали. В 1942 году в составе компании под брендом *Sandvik Coromant* начинает работу отдел твердосплавного инструмента, возглавляет подразделение Wilhelm Haglung (проработал на этой должности до 1953 года). Через десять лет в городе Гимо, Швеция, открывается первое производственное отделение компании, штат компании на тот момент составлял 30 человек.

В настоящее время компания отличается почетным званием одного из лидеров среди производителей промышленного инструмента для металлообработки. Официальные представительства фирмы находятся в более чем 130 странах. Численность сотрудников составляет более 8 тысяч человек. Юридический адрес главного офиса компании – Стокгольм, Швеция.

В октябре 2014 г. компания *Sandvik Coromant* открыла свой флагманский центр *Sandvik Coromant* в г. Сандвикен в Швеции (рис. 16.19). В ноябре этого же года был открыт аналогичный центр в г. Ланфан в Китае. Эти центры позиционируются как глобальные места встреч для специалистов из самых разнообразных областей промышленности. Размер: 4500 кв. м. Количество посетителей: 14 000 ежегодно. Пропускная способность: 300 человек в день. Количество станков: пять в демонстрационном зале, три в цеху исследовательской лаборатории. Количество конференц-залов: 14. Количество учебных станций: пять. Толщина пола в цеху исследовательской лаборатории: 1 метр [363].



Рисунок 16.19 – Флагманский центр компании *Sandvik Coromant* в г. Сандвикен

Компания *Seco* является одним из крупнейших поставщиков комплексных решений для металлообработки. Компания производит инструмент для фрезерования, токарной обработки, обработки отверстий и

вспомогательный инструмент. Штаб-квартира компании находится в г. Фагерста, Швеция (рис. 16.20).

История *Seco* начинается с небольшого предприятия *Fagersta Bruks*, ведущего свою историю с начала 17 века. Предприятие выпускало стальную проволоку, стальные трубы, винтовочные стволы и рессоры для железнодорожных вагонов, а с 1932 запустило производство изделий из твердого сплава. Постепенно предприятие выпускало все больше новых режущих инструментов. Один из сплавов был назван *Seco*, что на латыни означает «Я режу», это название впоследствии дало имя отдельному подразделению в преобразованной группе компаний.

В 50-е и 60-е годы группа *Fagersta* осуществляла большие инвестиции в области производства твердого сплава. Группа приобрела несколько фирм-производителей, став одним из трех крупнейших европейских производителей карбида вольфрама. Было освоено несколько новых изделий, включая ставшие позднее основным профилем фирмы сменные механические пластины.

В те годы увидел свет революционный сплав S25M и первые сменные пластины с покрытием. В 80-е и 90-е годы компания *Seco* быстро расширялась и открыла несколько филиалов за пределами Швеции.



Рисунок 16.20 – Штаб-квартира фирмы *Seco*

Сегодня *Seco* объединяет более 4100 сотрудников в своих представительствах в более чем 75 странах мира. Компания *Seco* является частью финансово-промышленной группы *Sandvik*, подразделение *Sandvik Machining Solutions*.

Достойный производитель режущего инструмента – шведская компания *SmiCut* – это организация, управление которой в течение нескольких поколений осуществляется семьей Шмидт. Семья Шмидт разрабатывает и производит режущий инструмент на протяжении почти 50 лет, а на сегодняшний день в компании трудится уже третье поколение.

Основным направлением деятельности предприятия на протяжении всего периода существования компании является производство ре-

жущего инструмента. В настоящее время *SmiCut* делает упор на твердосплавные фрезы, при этом уделяя внимание прочему режущему инструменту как современному эффективному решению проблем резбонарезания. Производство расположено в Дании, а головной офис и офис продаж компании находятся в Швеции.

Компания *Metallwerk Plansee* была основана в 1921 году доктором Паулем Шварцкопфом (Dr Paul Schwarzkopf) в г. Ройтте, земля Тироль. На протяжении первых лет работы персонал в количестве 20 человек изготавливал молибденовую проволоку и вольфрамовую нить для светотехнической промышленности. Группа компаний, к которой принадлежит CERATIZIT, по сей день носит название Plansee [362].

Компания **CERATIZIT**, образованная путем слияния фирм *Cerametal Group* и *Plansee Tizit* в 2002 году, находится в Люксембурге и предлагает твердосплавный инструмент для резки металла.

Крупнейший концерн CERATIZIT Group, занимающий четвертое место по всему миру среди фирм-производителей твердых сплавов, занимается производством не только твердосплавных фрез, но и сменных твердосплавных пластин, применяемых для многих областей металлообрабатывающей промышленности, а также осуществляет поставки другого инструмента.

На ее 34 производственных предприятиях работают более 9000 сотрудников, а торговая сеть состоит из более чем 70 филиалов. Международная сеть также включает в себя дочерние предприятия KOMET, WNT, Becker Diamantwerkzeuge и Stadler Metalle, а также совместную компанию CB-CERATIZIT. Постоянно проводятся научные исследования и разработки, имеем более 1000 патентов. Компания предлагает свою продукцию на рынке под семью специализированными торговыми марками: Hard Material Solutions by CERATIZIT, Toolmaker Solutions by CERATIZIT, Tool Solutions by CERATIZIT, Cutting Solutions by CERATIZIT, KOMET, WNT и KLENK.

Особое внимание заслуживает multifункциональный режущий инструмент CERATIZIT, с помощью которого достигается точность в работе, глубина резки и увеличение скорости работы, а также становится возможной более редкая замена инструмента.

Режущий инструмент от производителя представлен в более чем 50 странах и реализуется повсеместно для широкого круга клиентов, работающих в сфере автомобилестроения, инженерной и аэрокосмической промышленности, а также в области электроники и медицины.

Выпускаемая продукция: инструмент для сверления; фрезерный инструмент; токарный инструмент; инструмент для отрезки и обработки канавок; инструмент для однозубого резьбового фрезерования; резбонарезной инструмент; multifункциональный инструмент [365].

Компания **Fanar Joint Stock Company** (г. Цеханув, Польша) – один из ведущих производителей металлорежущего инструмента для

различных областей применения. В приоритетах компании числятся использование инновационных технологий, изготовление продукции высокого качества и постоянное развитие (рис. 16.21). Благодаря сочетанию знаний и опыта, а также новейшим методам работы, компания предлагает современный инструмент *Fanar*, отвечающий требованиям международного стандарта.

Предприятие получило признание как у себя на родине, так и за рубежом. *Fanar* сотрудничает с крупнейшими производителями в таких областях, как автомобильное строительство, аэрокосмическая промышленность, медицина, изготовление бытовой техники и многих других.



Рисунок 16.21 – Офис компании Fanar

На предприятии внедрена система менеджмента качества согласно стандарту ISO 9001. Завод располагает испытательно-демонстрационной лабораторией, в которой проводятся испытания нового инструмента и решаются технологические задачи клиентов.

Компания входит в пятерку крупнейших европейских производителей резбонарезного инструмента. Это признанный производитель инструментов высокого класса, способный удовлетворить любые требования покупателей и обеспечивающий наилучшие условия как для клиентов, так и для своих сотрудников.

Инструмент, производимый компанией *Fanar*: инструмент для машинной нарезания резьбы; ручные метчики; машинные метчики; винтовые плашки; наборы резбонарезного инструмента; резьбовые калибры; инструмент для сверления; державки; дополнительный инструмент и оснастка [366–367].

Инструмент **MEF.TOOLS** – это концевые твердосплавные фрезы, изготовленные из немецкого твердого сплава на швейцарском и немецком оборудовании. Широкая гамма инструмента позволяет закрыть все потребности клиента.

Твердосплавные фрезы этой марки обладают повышенной устойчивостью к воздействию температур, трению и преждевременному износу. Производитель инструмента вносит несравнимый вклад в развитие аэрокосмической и автомобильной областей, сферу энергетической, металлообрабатывающей, газовой и нефтяной промышленности, а также постоянно улучшает уже существующие виды режущего инструмента [368].

Компания **Tivoly** (рис. 16.22), производящая режущий инструмент для механической обработки широкого круга материалов, родилась в Париже в 1888 году и была названа в честь основателя Люсьена Тиволи.

В 1917 году организация получила специальное разрешение на приобретение оборудования из Англии, что позволило к концу года приступить к выпуску первых сверл *Tivoli*. В 1935 году стартовало производство ультракоротких сверл, предназначенных для электродрелей.

К 2013 году производитель инструмента *Tivoly* становится международной компанией в семейном владении. Головной офис предприятия находится во Франции, а филиалы по производству инструмента расположены в Китае, Англии, Испании и США – на сегодняшний день география поставок охватывает 3 континента.



Рисунок 16.22 – Офис компании Tivoly

Промышленный и профессиональный инструмент *Tivoli*, представленный в значительном количестве (более 30 000 наименований), изготавливается на 8 производственных участках.

Инструмент, производимый компанией *Tivoly*: твердосплавные сверла-буры, сверла для отверстий под резьбу, микросверла, центровочные сверла, сверла HSS, ступенчатые сверла; машинные и ручные метчики, плашки; твердосплавные концевые фрезы, концевые фрезы HSS; зенковки и развертки; роутеры; инструментальная оснастка [369].

В течение многих лет **Data Flute** занималась развитием перспективного направления производства твердосплавного фрезерного инструмента. Изначально, с 1976 года, деятельность компании заключалась в модификации и улучшении общей производительности стандарт-

ного инструмента для бурения и специального ремесленного оборудования.

В последующие годы компания представляла новый фрезерный инструмент бренда *Data Flute*, охватывая различные модификации изделий, уже представленных на рынке металлообрабатывающей промышленности. Впоследствии добавлялись новые серии (SH, HH, SH-RO, ARF, CM, SS). В 1996 году была расширена основная линейка твердосплавных концевых фрез – производитель инструмента представил свыше 28 новых серий. Также были обновлены другие линейки продукции.

В 2006 году произошло глобальное расширение компании, в ходе которого было уделено особое внимание усилению контроля качества выпускаемой продукции. В настоящее время инструмент *Data Flute* производится в США (штат Массачусетс) и реализуется по всему миру.

Производитель инструмента *Data Flute* предлагает фрезеры со множеством видов покрытия – TiN, TiCN, ZrN, TiAlN, AlTiN, TiAlN+WC/C Std, а также алмазным.

Выпускаемая продукция: твердосплавные фрезы; твердосплавные концевые фрезы; концевые фрезы серий; фрезы для алюминия, фрезы для черных металлов; концевые фрезы; черновые; сферические; сферические фрезы с удлиненным хвостовиком; концевые фрезы со специальными режущими кромками; фрезы для чистовой обработки; специальный инструмент.

Компания ***Dorian Tool International Incorporated*** – это американский производитель режущего инструмента. На протяжении 20 лет компания не только изготавливала свои собственные качественные инновационные продукты для мехобработки, но и принимала активное участие в развитии различных отраслях промышленности.

В частности, компания *Dorian Tool* занималась разработкой новых технологий и проведением исследований, направленных на предоставление решений многих проблем отрасли. Более того, компания стремится к тем полезным открытиям, применение которых позволяет добиться совершенно нового уровня твердосплавного инструмента: еще более высокотехнологичного и максимально усовершенствованного.

Инструмент *Dorian*, представленный всеми основными видами режущего инструмента, предназначен для применения в различных отраслях промышленности.

Высокотехнологичный инструмент *Dorian* строго соответствует стандартам качества и уже успел зарекомендовать себя на рынке. Система менеджмента компании получила сертификацию по стандарту ISO 9001:2008 в сфере дизайна, производства режущего и накатного инструмента и инструментальной оснастки для металлообрабатывающей промышленности.

Выпускаемая продукция: токарный инструмент (твердосплавные пластины; модульная система инструмента для точения, отрезки и точения канавок); инструмент для обработки канавок; резбонарезной инструмент; фрезерный инструмент (фрезерные пластины, концевые и торцевые фрезы, специализированные фрезы, фрезы по алюминию, инструмент для копировального фрезерования); накатный инструмент; система расточного инструмента (антивибрационные регулируемые расточные оправки, твердосплавные расточные оправки) [371].

Крупная американская корпорация **Drill Masters Eldorado Tool Inc.** – это известный производитель инструмента для сверления глубоких отверстий, приспособлений для заточки ружейных сверл, аксессуаров и оснастки (рис. 16.23).



Рисунок 16.23 – В цехах предприятия Drill Masters

В США вплоть до начала Второй мировой войны не было своих производителей инструмента для глубокого сверления, работающих на домашнем рынке. В 1948 году ситуация изменилась благодаря появлению компании *Eldorado Tool*, приступившей к производству режущего инструмента и оправок для глубокого сверления.

Компания *Drill Masters*, изначально сформированная как предприятие по изготовлению инструмента, в то время акцентировала внимание на другом направлении. *Drill Masters* выступала в роли надежного поставщика различных режущих изделий, сверл для обработки глубоких отверстий, а также другого инструмента для таких отраслей, как автомобилестроение, аэрокосмическая и медицинская промышленность, индустрия производства пресс-форм и штампов.

К 2000 году в отрасли разработки и производства сверлильного инструмента для глубоких отверстий, оснастки и профильного оборудования были выявлены два лидера – *Eldorado Tool* и *Drill Masters*. Последующее объединение этих двух ведущих организаций в 2012 году привело к рождению предприятия *DrillMasters-EldoradoTool*, ставшего крупнейшим изготовителем ружейных сверл, а также аксессуаров.

Сочетание многолетнего опыта сотрудников и высокого производственного уровня позволяет компании выпускать качественный инструмент *DrillMasters-EldoradoTool* и дополнительно предоставлять клиентам профессиональную поддержку.

Выпускаемая продукция: однозубые и двузубые ружейные сверла; цельнотвердосплавные ружейные сверла; ступенчатые ружейные сверла; сменные головки; развертки; инструментальная оснастка, аксессуары; цанги, стружкоотражатели, направляющие, пластины для ружейных сверл, приспособления для заточки ружейных сверл; твердосплавные оправки; оправки для изготовления нарезов в деталях цилиндрической формы; инструмент для прорезания пазов (в ружейном стволе); инструмент для подгонки диаметра отверстия (в ружейном стволе) [372].

Компания ***PCT Cutting Tools*** (*Precision Cutting Tools USA, Inc.*) занимает одну из лидирующих позиций на рынке режущего инструмента в США. С момента своего основания в 1963 году компания продолжает специализироваться на производстве металлорежущего инструмента.

Режущий инструмент *PCT* разрабатывается, изготавливается и продолжает развиваться на протяжении более пятидесяти лет. Вся продукция спроектирована в Германии, так как компания состоит в партнерстве с немецким производителем *Günther Wirth* (GW), и произведена в США. На базе сотрудничества с предприятием GW компания *PCT* проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки.

Основная цель компании – полностью удовлетворить запросы клиентов, сотрудников и инвесторов, предлагая им новейшие техноло-

гии, благоприятную рабочую атмосферу и перспективы финансового развития.

Производитель инструмента также предлагает клиентам уникальную услугу по изготовлению оригинального инструмента, выполненного по заказу. На сайте компании можно воспользоваться специальным конструктором, упрощающим подбор всех возможных вариантов рабочих характеристик на представленной основе. В итоге получается максимально точный эскиз-образец, учитывающий малейшие нюансы любого инструмента, для каждой конкретной отрасли в отдельности.

Выпускаемая продукция: твердосплавные концевые фрезы; твердосплавные сверла; твердосплавные роутеры (2 вида: с одним зубом и с двумя); зенковочные фрезы; инструмент по заказу [374].

Начиная с 1977 года компания **IMCO** разрабатывает и выпускает высокотехнологичный режущий инструмент. Предприятие представляет собой семейный бизнес, развиваемый на протяжении нескольких десятилетий на территории США с реализацией заказов клиентам по всему миру. Главный офис компании расположен в штате Огайо.

Инструмент **IMCO** – это настоящее преимущество в секторе твердосплавного режущего инструмента, благодаря таким характеристикам, как уникальная геометрия и высокоэффективное химическое покрытие. Твердосплавный инструмент **IMCO** служит дольше, обладает отличительной продуктивностью и результативностью, по сравнению со многими аналогичными продуктами. Многолетние исследования и разработки, проводимые компанией, воплощаются в износостойком инструменте, обладающем высоким качеством и максимальной эффективностью и подходящем для обработки любых материалов, в том числе и специфических.

Инструмент, производимый компанией **IMCO**: высокопроизводительные концевые фрезы, концевые фрезы специального назначения, сферические фрезы, инструмент для фрезерования канавок, инструмент для чистового фрезерования, копировально-фрезерный инструмент, цилиндрические фрезы; борфрезы; спиральные сверла с твердосплавным наконечником, центровочные сверла, перовые сверла, инструмент для снятия фасок, развертки, конические зенковки; **специальный инструмент** [375].

Компания **K-Tool Inc.** – это производитель твердосплавного режущего инструмента со сменными пластинами, представляющий широкий ассортимент продукции для металлообрабатывающей отрасли. Компания была сформирована в 1979 году в южной части Пенсильвании, на территории Нью-Оксфорда (США), где и располагается до сих пор.

Изначально компания занималась производством специального режущего инструмента и изготавливала по заявкам клиентов небольшие партии уникальных моделей на заказ. Спустя некоторое время после от-

крытия фирмы произошло расширение. *K-Tool* приобрела новый опыт, выступив в роли поставщика режущего инструмента для других производителей. Позже компания разработала свою собственную линейку стандартного инструмента, представив новинку потенциальным клиентам с помощью дистрибьюторской сети, охватывающей все штаты Америки.

Но *K-Tool* было сложно одновременно совмещать одну работу со второй, поэтому компания решила выбрать что-то одно, избавившись от проблемы. Отказавшись от позиции дистрибьютора, она бросила все силы на развитие производства собственной продукции.

На данный момент компания широко известна своей способностью быстро разрабатывать и совершенствовать свой инструмент, представляя интересные идеи раньше, чем кто-либо в отрасли: инструмент *K-Tool*, продуманный до мелочей, появляется в результате ряда оптимизаций, с применением лучших технологий.

Инструмент, производимый компанией *K-Tool*: инструмент для обработки глухих отверстий, инструмент для зенкования, сверла с плоским торцом, центровочные сверла, сверла-фрезы; торцевые фрезы, фрезы типа «ласточкин хвост», сверла-фрезы, инструмент для снятия фасок, миниатюрные фрезы, парные 8-угольные фрезы, радиусные фрезы, фрезы из супер-сплавов, фрезы для обработки t-образных пазов, пазовые фрезы, радиусные пазовые фрезы, торцово-цилиндрические фрезы, торцово-цилиндрические пазовые фрезы, универсальные фрезы; пластины; сверла и зенковки, фрезы для снятия фасок с удлиненными кромками, пазовые фрезы, торцово-цилиндрические фрезы, инструмент для растачивания, полые фрезы, сверла-зенковки, специальный инструмент (включая левостороннее исполнение) [376].

Производитель инструмента *Scientific Cutting Tools, Inc.* (SCT) – это инновационная организация с продукцией высокого класса, отпускаемой по приемлемой цене (рис. 16.24). Прошло уже более 35 лет с того момента, как компания *SCT*, организованная Стэнном Кристофером, впервые приступила к работе, при этом на момент основания ассортимент был представлен всего одним наименованием.

Компания продолжала развиваться, в итоге завоевав репутацию одного из лучших производителей полностью укомплектованных линеек оснастки и режущего инструмента, включающего твердосплавные резьбовые фрезы как с покрытием TiN, так и без него. Инструмент *SCT* изготавливается из твердого сплава SCSMC (сверхплотный субмикронный карбид вольфрама), позволяющего получить исключительно ровную поверхность и исключая образование стружки и разломов [377].

Основанное в 1959 году предприятие *RobbJack Corporation* специализируется на разработке, производстве и продаже твердосплавного режущего инструмента.



Рисунок 16.24 – Офис компании Scientific Cutting Tools

Компания предлагает широчайший выбор твердосплавных фрез с максимально жестким допуском, возможным для станков CNC. Кроме того, компания производит твердосплавные пилы и роутеры из поликристаллического алмаза (PCD), а также располагает сервисом нанесения покрытия осаждением паров [378].

Производственная площадка компании **SGS** находится в городе Манро Фолс (Огайо, США). Помимо разработки и изготовления режущего инструмента – концевых фрез и сверл – **SGS** занимается проведением научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по оптимизации режущих кромок и покрытий.

Производитель **SGS** специализируется на изготовлении осевого твердосплавного режущего инструмента для индустрии металлообработки уже более пятидесяти лет. На протяжении всего этого времени инструмент **SGS** показывал отличные результаты при применении, заслужив высокие оценки клиентов.

SGS строго следит за качеством выпускаемой продукции: инструмент сертифицирован в соответствии с ISO 9001:2008. Компания стала сертифицировать изделия, начиная с 1995, и продолжает заниматься этим по настоящее время.

Запатентованные геометрии инструмента **SGS** позволяют продлить срок эксплуатации, снизить вибрацию, сократить время цикла и повысить качество детали, даже при тяжелых условиях обработки [379].

Компания **Mastercut Tool Corporation** (рис. 16.25) была основана в 1985 году в маленьком городке Сейфти Харбор во Флориде. В течение почти тридцати лет компания успешно работала в различных отраслях

на рынке промышленности. Основными принципами работы корпорации являются непрерывный рост и развитие, внимательность к деталям и приверженность своим клиентам.



Рисунок 16.25 – Офис компании Mastercut

Компания предлагает наиболее полную программу поставок и широкий выбор высокопроизводительных концевых фрез, сверл, роутеров, борфрез и другого режущего инструмента – как стандартной, так и специальной конфигурации.

Производитель инструмента разработал свою собственную уникальную производственную технологию MAP, которая позволила повысить доступность продукции для приобретения потребителями. Профессиональные сотрудники компании всегда готовы помочь клиентам в подборе необходимого твердосплавного режущего инструмента.

В 1960-х годах Джек Ньюберри, механик по профессии, изобретает уникальную технологию по изготовлению твердосплавного инструмента, впоследствии детально развивая ее. В итоге был основан бизнес в Лос-Анджелесе, а созданная компания получила название *Micro 100* (рис. 16.26).

На 1970-1990 годы приходится бурный рост и развитие компании. Инструмент *Micro 100* становится торговой маркой, узнаваемым во всем мире брендом. Чтобы удовлетворить возросший спрос и снизить производственные затраты, завод переезжает в Меридиан, штат Айдахо. Офис продаж и склад остаются в Лос-Анджелесе.

К 2010 году производитель инструмента становится международной корпорацией, достигает больших успехов в Азии и Канаде. Повышение прибыли способствует дальнейшему расширению производства и увеличению объемов изготавливаемого твердосплавного инструмента.

С 2010 года и до настоящего времени инструмент *Micro 100* продолжает оптимизироваться. Закрепляя достигнутый успех, ком-

пания представляет новую систему Quick Change и держатели Micro-Quik.



Рисунок 16.26 – В цехах компании Micro 100

Инструмент, производимый компанией *Micro 100*: зенковочный инструмен; инструмент для развертывания; расточный инструмент; сверла; сферические и концевые фрезы; фрезы с прямоугольными зубьями; инструмент для отрезки и обработки канавок; сменные твердосплавные пластины; инструмент для точения; резьбонарезной инструмент; роутеры; специальный инструмент [380–381].

Крупнейший корейский производитель **YG-1 Tool Co.** начал свою деятельность в 1981 году и в настоящее время занимает пятое место по всему миру в области изготовления концевых фрез. В течение двадцати лет компания развивалась, накапливая опыт по производству метчиков и сверлильного инструмента для последующих поставок.

Офис *YG-1 U.S.A. (YG-1 Tool Co.)* – один из крупнейших филиалов компании – расположен в Чикаго, остальные подразделения компании находятся в Китае, Франции, Индии, Канаде, Таиланде, Великобритании, Германии, Австралии, Сингапуре, Польше, Японии и Бразилии.

Режущий инструмент Yg1 представлен в широком ассортименте : сверла, метчики, концевые фрезы, вращающийся инструмент любого типа и диаметра. Поставки инструмента осуществляются в 53 страны [382].

История производителя инструмента **Carbology** начинается в 1920-е годы, когда ученый из корпорации General Electric стал прово-

дить эксперименты с карбидом вольфрама. В 1928 году благодаря усилиям General Electric был открыт филиал *Carbology*.

Первые начинания филиала стали прорывом в области технологий обработки спеченного твердого сплава, что повлияло на последующую работу. Впоследствии были достигнуты небывалые результаты, упрочившие статус компании.

Сегодня пластины *Carbology* производятся с применением новейших европейских технологий обработки твердого сплава. Спеченный твердый сплав для точения отличается кобальтовой основой с характеристиками, разнящимися в зависимости от месторасположения – от центра сплава к поверхности. Благодаря этому достигаются как твердость сплава, так и его прочность.

Производитель инструмента использует для своих сплавов наноструктурное PVD-покрытие с высоким содержанием алюминия, что повышает показатели жесткости.

Выпускаемая продукция: фрезерный инструмент, фрезерные пластины; инструмент для торцевого, концевое и профильного фрезерования, фрезерования уступов; токарные державки и пластины; инструментальная оснастка [383].

Компания ***Cogsdill Tool Products*** была сформирована в 1914 году в Детройте и изначально выступала в роли мастерской по перезаточке режущего инструмента. Также предоставлялись услуги по ремонту всех типов изделий. Вскоре основатель предприятия – Стюарт А. Когсдилл – приступил к проектированию и производству специального инструмента для таких первопроходцев автомобильной промышленности, как Генри Форд и братья Додж. Фирма *Cogsdill Tool Products* предоставляла надежный инновационный инструмент для решения наиболее сложных производственных проблем.

Компания *Cogsdill* представлена двумя подразделениями. Один филиал расположен в США (*Cogsdill Tool Products, Inc.* в Кэмдене, штат Южная Каролина), второй же находится в Великобритании (*Cogsdill-Nuneaton Ltd.* в Нанитоне, Англия).

Выпускаемая продукция: инструмент для удаления заусенцев; инструмент для снятия заусенцев и фасок; прецизионные развертки; расточные резцы; инструментальные системы ZX [384].

NTK Cutting Tools – это часть огромной корпорации, состоящей из двух подразделений (рис. 16.27). Одно из них – *NGK Spark Plugs* – специализируется на выпуске продукции для автомобилей (свечей, датчиков и катушек), а второе – собственно, *NTK Cutting Tools* – на производстве режущего инструмента. Корпорация включает филиалы по всему миру: они находятся в Северной и Южной Америке, Великобритании, Китае, Корее, Таиланде, Европе, а головной офис компании расположен в Японии.

Основной целью *NTK Cutting Tools* является производство современного режущего инструмента, отличающегося выдающимися характеристиками и высокой функциональностью. Для высокоскоростной обработки с максимальными характеристиками производительности компания представляет сменные пластины и держатели для инструмента. Серия керамических пластин *NTK* включает вариант пластин с нитридом кремния для эффективной обработки чугуна, с покрытием из карбида титана – для ковкого чугуна, а также с КНБ (кубическим нитридом бора), для жаропрочных сплавов. Также производятся пластины из оксида алюминия и пластины $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$.

Инструмент *NTK* справляется со многими проблемами, возникающими при резании металла.

Выпускаемая продукция: пластины (сменные пластины из твердых сплавов, керамические пластины, металлокерамические пластины, пластины из СТМ, пластины из кубического нитрида бора); держатели для инструмента; резбонарезной инструмент; инструмент для отрезки и обработки канавок; токарный инструмент; сменные концевые фрезы; специальные державки [386].



Рисунок 16.27 – Офис компании в США

Производитель инструмента ***Kennametal*** является одной из наиболее влиятельных организаций, занимающихся разработкой, изготовлением и поставками режущего инструмента. Созданная в 1938 году американская фирма *Kennametal* впоследствии объединилась с ведущими компаниями *Hertel AG*, что позволило ей занять особое место на

рынке благодаря внедрению новой общей программы, применению уникальных технологий и разработке улучшенного инструмента.

Металлорежущий инструмент *Kennametal* воплощает в себе все преимущества, полученные в результате сочетания высочайшего качества и повышенной стойкости продукции. Инструмент *Kennametal* востребован в любой точке мира – сеть филиалов по производству и дистрибуции раскинулась на территорию, включающую более чем 60 стран.

Kennametal выделяется среди конкурирующих фирм благодаря инновационным предложениям, которые за считанные дни с успехом завоевывают рынок. Благодаря *Kennametal* появляются уникальные разработки (например, сверла с геометрией SE и SE-HP, трехперые сверла TF, сверла-развертки, расточные системы Romicron).

Твердосплавный инструмент *Kennametal* – это износостойкая продукция с повышенной сопротивляемостью к внешним воздействиям, подарившая производителю почетное звание мирового лидера в области производства и поставки инструмента для железнодорожного строительства и для фрезерования [387].

Производитель инструмента *HANNA* – это компания, специализирующаяся на разработке и производстве высокоточного инструмента и режущего инструмента для финишной обработки поверхности детали (рис. 16.28).

Компания появилась в 1942 году – бизнес был запущен в городе Сан-Паулу (Бразилия). Сначала это был небольшой цех для местного рынка. Производство на тот момент было заточено под требования на специальный инструмент, который был в дефиците во время Второй мировой войны.

Сначала компания *Hanna Tools* производила вальцовки для раскатки труб и токарные патроны. В 60-х гг. фирма приступила к производству специального инструмента для суперфинишной обработки тормозных цилиндров. В 1980 году компания переместилась в город Лимейра.

На сегодняшний день производитель *Hanna* выпускает высокотехнологичный инструмент в соответствии с ISO 9001 по всему миру.

Инструмент, производимый компанией *Hanna*: инструмент для развертывания; инструмент для удаления заусенцев; фрезерный и токарный инструмент; инструмент для сверления; крепежные системы [388].

Компания *Erojet*, основанная в 2003 году, специализируется на производстве стандартного токарного и фрезерного инструмента для нарезания резьб и прорезания канавок. Производитель инструмента *Erojet* также изготавливает специальный режущий инструмент в соответствии с требованиями заказчика.

Компания выпускает широкий спектр инструментов высочайшего качества, предназначенного для использования в автомобильной и авиационной промышленности, электронной и медицинской отрасли, индустрии связи.



Рисунок 16.28 – Офис компании HANNA

Инструмент *Erojet* производится на предприятии в промышленном парке Mizgav на севере Израиля, отличается конкурентоспособными ценами и оперативно поставляется по всему миру. Компания сертифицирована в соответствии с ISO 9001:2008.

Выпускаемая продукция: токарный, фрезерный, резьбонарезной инструмент; инструмент для прорезания канавок [389].

Компания *Iscar* производит весь спектр инструмента для токарной обработки, фрезерования, растачивания, резьбонарезания, отрезки/проточки канавок.

Основанная Штефом Вертхеймером в 1952 году, в настоящее время компания *Iscar* является одним из лидеров рынка, предлагающих любые виды промышленного инструмента для области обработки металлов. По прошествии нескольких лет расширения и профессионального развития *Iscar* стала мультинациональной компанией с центральным офисом в Израиле и сетью представителей в более чем 50 странах мира.

Компания *Iscar*, известный производитель и поставщик твердосплавного инструмента, заслужила особое признание своих клиентов благодаря инновационным разработкам и продукции непревзойденного качества. Многие инструменты компании *Iscar* не имеют аналогов в ассортименте продукции фирм-конкурентов.

Продукция *Iscar*: алмазные сверла, сборные спиральные и сборные ружейные сверла, цельнотвердосплавные сверла, инструмент для

глубокого сверления и резьбонарезания, зубила, метчики и плашки [391].

Компания **Vargus** основана в 1960 году в Нагарии (Израиль) и является подразделением NEUMO Ehrenberg Group, одного из ведущих частных европейских производителей и дистрибьюторов продукции из нержавеющей стали и металлорежущих инструментов. Инструмент **Vargus** разрабатывается и производится на передовом оборудовании компании, сертифицированному по стандартам ISO 9001:2000, и реализуется по всему миру – благодаря более чем 100 представителям и независимым агентам [393].

Компания **АККО** – крупнейший производитель и резьбонарезных державок, а также фрезерных и сверлильных оправок. Все державки и оправки изготовлены для использования пластин ISO, а также специальных пластин. Весь инструмент, который производит компания АККО, высокого качества и оснащается крепежом производства Швейцарии. Высокое качество продукции обеспечивается современным оборудованием с ЧПУ, высокой культурой производства и использованием высококачественных материалов заготовок.

Компания находится в Турции (город Кония) и основана в 1986 году. Производитель инструмента предлагает более 5000 стандартных видов державок, ежегодно изготавливая и поставляя клиентом свыше 180.000 изделий. На складе размешено около 250.000 наименований, что позволяет удовлетворить любой запрос заказчика.



Рисунок 16.29 – Офис и производственные подразделения компании АККО

Основные виды продукции для металлообрабатывающей промышленности, изготавливаемые компанией АККО, включают резцедержатели для токарной обработки, резьбонарезной фрезерный и сверлильный инструмент, инструмент для отрезки и обработки канавок. Программу поставок также завершают прецизионные держатели для инструмента.

Продукция компании экспортируется в 72 страны по всему миру, включая страны Европы, Азии, Африки. Также инструмент АККО успешно реализуется на территории стран Южной Америки и Ближнего Востока.

Соответствующее качество изделий подтверждено Турецким институтом стандартов (TSE), инструмент АККО обладает сертификатом ISO [394].

Группа компаний **Eroglu**, основанная в 1978 году, на сегодняшний день включает в себя 5 компаний, специализирующихся на производстве и продаже прецизионных держателей инструмента и систем оснастки для станков с ЧПУ.

Производитель **Eroglu** занимает лидирующие позиции на рынке Турции в плане изготовления держателей инструмента, а также выступает одним из передовых производителей в Европе.

Eroglu Makina San.Tic.A.Ş. – производственный участок группы компаний **Eroglu**, расположенный в городе Бурса (Турция). *Eroglu Prazisionswerkzeuge GmbH*, сформированная в 1997 году в Мёссингене (Германия), выступает центром сети экспортного маркетинга.

Решив наладить производство и в Европе, группа компаний **Eroglu** основала в Мёссингене в 2007 году центром механизированной обработки *Eroglu Präzisionswerkzeugfertigungs GmbH*, где по новейшим технологиям разрабатывается и изготавливается современная продукция.

Eroglu Takım Mak. San. Tic. Ltd. Şti. в городе Бурса – центр маркетинговой сети на домашнем рынке. **ERTEM-Eroğlu** – центр профессиональной технической подготовки, который позволяет обучить квалифицированные кадры.

Инструмент **Eroglu** соответствует сертификатам качества DIN EN ISO 9001-2000, ISO TS 16949 и EN ISO 14001.

Выпускаемая продукция: приводной инструмент; держатели для инструмента; патроны; зажимные головки; оправки; цанги; втулки; аксесуары и другая оснастка [396].

Компания **DIJET** (*Dijet Industrial co.,Ltd*) занимается производством цементированного твердосплавного инструмента для разных направлений промышленности и разработкой новых продуктов для использования в области машиностроения с момента основания организации – с 1938 года. Производитель инструмента привнес собственные уникальные технологии в сферу продаж на мировом рынке, а также вы-

ступил успешным примером внедрения металлокерамических материалов (керметов) в производство, специализирующееся в отрасли порошковой металлургии.

Инструмент *DIJET* производится из твердых сплавов с износостойким покрытием и без него, из металлокерамики, поликристаллического алмаза (PCD), кубического нитрида бора (CBN) и отличается высоким качеством.

Занимаясь развитием промышленного направления по изготовлению твердосплавного инструмента, сферических концевых фрез и сверл с геометрией HOSOI и концевых фрез с винтовыми режущими пластинами, компания в настоящее время поддерживает внедрение собственных технологий и реализует уникальную продукцию.

Инструмент *DIJET* для точения, фрезерования и сверления пользуется успехом и отмечен доверием потребителей по всему миру [398].

Компания **KORLOY** основана в 1966 г. и является ведущим производителем современных инструментальных материалов и режущих инструментов в Южной Корее (рис. 16.30). В процессе своего развития компания непрерывно осуществляла нововведения с тем, чтобы всегда удовлетворять постоянно изменяющимся требованиям клиентов. В настоящее время в состав KORLOY Inc. входят два завода и научно-исследовательский центр KORLOY R&D, расположенные в городах Cheong-Ju и Jin-Cheon. Благодаря многолетнему опыту, применению самых современных технологий и оборудования, обеспечивается стабильное высокое качество выпускаемой продукции.



Рисунок 16.30 – Офис и производственное здание компании KORLOY

Компания KORLOY ввела в оборот новый универсальный класс инструмента – сплав NC 3220, пригодный для обработки любых видов стали (углеродистой, кованой, инструментальной, различных сплавов,

стали мягких сортов, сортового проката, конструкционной стали и других видов), как для непрерывной, так и для прерывистой обработки.

В ассортимент предлагаемой компанией *Korloy* продукции входят: сменные многогранные пластины ISO из твердого сплава, керметов, сверхтвердых материалов для токарной обработки, фрезерования и сверления; модульные, многофункциональные инструментальные системы для токарной обработки; торцевые, дисковые фрезы с СМП для обработки плоскостей, уступов и пазов; концевые и насадные торцевые, кукурузные, пазовые, контурно-копирные радиусные фрезы, фрезы для снятия фасок; резьбовые фрезы с СМП; цельные концевые цилиндрические и радиусные фрезы, сверла из мелкозернистого твердого сплава без износостойкого покрытия и с покрытием [399].

Инструмент и оснастка ***RBH (компания E Chee Machine Tools Co.LTD)*** производится на Тайване с 2011 года совместно компаниями *Lee Chee Enterprise Co., Ltd.* и *I Machine Tools Corp.* В номенклатуру производимого инструмента входит оснастка, как для станков с ЧПУ фрезерной/токарной группы, так и для универсального металлорежущего оборудования.

Производство компании *E Chee Machine Tools Co., Ltd.* оснащено новейшим автоматизированным оборудованием: фрезерными и токарными обрабатывающими центрами с ЧПУ, шлифовальными станками и универсальным металлорежущим оборудованием производства Тайваня и Японии. Японские высокоточные измерительные машины обеспечивают тщательный контроль качества всей выпускаемой продукции. Основным залогом успеха предприятия является профессионально организованный трудовой коллектив.

В настоящее время компания ориентируется на рынки СНГ, Восточной Европы и Юго-Восточной Азии.

Выпускаемая продукция: расточные системы (расточные головки, расточные патроны, борштанги, различные стальные и твердосплавные удлинители/переходники); инструментальная и станочная оснастка (силовые фрезерные патроны, прецизионные высокоскоростные цанговые патроны и цанги, термopatроны/термооправки, патроны для торцевых фрез и др.) [401].

Корпорация ***Hitachi Tool (Hitachi Tool Engineering, Ltd.)*** – одна из лучших компаний в костяке современных предприятий, специализирующихся на изготовлении и реализации режущих изделий.

В 1987 году в результате слияния двух производителей, занимающихся выпуском продукции для металлообработки, было сформировано подразделение *Hitachi Tool*: были объединены компания *Hitachi Carbide*, изготавливающая твердосплавный инструмент, и организация *Japan Tool Manufacturing*, специализирующаяся с момента основания в 1933 году на инструменте из быстрорежущей стали.

Основными принципами политики компании являются стремление к изучению и внедрению новых продвинутых технологий, организация надежной системы управления производственным процессом и продажами, а также предоставление продуктов и услуг, способных удовлетворить требования заказчиков и стимулировать уровень спроса.

Благодаря новым технологиям и методам производства, широкому спектру лучших изделий, а также предлагаемым решениям для повышения эффективности обработки, высокоточный твердосплавный инструмент *Hitachi* для фрезерования заслужил звание признанного лидера среди аналогичных продуктов. Продукция предприятия может применяться даже для сложных материалов и идеально подходит для решения проблем в области производства штампов, пресс-форм и прочих изделий со сложным профилем.

Инструмент, производимый *Hitachi Tool*: концевые фрезы со сменными твердосплавными пластинами, четырехзубые и шестизубые фрезы для фрезерования сложнопрофильных поверхностей, концевые сферические фрезы, модульные фрезы, сменные торцевые фрезы; расточные оправки; сверла; резьбофрезы, твердосплавные метчики; твердосплавные режущие пластины для фрезерования, токарные пластины, пластины из сверхтвердых материалов (CBN, PCD), канавочные пластины, керамические и металлокерамические пластины (Cermet), сменные многогранные пластины из субмикронных твердых сплавов, резьбовые пластины, сменные пластины для сверл [403].

Компания *Sumitomo Electric Carbide* – это один из мировых лидеров в области исследований, разработки и производства инструмента для металлообрабатывающей индустрии. Бизнес организации зародился в Киото, исторической столице Японии, около 400 лет назад.

Уже четверть века целью компании *Sumitomo* является совершенный дизайн и производство исключительно передового режущего инструмента. Многочисленные высокотехнологичные исследования и постоянное развитие производителя инструмента, а также впечатляющие идеи, воплощенные в дизайне, позволяют предлагать клиентам широкий выбор сверл, фрезерных систем и твердосплавных пластин, в том числе и с PCBN-и PCD-покрытием. Каждое изделие из всего спектра инструмента разработано специально для достижения высокого качества и максимальной производительности предприятий, задействованных в промышленном производстве.

Инновационный металлорежущий инструмент *Sumitomo* разнообразен и реализуется в большинстве точек по всему миру. Ассортимент продукции насчитывает множество наименований, способных удовлетворить любые запросы, возникающие на производстве [404].

Компания *Kitagawa Europe LTD* более 50 лет выпускает продукцию (поворотные столы, патроны, механизмы захвата и другое), которая высоко оценивается клиентами по всему миру.

Компания *Kitagawa Europe*, основанная более 70 лет назад, производит инструментальную оснастку для металлорежущих станков. В настоящее время инструмент *Kitagawa Europe* представлен поворотными столами, механизированными патронами, гидравлическими цилиндрами и цанговыми патронами. Команда специалистов компании все время работает над новыми продуктами с оптимизированной конструкцией, которые позволяют справиться с любыми задачами производства.

Начало деятельности компании **Kyocera** датируется 1959 годом: тогда это была всего лишь небольшая загородная мастерская, в штате которой числилось 28 сотрудников. Теперь же **Kyocera** представляет собой многоотраслевое международное предприятие, основными приоритетами которого являются непрерывный рост и развитие [406].

Предприятие предоставляет большой выбор инновационных продуктов для различных производственных задач. Инструмент *Kyocera* изготовлен из таких материалов, как карбид, металлокерамика, керамика, КНБ и поликристаллический алмаз.

Основанная в 1934 году компания **Mitutoyo** стала мировым лидером в производстве продуктов и услуг метрологии. Компания *Mitutoyo* работает более чем в 100 странах, включая разработку, производство и продажи. *Mitutoyo Group* имеет более 80 филиалов и национальных дистрибьюторских сетей, 65 центров решений, 17 производственных площадей, 6 научно-исследовательских лабораторий, 12 метрологических институтов и 20 калибровочных лабораторий. Только в Японии у *Mitutoyo* два участка разработки, 10 производственных объектов, 2 метрологических института, 5 калибровочных лабораторий и 7 сервисных центров [407].

Компания **NS TOOL**, основанная в декабре 1954 года, выпускает высококачественный металлорежущий инструмент (рис. 16.31). В 1972 году были представлены высокопроизводительные концевые фрезы для использования в металлообрабатывающей промышленности, а в 1980 году выпущены цельнотвердосплавные концевые фрезы, благодаря которым была охвачена и отрасль изготовления штампов и пресс-форм. Головной офис предприятия расположен в Токио.

Инструмент, производимый компанией NS TOOL: концевые фрезы с прямоугольными зубьями; сферические концевые фрезы; конические концевые фрезы; конические концевые фрезы со сферическим наконечником; радиусные концевые фрезы; конические радиусные концевые фрезы; фасонные резцы; патроны; серия фрез по алюминию, пластику и для медных электродов; микросверла; сверла; резьбовые фрезы [408].

Компания **TANOI MFG. CO., LTD** была основана 3 ноября 1923 года. Это предприятие, расположенное в Токио (Япония), является производителем режущего инструмента – метчиков и плашек (рис. 16.32).

В 1971 году был образован союз с компанией *Sumitomo Electric Ind.Ltd.* для производства и реализации твердосплавных метчиков. Позже был налажен выпуск борфрез, метчиков с винтовыми канавками, многофункциональных систем для резбошлифования.



Рисунок 16.31 – Центральный офис компании NS TOOL



Рисунок 16.32 – Головной офис компании TANOI

С момента основания инженеры компании занимали позицию первооткрывателей в разработке новых прорывных для индустрии решений, таких как первые трехгранные резбонарезные насадки и первая поворотная резбофрезерная система. Решения компании представлены тремя основными линиями – серией резбонарезного инструмента Vardex, инновационной Groovex для нарезки и обработки канавок и лидирующими в своей сфере шлифовальными решениями Shaviv [409].

16.2 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите ведущие предприятия Республики Беларусь в области производства лезвийного и абразивного инструмента.

2. Дайте краткую характеристику Оршанскому инструментальному заводу.

3. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Российской Федерации.

4. Перечислите виды продукции, выпускаемой ОАО «Белгородский абразивный завод».

5. Перечислите виды продукции, выпускаемой Московским инструментальным заводом.

6. Перечислите виды продукции, выпускаемой ООО «ИТО-Туламаш».

7. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента дальнего зарубежья.

8. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Германии.

9. Дайте краткую характеристику компаний CeramTec и Dumme.

10. Дайте краткую характеристику компаний Guhring и Hoffmann.

11. Дайте краткую характеристику компаний Walter и Zecha.

12. Дайте краткую характеристику компании IBERCUT.

13. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Швейцарии.

14. Дайте краткую характеристику компаний ALESA и Swiss Tool.

15. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Испании.

16. Дайте краткую характеристику компаний Izar и KENDU.

17. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Италии.

18. Дайте краткую характеристику компаний CGMdiamondtools и НТТ.

19. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Швеции.

20. Дайте краткую характеристику компаний Sandvik Coromant и SECO.

21. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента США.

22. Дайте краткую характеристику компаний IMCO и Kyocera.

23. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Израиля.

24. Дайте краткую характеристику компаний Erojet и Iscar.

25. Перечислите крупнейших производителей лезвийного и абразивного инструмента Японии.

26. Дайте краткую характеристику компаний HitachiTool, Kitagawa и Mitutoyo.

17 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ И РЕЗЬБ

17.1 Тенденции развития обработки зубчатых венцов

17.1.1 Фирмы-производители и направления развития

Самым известным мировым производителем зубообрабатывающего оборудования является корпорация *Gleason*, включающая в себя фирмы *The Gleason Works* (США), *Gleason-Pfauter* и *Gleason-Hurth* (Германия). Широкой известностью и популярностью пользуются зубообрабатывающие станки таких фирм, как *Sampuntensili* (Италия), *Fassler*, *Lambert-Wahli*, *Reishauer*, *Oerlikon* (Швейцария), *Mitsubishi* (Япония), *Klingelnberg*, *Liebherr*, *Hufier* (Германия). Все станки, выпускаемые фирмами Германии, США, Швейцарии и Японии, оснащены системами ЧПУ.

Кроме того, зубообрабатывающее оборудование производится рядом компаний, менее известных в России. Например, чешской компанией *Gear-spect*, американскими компаниями *Brown & Koch*, *Parker Industries*, *Cole* и рядом других. Однако, поскольку продукция этих фирм в России практически не представлена, будем ориентироваться на основных мировых производителей.

Основные направления развития зубообработки принципиально не отличаются от общих тенденций в мировом станкостроении:

- высокоскоростная обработка;
- «сухое резание» (то есть обработка без СОЖ или с минимальным ее количеством);
- применение встроенных приводов главного движения;
- модульный принцип компоновки с общими базовыми элементами для станков различного назначения – направляющими, приводами, системами управления, системами автоматизации, транспортерами, порталами, роботами;
- применение систем ЧПУ;
- распространение комбинированных методов обработки (прежде всего закаленных зубчатых колес – точение и шевингование, точение и шлифование зубьев с применением кругов из КНБ, имеющих возможность правки);
- совершенствование методов производства заготовок для колёс.

17.1.2 Изготовление заготовок

Горячая объёмная штамповка получила наибольшее распространение для изготовления заготовок стальных цилиндрических колёс.

При этом предпочтительным методом для получения заготовок колёс-дисков является штамповка на горячештамповочных (многопозиционных) автоматах (ГША). Это объясняется тем, что расход металла на поковки, полученные на ГША, на 15...25 % меньше по сравнению с поковками, изготовленными на кривошипных горячештамповочных прессах.

Ведущим мировым производителем ГША является фирма HATEBUR (Швейцария). В качестве исходной заготовки на ГША мод. Hotmatic используют горячекатаный прутки. Прутки автоматически поступают в индуктор, где их нагревают токами высокой частоты до температуры ковки, калибруют с помощью приводных втягивающих роликов, а затем отрезают с высокой точностью неподвижным (закрытым) и гильотинным ножами.

Мерная заготовка поступает на первую позицию, где её осаживают с целью создания благоприятной формы для последующей штамповки и удаления окалины. На второй и третьей позициях выполняют предварительное и окончательное формообразование в закрытых штампах. Четвёртую позицию обычно используют для прошивки отверстий. Поверхности поковок получают с высокой точностью Т2 и Т3 (ГОСТ 7505–89), с небольшими припусками под механическую обработку, без штамповочных уклонов и окалины.

Новые конструктивные решения штамповочных автоматов мод. Hotmatic позволили увеличить внешний диаметр D до 180 мм (диаметр прутка до 90 мм), массу до 7,5 кг и сократить припуски на обработку. В зависимости от размеров заготовки производительность штамповки составляет 50...200 шт./мин.

Для обработки заготовок незакалённых цилиндрических колёс-дисков (точность базовых отверстий Н6, Н7) и колёс-валов (точность базовых шеек h6, h7) перед зубообработкой хорошо зарекомендовали себя горизонтальные токарные станки с двумя, тремя управляемыми осями ЧПУ.

17.1.3 Зубофрезерование

Корпорация *Gleason* (будем рассматривать продукцию всех фирм, входящих в корпорацию, в целом, не указывая названия конкретных фирм) предлагает семнадцать моделей зубофрезерных станков для обработки цилиндрических колёс. Из них четыре модели предназначены для фрезерования горизонтально устанавливаемых колёс с максимальным диаметром заготовки от 80 до 180 мм и максимальным модулем 2,5–5 мм и тринадцать моделей с вертикально устанавливаемой заготовкой при максимальном диаметре заготовки от 125 до 4000 мм и мак-

симальном модуле от 3 до 45 мм. Кроме того, Gleason предлагает девять моделей зубофрезерных станков для изготовления конических колес с максимальными диаметром и модулем 266–1000 мм и 10–31 мм соответственно. Поскольку перечисление только названий всех моделей займет слишком много места, остановимся только на нескольких из них.

Станок модели GP130 предназначен для высокоскоростной обработки (скорость – 300 м/мин и выше) вертикально устанавливаемых колес без применения СОЖ. Обработка ведется червячной фрезой. Максимальный диаметр заготовки – 130 мм, максимальный модуль – 3 мм, угол наклона зубьев – $\pm 45^\circ$. Проблема быстрого удаления стружки из рабочей зоны решена совместно с фирмой *Bernard Ringer Apparatebau*, специализирующейся в области пылеотсасывающих систем.

Станок модели Phoenix II 275HC CNC предназначен для нарезания зубьев конических колес с максимальным диаметром 275 мм как в условиях «сухого резания», так и с использованием СОЖ (рис. 17.1). Конструктивными особенностями станка являются: специальная монолитная стойка, обеспечивающая минимум занимаемой станком площади; качающийся инструментальный шпиндель, создающий минимальное перекрытие режущей головки и заготовки с максимальной жесткостью и термической стабильностью; удобное размещение режущей головки и заготовки, позволяющее оператору быстро осуществлять загрузку и наладку станка.

В станке использованы высокомоментные двигатели прямого привода на постоянных магнитах, обеспечивающие частоту вращения шпинделя до 900 мин^{-1} . Прямой привод позволяет добиться скоростей линейных перемещений до 10 м/мин.



Рисунок 17.1 – Станок модели Phoenix II 275HC

Горизонтальные зубофрезерные станки моделей GN 10A, GN 20A и GN 25A фирмы *Mitsubishi* сконструированы специально для «сухого резания». Они предназначены для изготовления маломодульных зубчатых колес диаметром до 100, 200 и 250 мм соответственно со скоростью до 200 м/мин. Частота вращения двигателей этих станков – 300–3000 мин⁻¹, их осевой сдвиг достигает 110 мм, угол наклона фрезерной головки равен +40°, а расстояние между центрами фрезы и заготовки может изменяться в пределах от 30 до 120 мм. Скорость осевой и радиальной подачи составляет 1–1000 мм/мин (рабочая) и 10000 мм/мин (ускоренная).

Компания *Liebherr* предлагает два десятка моделей зубофрезерных станков с максимальным диаметром заготовки от 40 до 4500 мм и максимальным модулем от 3 до 30 мм. В качестве примера приведем станок модели LCV 40, предназначенный для высокоскоростной обработки зубчатых колес диаметром до 40 мм и модулем до 2 мм без применения СОЖ. Наличие двух попеременно работающих вертикальных шпинделей позволяет одновременно производить загрузку и разгрузку заготовок, сводя тем самым к минимуму время их смены. Такая компоновка облегчает также удаление стружки, что немаловажно при обработке без СОЖ. Параметры высокоскоростной обработки определяются типом материала устанавливаемых червячных фрез. В качестве материала используют обычно быстрорежущую сталь, в том числе полученную методами порошковой металлургии, твердые сплавы, включая сверхмелкозернистые, и керметы. Максимальная скорость резания, достигаемая при обработке без СОЖ фрезами из быстрорежущей стали, полученной методами порошковой металлургии с покрытиями, составляет 150 м/мин, твердыми сплавами – 300 м/мин, а керметами – 500 м/мин.

Фирмы *Wahli* и *Lambert* по традиции специализируются на производстве станков для фрезерования мелко модульных зубчатых колес. Станок модели L7500 CNC фирмы *Lambert* с максимальным диаметром заготовки 75 мм и максимальным модулем 1,25 мм предназначен как для «сухой обработки», так и с применением СОЖ. Станок модели 124 CNC фирмы *Lambert* предназначен для фрезерования одно- и многозаходных резьб и червяков с модулем до 2 мм. Максимальный диаметр заготовки – 40 мм, частота вращения фрезы – 6000 мин⁻¹, система ЧПУ фирмы *Fanuc*. Станок модели 100 CNC фирмы *Wahli* предназначен для фрезерования с применением СОЖ зубчатых колес диаметром до 20 мм и модулем до 0,6 мм с любым количеством зубьев. Частота вращения фрезы – до 20000 мин⁻¹. Такие колеса находят применение в основном в часовой промышленности. Управление станком осуществляется от пятикоординатного ЧПУ модели AGIL8 собственного производства.

Компания *Samputensili* предлагает тринадцать моделей фрезерных станков для обработки цилиндрических зубчатых колес с максимальными диаметром и модулем 100–4000 мм и 3–40 мм соответственно и

две модели станков для обработки конических колес с максимальными диаметрами 250 и 500 мм и модулями 10 и 16 мм.

Несколько моделей зубофрезерных станков представляют *Klingelnberg*, *Oerlikon*, а также чешская фирма *Geagspect*. Все упомянутые модели снабжены системами ЧПУ.

17.1.4 СОЖ при зубофрезеровании

Если зубофрезерование производят с подачей смазочно-охлаждающей жидкости, то в качестве СОЖ используют дорогостоящие минеральные и синтетические масла. Испарения, возникающие при использовании масел, не совместимы с окружающей средой, так как содержат хлор, тяжёлые металлы и ароматические углеводороды. Станки должны быть оснащены мощными установками для удаления масляного тумана, не допуская его эмиссию в окружающую среду, а также устройствами для очистки, охлаждения и подачи СОЖ в зону резания. Подача СОЖ уменьшает износ от трения, охлаждает инструмент и заготовку и отводит стружку из зоны обработки. Однако неравномерное охлаждение зубьев вызывает повышенный износ режущей кромки первой входящей в зацепление. Снижается стойкость червячных фрез и увеличивается расход режущего инструмента. В этих условиях очень сложно добиться стабильности процесса зубофрезерования. Обычно разброс точности фрезерованных цилиндрических колёс достаточно большой (7–9 степени точности по ГОСТ 1643), что затрудняет проведение последующих чистовых операций.

Большое распространение для обработки зубчатых колёс легковых автомобилей ($m = 1...3$ мм), а также грузовых автомобилей и транспортных средств ($m = 3...5$ мм) получил метод зубофрезерования без подачи СОЖ, так как этот метод экономически эффективней и экологически безопасней для окружающей среды по сравнению с традиционным зубофрезерованием с СОЖ.

Очень важно, чтобы при зубофрезеровании без СОЖ независимо от режимов резания и геометрии зубчатого колеса температура заготовки не превышала 30–50 °С. Для обеспечения термического баланса зубофрезерного станка мощным потоком воздуха (давление 0,4...1,0 МПа) охлаждают зону резания и удаляют образующуюся стружку. При этом станок должен быть оснащён термостойким кожухом и специальными устройствами для удаления и транспортирования стружки и металлической пыли.

Если при зубофрезеровании с СОЖ, как правило, применяют одноцикловый способ передвижки фрезы, когда после обработки одной или нескольких заготовок червячную фрезу автоматически передвигают

вдоль оси и вводят в работу не изношенные или частично изношенные зубья фрезы, то для обработки без СОЖ этот способ неприемлем. Недостатком одноциклового способа является высокая термическая нагрузка на зубья фрезы.

С целью снижения теплонапряжённости процесса при обработке без СОЖ применяют многоцикловой способ передвижки фрезы. После нарезания зубьев у одной заготовки производят передвижку на величину h значительно большую, чем при одноцикловом способе (рис. 17.2). Периодическую передвижку 4 выполняют против направления вращения заготовки 3 . В этом случае не участвовавшие в работе зубья 5 фрезы окончательно формируют профиль зубьев колеса. После достижения зоной резания конца рабочей длины 6 первый цикл n заканчивается, фреза возвращается в начальное положение 2 и со смещением Δh начинается второй цикл.

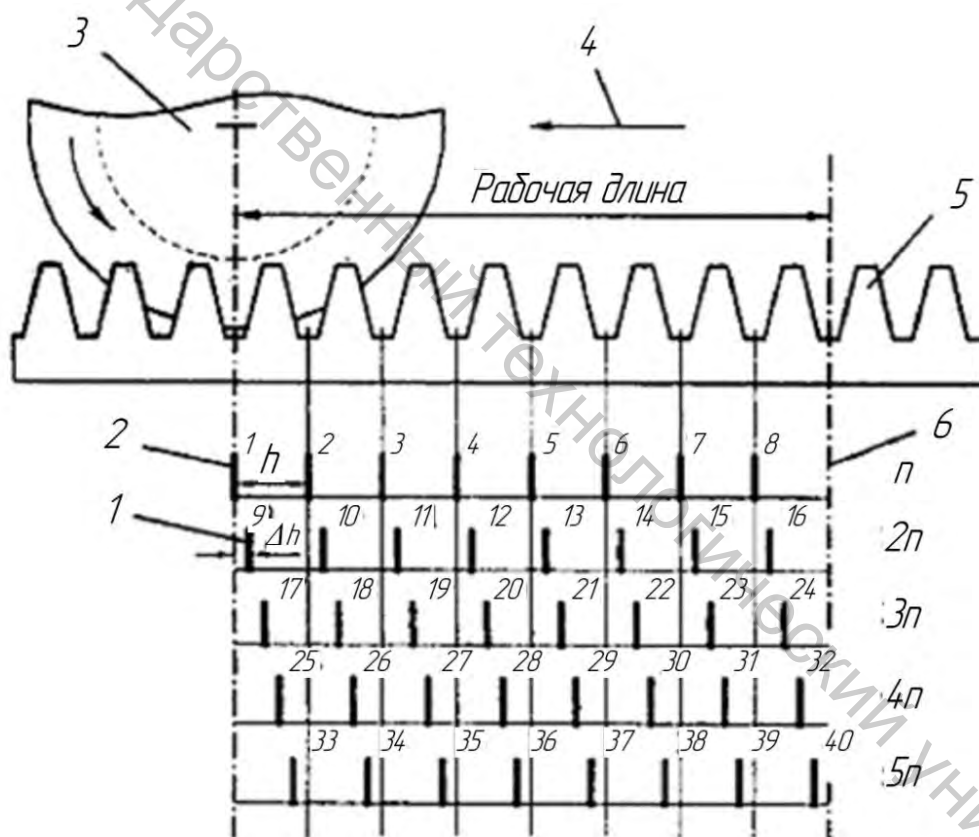


Рисунок 17.2 – Схема многоциклового передвижки червячной фрезы

При зубофрезеровании без СОЖ и многоциклового передвижке червячной фрезы цеховая себестоимость обработки одной заготовки снижается на 13–15 % за счёт применения станков без установки для удаления масляного тумана и устройств для очистки, охлаждения и подачи СОЖ, а также из-за отсутствия расходов на СОЖ. При этом ста-

бильно достигается 7...8 степень точности по ГОСТ 1643 и шероховатость поверхности зубьев Ra 1,6...3,2 мкм.

17.1.5 Зубодолбление

Gleason предлагает двенадцать моделей зубодолбежных станков с максимальным диаметром заготовки от 130 до 2400 мм и модулем от 4 до 16 мм. Интерес представляют две новые модели, а именно – GP 300 ES и GP 500 ES, разработанные на базе среднегабаритных станков PSA 300 и PSA 500 (рис. 17.3). Станки предназначены для изготовления зубчатых колес диаметром до 300 и 500 мм соответственно и модулем 6 мм. Максимальная длина хода – 85 мм, диапазон ходов инструментального шпинделя – 80–800 ходов/мин. Особенностью этих новых моделей станков является долбежная головка с «электронной винтовой направляющей».



Рисунок 17.3 – Зубодолбежный станок ЧПУ GP300S

Преимущества новой конструкции состоят в следующем:

- угол подъема винтовой линии зуба обрабатываемой шестерни необходимо лишь ввести в программе диалога;

– не требуется никаких изменений в конструкции механических винтовых направляющих;

– трудоемкость всего процесса наладки станка снижается не менее чем на час и сводится лишь к замене режущего инструмента и зажимной оснастки;

– исключены затраты времени на подготовку производства, связанные с изготовлением винтовых направляющих; ускорено изготовление новых косозубых зубчатых пар;

– отсутствует необходимость в дорогостоящей и трудоемкой операции перешлифовки винтовых направляющих с целью компенсации угловых погрешностей, возникших вследствие термообработки;

– электронная винтовая направляющая позволяет вводить угловые коррекции для каждой последующей обрабатываемой детали, исключены затраты на изготовление набора различных винтовых направляющих;

– зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления с углами подъема винтовой линии более 45° , то есть весьма малыми значениями хода винтовой линии, могут быть обработаны на этих станках без всяких проблем.

Электронная винтовая направляющая выполнена в виде беззорового прямого привода шпинделя. Существующие при зубодолблении режимы резания могут применяться для соответствующих диапазонов станков моделей ES.

По количеству предлагаемых моделей первенство принадлежит фирме *Liebherr* – более двух десятков с максимальным диаметром заготовки от 80 до 4500 мм и модулем от 3 до 22 мм. Кроме того, компания *Liebherr* предлагает две модели станка серии Comby-Cut – фрезерование и долбление.

Компания *Mitsubishi* представляет пять моделей зубодолбежных станков с максимальным диаметром от 150 до 1000 мм, предназначенных для работы как в режиме «сухого резания», так и с использованием СОЖ. В этих станках применяется запатентованный фирмой прецизионный вал балансира, что в значительной степени предотвращает шум и вибрации станка, возникающие при работе без использования СОЖ.

Долбежный станок для мелкомодульных зубчатых колес модели L5120CNC (максимальный диаметр – 60 мм, максимальный модуль – 4 мм) предлагает компания *Lambert*.

Стоит ли говорить о том, что все описанные станки оснащены современными системами ЧПУ, программное обеспечение которых максимально адаптировано к решению задач зубообработки. И, чтобы больше не возвращаться к этому вопросу – все упоминаемые в дальнейшем станки также управляются системами ЧПУ.

17.1.6 Зуботочение

На протяжении нескольких десятков лет интенсивные поиски процесса нарезания незакалённых зубьев цилиндрических колёс с внутренним зацеплением равного по производительности и техническим возможностям зубофрезерованию, которое не применяется для внутренней обработки, не дали положительных результатов. Поэтому усовершенствованный фирмой *Klingelberg* известный более ста лет процесс зуботочения является актуальной разработкой.

Зуботочением называют метод нарезания зубьев цилиндрических колёс с внутренним и реже с внешним зацеплением с помощью обкатного инструмента типа круглого зуборезного долбяка с режущими кромками на торце. В основу зуботочения положена винтовая передача, которую образует зубчатое колесо 1 и долбяк 2 (рис. 17.4 а). Благодаря углам наклона β_2 и долбяка β_0 образуется угол скрещивания, который при обработке равен $\Sigma = \pm 26 \dots 35^\circ$.

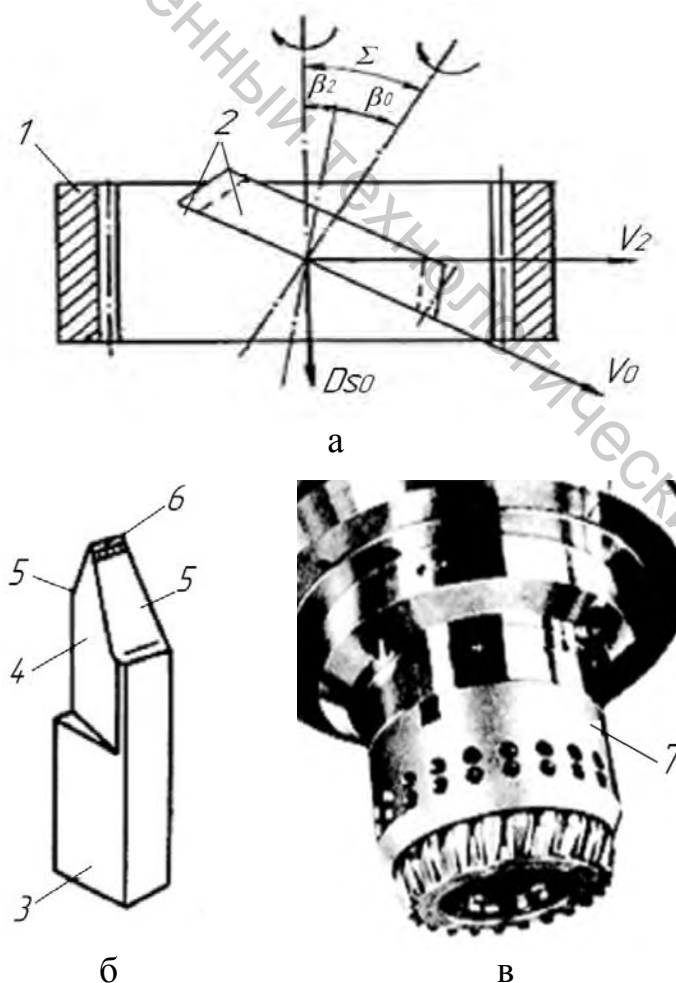


Рисунок 17.4 – Зуботочение цилиндрических колёс

В процессе резания при взаимном круговом движении инструмента $V0$ и заготовки $V2$, а также под действием осевого движения подачи инструмента $DS0$ каждая режущая кромка долбяка контактирует боковыми поверхностями зубьев в различных точках по высоте и длине. Так как контакт инструмента и заготовки носит кратковременный характер, то процесс резания проходит с низким теплообразованием при высоких угловых скоростях. При зуботочении передний угол может изменяться на входящей и выходящей стороне зуба долбяка от 0 до 50, что приводит к увеличению составляющих силы резания и требует больших задних углов по вершине и на боковой режущей кромки ($12...15^\circ$), а также специальной заточки инструмента. При обработке инструментами из быстрорежущей стали со скоростью резания 30...50 м/мин и осевой подачей 0,5...2,0 мм/оборот обеспечивается высокая производительность подобная производительности при зубофрезеровании. Однако низкая точность профиля зубьев и окружных шагов (8–9-я степени точности по ГОСТ 1643-81) способствовали ограниченному применению этого метода в промышленности.

Для улучшения условий резания был использован режущий инструмент с твёрдосплавными острозаточенными резцами 3 аналогично применяемым при нарезании конических колёс с криволинейными зубьями (рис. 17.4 б). У таких резцов передний угол 4 и задние углы по вершине 6 и на боковых режущих кромках 5 могут приниматься в широком диапазоне с учётом оптимизации процесса стружкообразования. После профилирования, заточки и нанесения износостойкого покрытия (или покрытий) резцы устанавливаются в резцовую головку 7 с высокой точностью (радиальное биение не более 0,0025 мм) и жёстко закрепляются двумя винтами (рис. 17.4 в).

Зуборезный станок мод. OERLIKON C 29 (Швейцария) с верхним расположением инструментального шпинделя, имеющий высокую статическую и динамическую жесткость, микронную точность движения основных узлов одновременно по нескольким линейным и круговым осям и хороший отвод из зоны резания потока стружки, обеспечил дополнительную надёжность при выполнении процесса зуботочения колёс с максимальными значениями: модуль 5 мм, внешний диаметр 280 мм (рис. 17.5).

Разработанный процесс позволяет выполнять зуботочение без подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) со скоростью резания 150...250 м/мин при частоте вращения инструментального шпинделя до 2000 об/мин.

Область применения этого метода достаточно широка:

- зубчатые колёса планетарных механизмов и гидромеханических коробок передач с эвольвентным внутренним зацеплением;
- внутренние шлицевые зацепления;

– зубчатые колёса с внешним эвольвентным зацеплением с близко расположенными зубчатыми венцами, ограничивающими вход и выход зубьев червячной фрезы.

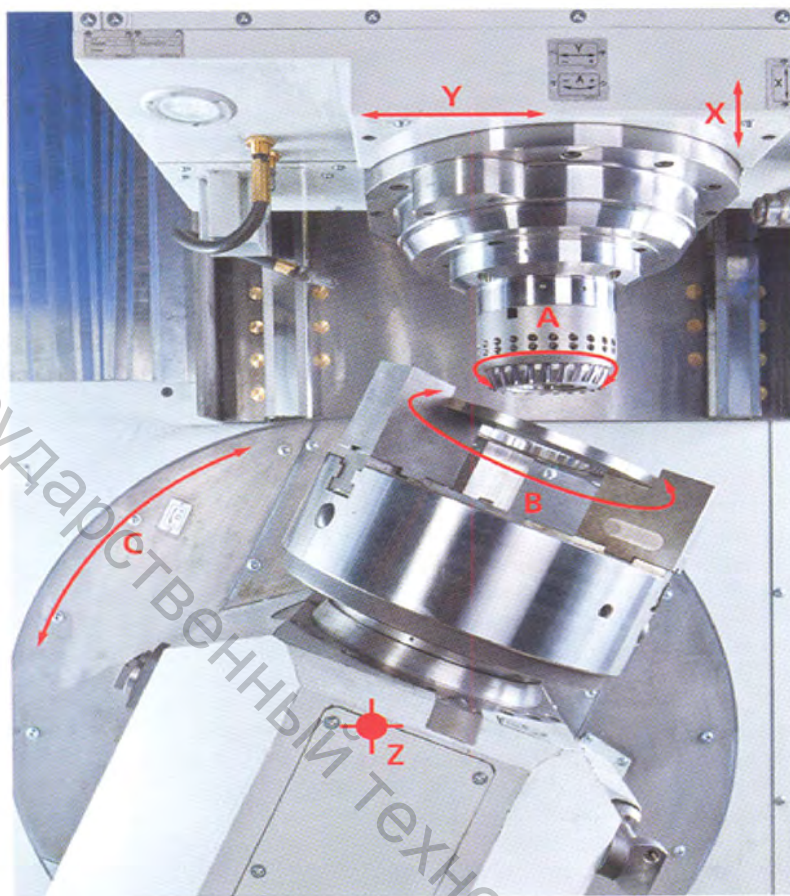


Рисунок 17.5 – Рабочая зона станка для зуботочения:
A, B, C, X, Y, Z – управляемые оси

17.1.7 Зубошлифование

Современные условия эксплуатации зубчатых передач в ответственных узлах и агрегатах требуют от них повышения вращающих моментов, снижения массы и размеров, плавности и бесшумности вращения, увеличения прочности и долговечности работы.

В связи с этим существенно возросли требования к точности и шероховатости поверхности зубьев цилиндрических передач. При анализе существующих технологических процессов можно сделать вывод, что наиболее эффективной операцией финишной обработки рабочих поверхностей зубьев является зубошлифование. По сравнению с другими операциями оно позволяет не только существенно снижать погрешности зубьев, полученные на предварительных механических операциях

и при термической обработке, но и стабильно получать поверхности зубьев с параметрами точности в заранее заданном диапазоне. Следует также отметить, зубошлифование стабильно обеспечивает шероховатость поверхности зубьев $Ra\ 0,3\text{--}1,6\ \mu\text{м}$.

Важным этапом развития финишной обработки закаленных зубчатых колес явилось создание метода непрерывного обкатного зубошлифования червячным шлифовальным кругом. Непрерывное обкатное зубошлифование является одним из наиболее производительных и точных методов шлифования зубьев. В качестве инструмента используется червячный шлифовальный круг, исходный контур которого имеет форму зубчатой рейки. Эвольвентный профиль зуба образуется посредством движения обката червячного шлифовального круга и зубчатого колеса, находящихся в беззазорном зацеплении. Точечный контакт на нескольких левых и правых боковых поверхностях зубьев колеса и витков круга при их вращении обеспечивает непрерывный съем материала. Важнейшей составляющей непрерывного обкатного шлифования является автоматическая профильная правка червячного шлифовального круга.

Этот метод находит достаточно широкое применение, но наиболее эффективно используется в станках признанного мирового лидера в зубошлифовании фирмы *Reishauer*. Зубошлифовальные станки этой фирмы моделей RZ 150, RZ 362, RZ 400, RZ 820, RZ1000 (число в названии модели соответствует максимальному внешнему диаметру заготовки) могут шлифовать колеса различной формы: валы, диски, зубчатые сегменты, зубчатые долбяки, дисковые шеверы (рис. 17.6).



Рисунок 17.6 – Зубошлифовальный станок мод. RZ 1000 фирмы REISHAUER, работающий непрерывным обкатным методом ($m \leq 10\ \text{мм}$, $d \leq 1000\ \text{мм}$)

Особенно показателен в этом смысле станок модели RZ 400. Конструктивное расположение узлов станка существенно отличается от применяемого до настоящего времени, что позволяет решать не выполнимые ранее технологические задачи. Схема станка и его оси показаны на рисунке 17.8. Шлифовальный шпиндель 2 установлен в жесткой поворотной инструментальной бабке 1 и совершает все движения, необходимые для ведения процесса шлифования и правки. Заготовка 3 осуществляет только вращение (без линейных перемещений), что обеспечивает ей высокую жесткость и удобство для автоматической и ручной загрузки. Оси станка: $A1$ – поворот шлифовальной головки, $B1$ – вращение шлифовального круга, $C1$ – поворот инструментальной бабки, C' – вращение шпинделя заготовки, $P1$ – следящее перемещение сопла шлифовального масла, W – перемещение задней бабки, $W1$ – установка по высоте центрирующего пальца, X – радиальная подача шлифовального круга, $Y1$ – тангенциальное перемещение (шифтинг), $Z1$ – осевая подача.

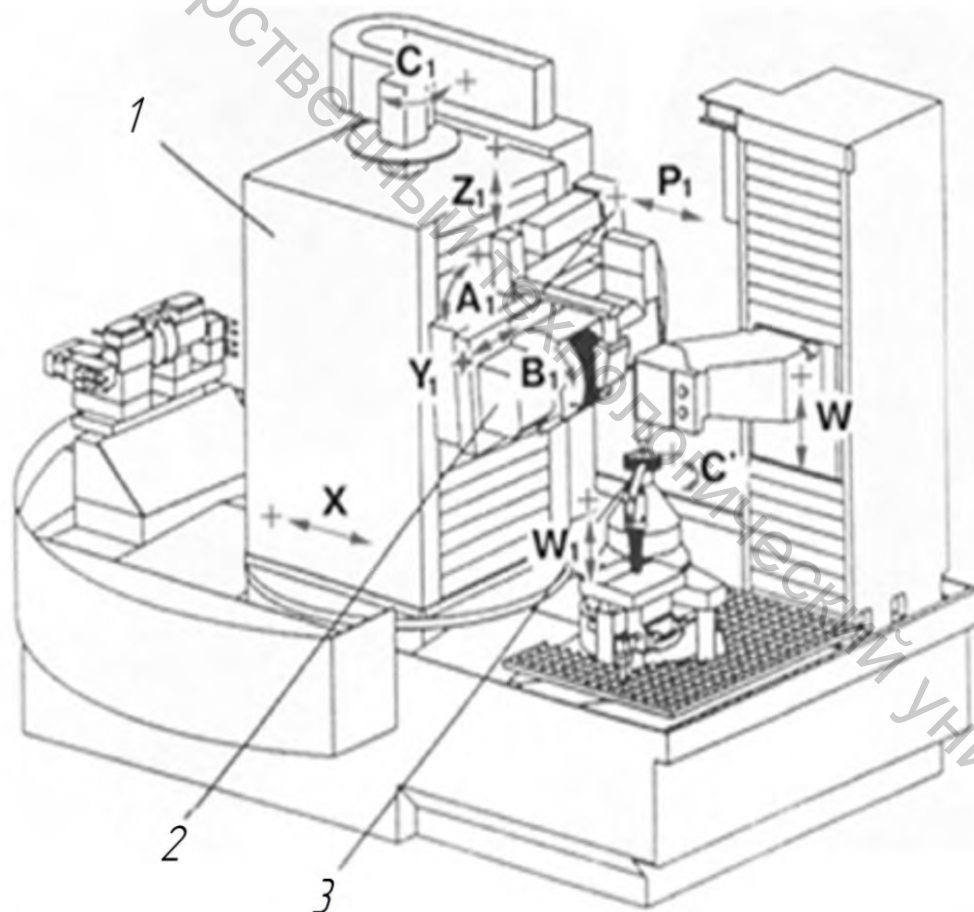


Рисунок 17.8 – Зубошлифовальный станок RZ 400

Кроме того, хорошо известно, что образование в поверхностных слоях остаточных сжимающих напряжений повышает усталостную

прочность зубчатых зацеплений, а образование растягивающих напряжений ее понижает. Специальные математические программы позволяют производить шлифование на станке RZ 400 с такой мощностью, которая обеспечивает возникновение в поверхностных слоях именно сжимающих напряжений.

Для высокопроизводительной комплексной обработки цилиндрических косозубых колес и колес типа «вал» фирма *Reishauer* предлагает станок с ЧПУ RZF. Шлифование и последующее хонингование закаленных профилей зубьев проводят за один установ заготовки. Для правки червячного шлифовального круга и зубчатого хона используют два алмазных зубчатых колеса, имеющих геометрию зубчатого венца со всеми модификациями. Возможна их произвольная взаимозаменяемость.

В перечне производителей зубошлифовальных станков – корпорация Gleason, фирмы Samputensili, Oerlikon, Mitsubishi, Klingelnberg, Liebherr, Hufler.

Корпорация *Gleason* предлагает двенадцать моделей с максимальным диаметром обрабатываемых колес от 245 до 4000 мм.

Компания *Samputensili* выпускает четыре модели станков для шлифования внешних и внутренних зубчатых зацеплений с максимальным диаметром до 500 мм, три модели станков для шлифования червяков и винтообразных зубчатых соединений диаметром до 375 мм и максимальной длиной шлифования до 2950 мм.

Фирма *Hufler* представляет порталный зубошлифовальный станок, предназначенный для обработки наружных колес диаметром до 3000 мм профильным кругом. Величина хода круга вдоль зуба может достигать 1000 мм. Жесткий неподвижный портал изготовлен из полимербетона. Суппорт изделия установлен на гидростатических подшипниках. Смонтированный на нем круглый стол оснащен прецизионным безззорным червячным приводом деления и рассчитан на нагрузку до 35 тонн. Шлифовальный круг с приводом от гидродвигателя позволяет шлифовать зубья с модулем до 25 мм. Имеется автоматическое балансировочное устройство, система попадания во впадину зуба, измерительный щуп для контроля формы зуба. Разворот шлифовальной головки на угол наклона зуба производится автоматически.

17.1.8 Абразивные червячные шлифовальные круги

При зубошлифовании в качестве абразивных материалов для шлифовальных кругов применяют, главным образом, электрокорунд (белый, хромистый, хромтитанистый, микрокристаллический) и реже кубический нитрид бора.

Абразивные червячные шлифовальные круги являются гибкими носителями производящих поверхностей для обработки заготовок зубчатых колёс с различными конструктивными параметрами, в том числе с модификациями по профилю и длине зуба (рис. 17.9). Выбор диаметра, высоты и числа заходов шлифовального круга является компромиссным решением, зависящим от технических и экономических показателей. В зависимости от конструкции станка шлифовальные круги могут иметь максимальные: внешний диаметр 145...350 мм и высоту 104...230 мм. Так как червячный круг в процессе эксплуатации периодически правится, поэтому внешний диаметр до полного износа может быть уменьшен на 30 %.

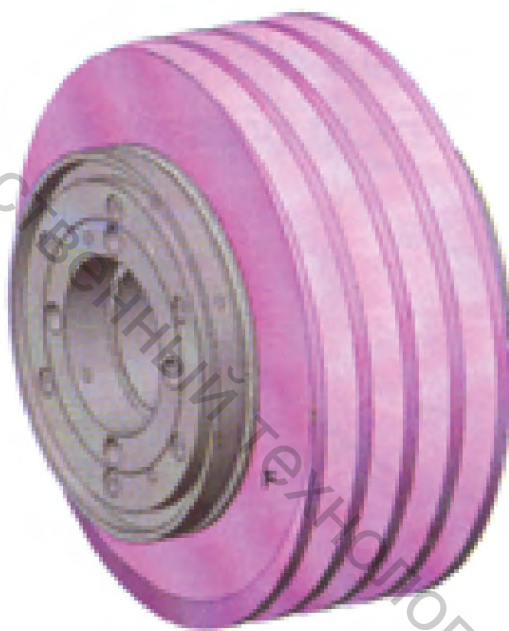


Рисунок 17.9 – Однозаходный абразивный червячный круг

На рисунке 17.10 а показан абразивный червячный шлифовальный круг 5, расположенный на сборной планшайбе 7. По торцам круга устанавливают тонкие бумажные или алюминиевые прокладки 4. Посадку круга на шпиндель зубошлифовального производят по короткому конусу планшайбы 8 и надёжно закрепляют шестью винтами через отверстия 1.

Используют шлифовальные круги прямого профиля (ГОСТ 2424-83 в ред. 1996 г.) с точными диаметральными и линейными размерами (рис. 17.10 б).

Перед установкой на зубошлифовальном станке у червячного круга предварительно должен быть выполнен винтовой профиль, который производят на специальном станке алмазными кругами. Основными данными для предварительной прорезки круга являются модуль и угол

профиля, которые должны соответствовать обрабатываемому колесу, а также число заходов. Точную правку круга производят на зубошлифовальном станке.

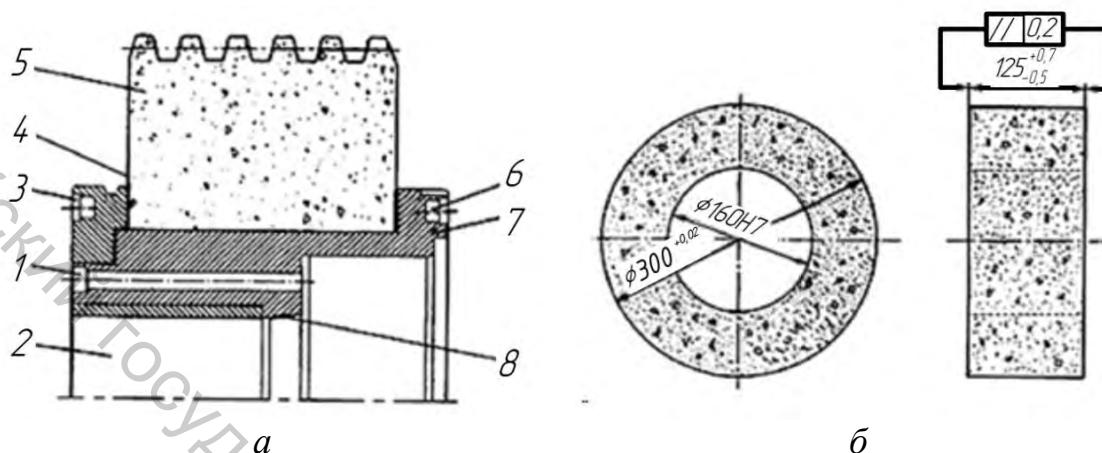


Рисунок 17.10 – Абразивный червячный шлифовальный круг

Наряду с диаметром и высотой шлифовального круга существенное влияние на производительность и точность зубошлифования оказывает число заходов. Основное правило применения многозаходных кругов – число заходов круга не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Фирма *Liebherr* впервые предложила для промышленного применения процесс непрерывного обкатного зубошлифования правящимися червячными кругами с многослойным покрытием КНБ. Червячные круги имеют стальной или алюминиевый корпус, на поверхность которого нанесен в форме винта шлифовальный материал толщиной до 10 мм, состоящий из зерен кубического нитрида бора 1, керамической связки 3 и пор 2 (рис. 17.11 а).

В целях достижения высокой стойкости шлифовальных кругов из КНБ с керамической связкой была разработана новая стратегия тангенциального сдвига круга. Тангенциальный сдвиг необходим для ввода в зону шлифования неизношенных витков червячного шлифовального круга. Таким образом стабильно обеспечивается высокое качество зубошлифования.

При черновом шлифовании зубьев, которое производят, как правило, с диагональным движением подачи V_{sd1} , используют один конец шлифовального круга 4 (рис. 17.11 б). Чистовое шлифование зубьев производят с использованием другого конца круга обычно с осевым движением подачи V_{so1} . Для повышения качества изготовления зубьев чистовое шлифование производят с попутной подачей. После шлифования определенного количества заготовок шлифовальный круг изнашивается, поэтому производят его тангенциальный сдвиг соответственно

на величину A и B , перенося зону шлифования ближе к середине круга. При этом черновое зубошлифование производят с диагональным движением подачи V_{sd1} , а чистовое зубошлифование осуществляют с осевым движением подачи V_{so2} .

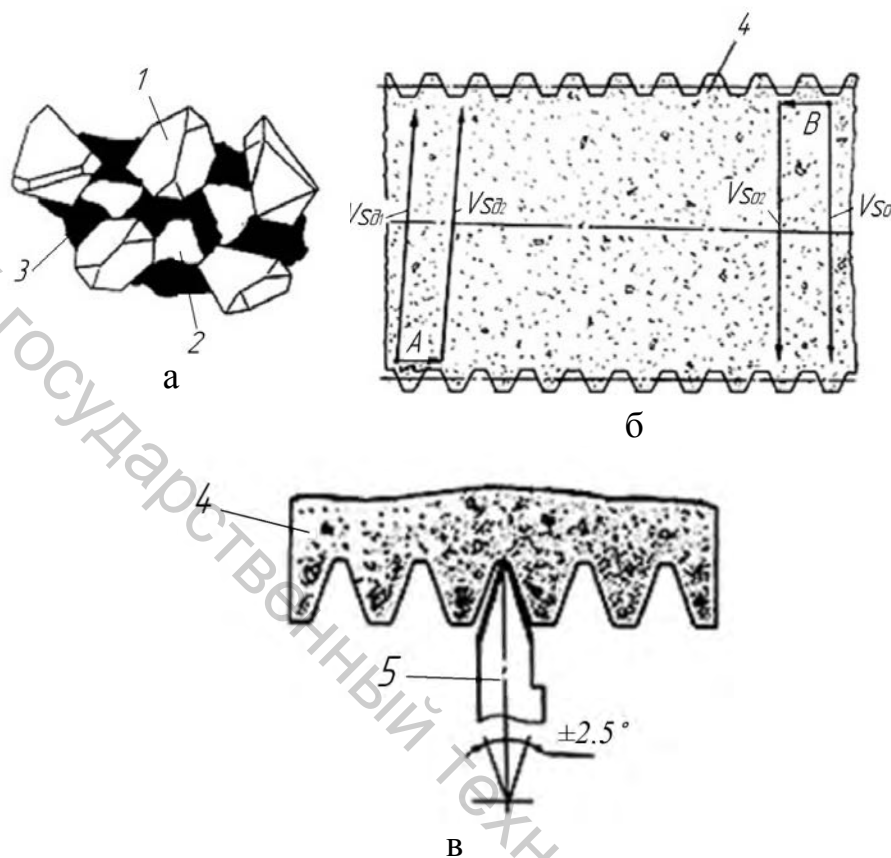


Рисунок 17.11 – Червячный шлифовальный круг из кубического нитрида бора с керамической связкой

Так как объем снимаемого материала при черновом зубошлифовании значительно больше, чем при чистовом, поэтому тангенциальный сдвиг круга при черновом зубошлифовании (зона A) производят после обработки меньшего количества заготовок, чем при чистовом (зона B). В связи с этим зона чернового зубошлифования быстрее перемещается по высоте круга, чем зона чистового зубошлифования. Станок автоматически контролирует перемещение зон чернового и чистового шлифования и при их встрече шлифование прекращается и производится правка круга.

Период стойкости червячного шлифовального круга из КНБ с керамической связкой зависит от величины припуска, режимов резания, геометрических параметров заготовки и обычно в 35–40 раз больше периода стойкости абразивных шлифовальных кругов. Круги с высотой 140–150 мм могут обрабатывать до 1000 заготовок между двумя правками.

Правка шлифовальных кругов из КНБ с керамической связкой, которую производят непосредственно на станке во время остановленного процесса зубошлифования, является сложной задачей. Шпиндель правящего устройства должен иметь высокую жесткость и прецизионное управление.

В качестве правящего инструмента часто используют двухконусный алмазный ролик 5 (рис. 17.11 в). Его применяют для правки шлифовальных кругов 4 с модулем 2,0–10,0 мм и изготавливают с положительным алмазным покрытием. Правку каждой стороны витка осуществляют отдельно с возможностью изменения угла профиля круга $\pm 2,5^\circ$ за несколько рабочих ходов. Чтобы избежать чрезмерного износа правящего алмазного ролика, толщина срезаемого слоя за один рабочий ход не должна превышать 4 мкм.

Проточку внешнего диаметра шлифовального круга производят вершиной двухконусного алмазного ролика. Так как при этом наибольшему износу подвержен внешний диаметр ролика, поэтому алмазные ролики с модулем до 5 мм часто армируют с помощью поликристаллических игольчатых алмазов.

При наладке устройств для правки кругов из КНБ очень важно с микронной точностью обнаружить первый контакт алмазного ролика с шлифовальным кругом. Для этих целей применяют акустическое устройство, которое устанавливают на шлифовальном шпинделе. Оно позволяет значительно сократить время наладки и избежать повреждений шлифовального круга и алмазного ролика.

Для устранения возможности столкновения дорогостоящего шлифовального круга с заготовкой или алмазным роликом вследствие ошибок в управлении станком при наладке или при вводе данных в программу фирма *Liebherr* разработала специальное устройство. Это устройство позволяет обнаружить нежелательные столкновения и среагировать на них в течение 1 мс путем быстрой остановки привода. Таким образом не допускается повреждения круга или они сводятся к минимуму.

Для правки одно- или двухзаходных червячных шлифовальных кругов фирма *Reishauer* предлагает станок AM 10. В то время как один шлифовальный круг правится, другой шлифовальный круг работает на станке. Это сокращает вспомогательное время.

17.1.9 Зубошевингование

Несмотря на развитие комплексных процессов зубообработки, например, зубофрезерования без СОЖ, последующей закалки зубчатых колес и их шлифования, отклонения от точного профиля и царапины,

образующиеся в результате наростов на режущих кромках червячной фрезы, сохраняются и требуют при шлифовании снятия больших припусков. Поэтому до сих пор существует определенная потребность в зубошевинговальных станках, производимых, главным образом, корпорацией *Gleason*, фирмой *Mitsubishi* и итальянской компаний *Sicmat*.

У станка модели ZS 130 T CNC корпорации *Gleason* шеввер диаметром 256 мм расположен в вертикальной оси и постоянно вращается в одном направлении с частотой 600 мин^{-1} , а заготовка, устанавливаемая в вертикальной оси и на двухпозиционном поворотном столе, имеет вращение от собственного привода, синхронизируемое по частоте и направлению с вращением шеввера. Максимальная частота этого вращения без реверса достигает 4500 мин^{-1} . При этом крутящий момент на заготовке периодически изменяется в зависимости от величины подачи по оси X. Такой метод шевингования получил название Power Shaving (силовое шевингование). Синхронизация вращения шеввера и заготовки диаметром 20–130 мм и модулем до 3,5 мм происходит автоматически. Пока шевингуют одну заготовку, на поворотном столе устанавливают в это время другую, и приводят ее во вращение с предварительным индексированием и с требуемой для шевингования частотой, что снижает как вспомогательное, так и основное время обработки в среднем вдвое. Как и большинство других шевинговальных станков, работающих обычно в условиях крупносерийного производства, этот станок тоже оснащен автоматическим конвейерным загрузочным устройством. Все рабочие и установочные движения выполняются шеввером.

В зубошевинговальных станках также проявилась тенденция к комплексности обработки. Так, на станке модели RASO 400 фирмы *Sicmat* в условиях крупносерийного производства по заказу устанавливают устройство для зубозакругления. Этот станок имеет модульную конструкцию и в зависимости от типоразмера (всего таких типоразмеров четыре) может работать в нескольких циклах, в частности во врезном, подрезном, параллельном, диагональном и смешанном, обрабатывая расположенным в горизонтальной оси шеввером диаметром 180–254 мм зубчатые колеса диаметром 10–400 мм и модулем 8 мм.

17.1.10 Зубохонингование

В серийном производстве используется хонингование зубчатых колес как доступный и экономически оправданный способ обработки закаленных деталей. Благодаря специфичности структуры поверхности, хонингованные зубчатые колеса в сравнении с другими колесами характеризуются бесшумностью работы и износоустойчивостью. Обработанная поверхность на участке головки зуба до начальной окружности име-

ет рисунок типа «елочка», что способствует образованию масляной пленки, а значит, и оказывает положительное влияние на генерирование шумов и сводит их к минимуму. Образование такого рисунка на поверхности обуславливается кинематикой процесса, при которой хонинговальный инструмент обкатывается по детали, будучи при этом установленным под углом.

Скорость резания при зубохонинговании по сравнению со шлифованием очень мала и находится в диапазоне 0,5–6,5 м/с. Поэтому термическая нагрузка на режущие зерна, связку и материал детали настолько мала, что структурные изменения и характерные для шлифования прижоги исключаются. Даже повышение скорости резания до 10 м/с, что характерно для станков нового поколения, не увеличивает опасности термических нагрузок. Резание с малыми скоростями сопровождается действием больших сил. Они могут быть столь велики, что вызывают поверхностное уплотнение, повышая внутренние напряжения сжатия, которые уже имеют место после термической обработки. Повышение внутренних напряжений хорошо сказывается на износостойкости детали. Поэтому хонингованные колеса, как давно доказано, обладают большей износостойкостью и долговечностью в сравнении с колесами, обработанными другими способами.

В то же время, несмотря на совершенствование процесса предварительной обработки, остаются проблемы наибольших величин съема, наибольших колебаний припуска, а также оптимальной величины съема. Этой проблеме было уделено большое внимание фирмой *Fassler*, вторым после корпорации *Gleason* производителем зубохонинговальных станков. Возникла идея сочетать достоинства хонингования с производительностью шлифования. Так появился термин «прямое хонингование», или *Fassler Direct-Honing*, при котором деталь подвергается хонингованию после закалки.

Способ *Direct-Honing* дает возможность иметь теоретически линейный контакт по двум боковым поверхностям, линейный или точечный контакт по одной боковой поверхности с синхронизацией (или без нее) приводов изделия и инструмента. Для достижения оптимального результата эти условия можно комбинировать друг с другом. При выборе материала инструмента необходимо обращать внимание на достижение возможно большей стойкости. Однако надо иметь в виду, что материалы, обеспечивающие хорошее резание, подвержены большому износу, что приводит к частой правке. Короткое время хонингования достигается при таком построении процесса, когда обеспечивается теоретически линейный контакт по всей боковой поверхности зуба. При этом должен быть исключен точечный контакт между ними. Это противоречит требованию получения высоких давлений в зоне контакта, однако даже при теоретически линейном контакте возникают достаточно большие силы для получения высоких давлений. Высокая динамичность

процесса, являющаяся следствием постоянно меняющихся условий контакта с изменением угла поворота, может стать причиной сильных вибраций узлов станка. Это влияние особенно сильно будет проявляться при обработке с однопрофильным линейным контактом. Чтобы его минимизировать, необходимо стремиться к поддержанию постоянного двухпрофильного линейного контакта. Возникающие при этом ограничения воспроизводства модификаций профилей на детали за счет кинематики станка при серийном производстве можно обойти за счет выбора инструмента, который учтет особенности обрабатываемого профиля. При хонинговании имеет место непрерывный обкат, что в сравнении с методом обработки с единичным делением дает решающее преимущество в части плавности протекания процесса.

Фирма *Fassler* предлагает две модели (K-300 и K-400) хонинговальных станков, предназначенных для обработки зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления диаметром до 400 мм и шириной до 1000 мм. Станки имеют шесть управляемых осей. Корпорация *Gleason* производит четыре модели хонинговальных станков для обработки колес диаметром до 250 мм и модулем до 6 мм.

17.1.11 Оценка точности колёс

Все уже перечисленные требования, предъявляемые к зубчатым передачам, а именно надежность, долговечность, бесшумность и другие, существенным образом зависят от точности изготовления зубчатых колес. Естественно, существенную роль в достижении необходимых точностных параметров играют средства контроля.

Не касаясь конкретных методов и средств контроля, обратимся к одному приему, предложенному фирмой *Klingelnberg Sohne GmbH*.

Измерительная машина является лишь одним колесом в производственном механизме, но это колесо имеет существенное значение для всего процесса. Чтобы производственный процесс проходил по замкнутому циклу, необходимо оптимизировать процесс, соединив измерительную машину со станком. А поскольку фирма *Klingelnberg* сама является производителем зубообрабатывающих станков, то ей хорошо известно все, что нужно для обеспечения безупречного функционирования.

Результатом проведенных исследований явилось создание диагностической программы КОМЕТ для производства конических колес, определяющей весь процесс производства как замкнутый цикл, в котором ошибки исключаются в принудительном порядке. КОМЕТ корректирует результаты измерений детали после фрезерования и закалки на основании параметров исходной формы и автоматически передает пере-

считанные данные в систему обрабатывающего станка. Проверка осуществляется по предварительно установленным параметрам (из полного набора можно выбрать не более двадцати). КОМЕТ исключает все источники погрешностей: погрешность топографии, поводки после закалки и т.д.

Программа совместима со всеми известными зуборезными станками, она обеспечивает быстрое получение очень точного результата в процессе производства. Система может быть включена в сеть, объединяющую несколько единиц оборудования. При этом КОМЕТ передает рассчитанные параметры в базу данных соответствующего станка, из которой обрабатывающие центры могут вызвать эти данные. Кроме того, фирма разработала программное обеспечение замкнутого цикла для цилиндрических зубчатых колес.

17.2 Тенденции развития обработки резьб

В современном машиностроении применяются следующие способы формообразования резьб:

- лезвийная обработка резанием;
- накатывание;
- абразивная обработка;
- выдавливание прессованием;
- литьё;
- электрофизическая и электрохимическая обработка.

Наиболее распространенным и универсальным способом получения резьб является **лезвийная обработка резанием**. К ней относятся:

- нарезание наружных резьб плашками;
- нарезание внутренних резьб метчиками;
- точение наружных и внутренних резьб резьбовыми резцами и гребенками;
- резьбофрезерование наружных и внутренних резьб дисковыми и гребенчатыми фрезами;
- нарезание наружных и внутренних резьб резьбонарезными головками;
- вихревая обработка наружных и внутренних резьб.

Накатывание является наиболее высокопроизводительным способом обработки резьб, обеспечивающим высокое качество получаемой резьбы. К накатыванию резьб относятся:

- накатывание наружных резьб двумя или тремя роликами с радиальной, осевой или тангенциальной подачей;
- накатывание наружных и внутренних резьб резьбонакатными головками;

- накатывание наружных резьб плоскими плашками;
- накатывание наружных резьб инструментом ролик-сегмент;
- накатывание (выдавливание) внутренних резьб бесстружечными метчиками.

К **абразивной обработке** резьб относится шлифование однониточными и многониточными кругами. Применяется для получения точных, в основном ходовых резьб.

Выдавливание прессованием применяется для получения резьб из пластмасс и цветных сплавов. Не нашло широкого применения в промышленности.

Литье (обычно под давлением) применяется для получения резьб невысокой точности из пластмасс и цветных сплавов.

Электрофизическая и электрохимическая обработка (например, электроэрозионная, электрогидравлическая) применяется для получения резьб на деталях из материалов с высокой твердостью и хрупких материалов, например, твердых сплавов, керамики и т.п.

При работе на современных станках с ЧПУ наибольшее распространение получили методы лезвийной обработки резьб. На рисунке 17.12 представлены некоторые *инструменты для лезвийной обработки резанием*. Ключевыми способами лезвийной обработки являются: нарезание метчиками, фрезерование, нарезание на токарных станках и шлифование.

Применение метчиков для нарезания резьбы является эффективной и популярной практикой. Нарезание резьбы метчиками – это продолжительный процесс, при котором снятие материала производится режущими кромками, расположенными на определенном расстоянии друг от друга. Окончательные размеры резьбы достигаются за один проход.

Метчики могут быть использованы при обработке практически любого материала твердостью до 50 HRC, но некоторые производители предлагают метчики, эффективные и до 65 HRC.

Метчик производит черновую и чистовую обработку за один проход, производится большое количество стружки, которую нужно эффективно отводить. В противном случае существует вероятность возникновения чрезмерного давления, которое может привести к повреждению резьбы или метчика. Для решения проблемы предлагаются конструкции спиралевидных метчиков, которые имеют изменяемую геометрию стружечных канавок с улучшенным контролем отвода стружки.

Поскольку диаметр и шаг резьбы всегда остаются неизменными, один и тот же метчик не может использоваться для нарезания отверстий разного размера. Более того, нарезание резьбы подразумевает очень тесный контакт инструмента с заготовкой, из-за чего инструмент подвергается воздействию больших сил. Метчик может сломаться и за-

стрясть в отверстия, при этом деталь может уйти в брак. Поэтому при использовании метчиков нужно позаботиться о достаточном количестве смазки.

Нарезание **резьбы плашками** осуществляется на токарных и револьверных станках, а также на автоматах и полуавтоматах токарного типа. Основным недостатком метода нарезания резьбы плашкой является необходимость свинчивания ее после окончания нарезания, что снижает производительность операции и ухудшает качество резьбы.



Рисунок 17.12 – Инструменты для лезвийной обработки резьб резанием: а – метчики и плашка; б – резьбонарезной резец; в – гребенчатые фрезы (сборная и цельная); г – дисковая резьбонарезная фреза; д – вихревая головка; е – резьбонарезная головка

Фрезы для нарезания резьбы используют спиральную интерполяцию для нарезания как внутренней, так и наружной резьбы. Большинство станков ЧПУ, произведенных за последние 10–15 лет, поддерживают спиральную интерполяцию.

Для нарезания резьбы применяются цельные твердосплавные фрезы и сменные твердосплавные пластины (стальное тело фрезы с карбидными вставками). Многовитковые резьбонарезные фрезы нарезают резьбу сразу на всю глубину за один полный поворот фрезы. Одновитковые фрезы нарезают один виток резьбы за оборот. Большинство фрез для нарезания резьбы – многовитковые.

Фрезы для нарезания резьбы подходят для обработки материала прочностью до 65 HRC, что существенно расширяет область их применения. Фреза одной и той же геометрии, но с одним или двумя слоями различных покрытий, позволяет обрабатывать множество разнообразных материалов.

Одна и та же резьбонарезная фреза может применяться для отверстий, имеющих различный диаметр, но одинаковый шаг резьбы. Так как нижняя поверхность фрезы является плоской, она может быть использована для нарезания резьбы в непосредственной близости к нижней части глухого отверстия.

Отвод стружки обычно не является проблемой при нарезании резьбы фрезами. Нарезание резьбы фрезами – это резание с остановками, поэтому, независимо от свойств материала, всегда получается стружка надлома с короткими частицами.

Резьбонарезные фрезы имеют большой диапазон применения, их диаметр начинается от 1.5 мм и заканчивается самыми большими размерами. Но по большому счету оптимальная глубина резки фрезой ограничивается 2.5 диаметрами самой фрезы. При использовании фрезы для нарезания резьбы силы резания не сбалансированы. При нарезании резьбы большой длины создается большое давление на боковую поверхность фрезы, так как на нее воздействует большая радиальная сила. Это может приводить к проблемам в виде отскакивания режущей кромки от заготовки и появлению на ней сколов, и даже к обламыванию фрез небольшого диаметра. Однако одновитковая фреза может работать и на большой глубине.

Использование фрез имеет множество преимуществ. Один и тот же инструмент может применяться для отверстий разного диаметра, при этом используется один шаг резьбы. Фреза с одной режущей кромкой может быть использована для обработки отверстий различных диаметров, а также и нарезания резьбы различного шага.

К тому же одновитковая резьбонарезная фреза может быть применена для обработки глухих и сквозных отверстий, а также для нарезания правой и левой резьбы.

Так как фреза имеет плоскую нижнюю поверхность, она может нарезать резьбу в непосредственной близости от днища глухого отверстия, и даже если фреза сломается, она не приведет к выбраковыванию детали. В заключение, фреза для нарезания резьбы может быть совмещена в одном корпусе с другими инструментами для сверления отверстий, тем самым образуя комбинированный инструмент, который может одновременно сверлить, делать фаски и нарезать резьбу.

Цикл обработки фрезой обычно дольше цикла обработки метчиками. Некоторые компании всё же предпочитают использовать метчики, так как хотят минимизировать вмешательство оператора в процесс работы. Использование фрез для нарезания резьбы подразумевает, что оператор должен постоянно производить необходимые регулировки из-за износа инструмента. Размеры метчика всегда остаются неизменными, метчик изготовлен по размерам нарезаемой им резьбы. Оператор просто время от времени сверяет размеры при помощи измерительных инструментов и калибров, и если эти размеры вышли за пределы допустимого, метчик просто выбрасывается.

Резьбонарезные винторезные головки применяются для нарезания наружной и внутренней резьбы на токарных, токарно-револьверных станках и на токарных автоматах. В винторезных головках применяют радиальные, тангенциальные и круглые гребенки. В конце нарезания резьбы плашки или гребенки автоматически расходятся и при обратном ходе не соприкасаются с резьбой. При нарезании наружной резьбы большее распространение получили головки с круглыми гребенками, так как они просты по конструкции, позволяют работать с большим числом переточек и обладают большей стойкостью, чем радиальные и тангенциальные гребенки. Устройство и работа винторезных головок имеют незначительные различия.

Токарная обработка является ещё одним способом обработки резьбы. При этом используются либо сменные твердосплавные пластины, либо миниатюрный инструмент наподобие расточного резца. Возможно применение однозубых и многозубых твердосплавных пластин (гребёнок). Многозубые пластины имеют по несколько зубцов на каждой режущей кромке, причем каждый зубец врежется глубже предыдущего, тем самым сокращается количество проходов, требуемых для нарезания резьбы (рис. 17.3).

Однако многозубые пластины достаточно дороги. Кроме того, многозубые резьбонарезные пластины не могут нарезать наружную резьбу на деталях с фланцами. При наличии на детали фланца или выступа, режущая пластина не может подойти к нему вплотную последним зубом, поэтому последние витки резьбы нужно дорезать другим способом.

При нарезании резьбы на токарном станке оператор может применять режущие пластины как полного, так и частичного профиля (многозубые пластины могут быть только полнопрофильными).

Пластины полного профиля формируют полный профиль резьбы, включая вершину витка резьбы (при этом внутренний диаметр резьбы выбирается зубцами режущей пластины). При таком подходе для нарезания каждого шага резьбы требуется отдельная пластина.



Рисунок 17.13 – Многозубые твердосплавные пластины

Твердосплавные пластины для токарных станков марки V6 от компании *Vargus* имеют 6 режущих кромок. Доступны пластины для нарезания резьбы как полного, так и частичного профиля (т.е. без торцевания вершины витков резьбы).

Пластины полного профиля нарезают более прочную, более прецизионную резьбу, чем пластины частичного профиля, причем за меньшее число проходов. Тримбл говорит, что это происходит из-за того, что они одновременно создают наружный, внутренний и номинальный диаметры резьбы.

Пластины частичного профиля нарезают резьбу без торцовки вершин витков (они не формируют внешний диаметр). Пластины частичного профиля имеют только одну режущую кромку, поэтому они могут нарезать резьбу различного шага, варьируя глубину проникновения режущей кромки в материал. У такой пластины очень острый кончик зуба, поэтому при большем шаге резьбы теряется ее прочность, и это может привести к более долгому процессу нарезания резьбы.

Отвод стружки является большой проблемой при нарезании внутренней резьбы на токарных станках, особенно остро проблема проявляется при нарезании резьбы в глухих отверстиях. Операторы могут компенсировать это, выбрав режущий инструмент с определенной геометрией, а также используя какой-либо вид поперечной подачи (прямо поперечная, по углу профиля резьбы, модифицированная угловая или переменная угловая) используемый для облегчения отвода стружки, или метод обратной спирали.

При вихревом нарезании резьбы заготовка закрепляется в центрах или в патроне и ей придается медленное вращение. Резьбовые резцы или твердосплавные пластины устанавливаются в специальной вихревой головке. Головка, вращающаяся от специального привода, расположена эксцентрично относительно оси заготовки. Таким образом, при вращении головки резец совершает движение по окружности, соприкасаясь с нарезаемой заготовкой один раз за каждый оборот головки и вырезая в ней серповидную канавку, имеющую профиль резьбы.

Нарезание резьбы методом шлифования позволяет нарезать высокопрецизионные резьбы. Резьбошлифование выполняют чаще всего после термической обработки заготовок. Резьбошлифование может быть наружным и внутренним, осуществляется на различных резьбошлифовальных станках. Существуют следующие способы шлифования резьбы: однопрофильным кругом; многопрофильным кругом с продольным движением подачи; врезное; широким профильным кругом.

Шлифование однопрофильным кругом является универсальным и точным методом. Его применяют для изготовления метчиков, резьбовых пробок, резьбовых колец.

Многопрофильные круги, шлифующие резьбу с профильным движением подачи, имеют заходную конусную часть. В обработке участвуют все нитки шлифовального круга, что является преимуществом перед врезным шлифованием, так как увеличивает производительность.

В массовом производстве успешно применяют высокопроизводительный метод шлифования резьбы – бесцентровочное шлифование.

Нарезание внутренней резьбы методом шлифования обычно производится на специализированных станках. Для шлифования прецизионного профиля резьбы, ход шлифовальной головки должен осуществляться согласно углу спирали резьбы. Такой подход требует от станка наличия переменной оси вращения, которую абсолютное большинство шлифовальных станков не имеет. Даже при том, что наружная резьба может быть нарезана на шлифовальном станке с использованием профилированного многозубого шлифовального круга, профиль шлифовального круга должен быть модифицирован под спиралевидную форму. Для нарезания внутренней резьбы требуется шлифовальный круг с одним шлифующим зубом и ось должна быть настроена под спираль.

Проблемы отвода стружки при нарезании резьбы методом шлифования заключаются в своевременном поступлении охлаждающей жидкости и смыве стружки из зоны шлифования. Опять же, из-за очень ограниченного пространства при шлифовании внутренней резьбы малого диаметра, в зону шлифования очень сложно доставить охлаждающую жидкость и направить поток в направлении движения ходового вала и при этом не препятствовать движению шлифовальной державки и закрепленной на ней головки.

Нарезание внутренней резьбы методом шлифования является очень точным процессом. Необходимо очень точно установить шлифовальную головку, но после того, как сделаны все настройки, головка может быть очень быстро заменена впоследствии. Также, по словам Дрейка, шлифование внутренней резьбы может увеличить производительность, поскольку замена шлифовальной головки на головку для резьбы другого типа происходит быстрее, чем замена всей державки.

Метчики-раскатники используются для накатки внутренней резьбы глубиной до четырёх диаметров самого инструмента. Накатные метчики не режут, а деформируют материал, поэтому стружка при этом процессе не образуется и отсутствует вероятность возникновения заторов стружки, но твёрдость заготовки при такой обработке ограничивается 40 HRC. Поскольку накатка резьбы подразумевает пластическую деформацию, материал должен быть пластичен или обладать низким коэффициентом растяжения.

Накатные метчики обычно имеют диаметр от 0.5 до 19 мм. Инструменты большего размера создают и большее трение, поэтому требуют большей мощности станка.

По сравнению с обычными метчиками, метчики-раскатники обладают большей жесткостью и менее подвержены излому. Давление, действующее на метчик, направлено тангенциально, метчик испытывает скручивающие напряжения, в то время как давление на метчик-раскатник направлено по радиусу в центр, поэтому он гораздо надежнее.

Недостаток накатных метчиков заключается в том, что они требуют больший крутящий момент и большую мощность от станка, кроме того, инструмент должен быть крепче зажат в державке станка. Ещё одним ограничением является то, что отверстие должно быть просверлено более точно, чем таковое отверстие при нарезании резьбы. Кроме того, резьбы, полученные путем пластической деформации материала, не подходят для некоторых отраслей промышленности, таких как медицинская и авиационно-космическая.

17.3 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите крупнейших производителей зубообрабатывающего оборудования.
2. Какие Вам известны направления развития зубообработки?
3. Каковы особенности производства заготовок для зубчатых колес на горячештамповочных автоматах?
4. Опишите возможности и технические характеристики зубофрезерных станков корпорации Gleason.

5. Каковы возможности и технические характеристики зубофрезерных станков компании Liebherr.

6. Опишите возможности и технические характеристики зубофрезерных станков фирм Wahli и Lambert.

7. Каковы достоинства и недостатки зубофрезерования с применением СОЖ?

8. Изобразите схему многоцикловой передвижки червячной фрезы при зубофрезеровании без применения СОЖ.

9. Опишите возможности и технические характеристики зубодолбежных станков корпорации Gleason.

10. Каковы возможности и технические характеристики зубодолбежных станков компании Mitsubishi?

11. В чем суть и область применения метода зуботочения?

12. Охарактеризуйте особенности станков для непрерывного обкатного зубошлифования компаний Gleason, Samputensili и Hufler.

13. Каким образом на абразивных кругах станков для непрерывного обкатного зубошлифования профилируется винтовая поверхность?

14. В чем суть процесса непрерывного обкатного зубошлифования правящимися червячными кругами?

15. Каким образом производится правка шлифовальных кругов для непрерывного обкатного зубошлифования?

16. Какие Вам известны тенденции развития зубошевингования?

17. Чем обусловлена повышенная износостойкость зубчатых колес после зубохонингования?

18. Какие Вам известны тенденции развития зубохонингования?

19. Какие Вам известны тенденции в развитии методов оценки точности зубчатых колес?

20. Какие способы формообразования резьб применяются в современном машиностроении?

21. Перечислите наиболее распространенные и универсальные способы получения резьб с помощью лезвийной обработки резанием.

22. Перечислите наиболее распространенные и универсальные способы получения резьб с помощью накатывания.

23. Изобразите схемы инструментов для лезвийной обработки резьб резанием.

24. Каковы достоинства и недостатки нарезания резьбы с помощью фрезы?

25. Каковы достоинства и недостатки резьботочения с помощью резьбонарезных пластин?

26. Какова область применения нарезания резьбы методом шлифования?

27. Каковы требования к материалам для обработки метчиками-раскатниками?

28. Перечислите достоинства и недостатки накатных метчиков.

18 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ, ЛУЧЕВОЙ, ПЛАЗМЕННОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

18.1 Электрические методы обработки

18.1.1 Общие вопросы

Развитие промышленности обусловило необходимость изготовления различных точных деталей со сложным профилем из труднообрабатываемых материалов. Решение этой задачи традиционными способами, применявшимися в металлообработке, во многих случаях нереально. Возникла потребность разработки и внедрения принципиально новых методов обработки материалов, основанных на нетрадиционных принципах. Именно в это время появляются и интенсивно развиваются различные методы обработки материалов, основанные на использовании электрической, световой, магнитной и других видов энергии и их сочетаний: электроэрозионный, электрохимический, ультразвуковой, светолучевой и другие методы [420–440].

К *электрическим методам обработки* металлов относят *электроэрозионный и электрохимический*.

Применяют следующие схемы электрической обработки:

– прошивание – формирование полостей и отверстий (рис. 18.1);

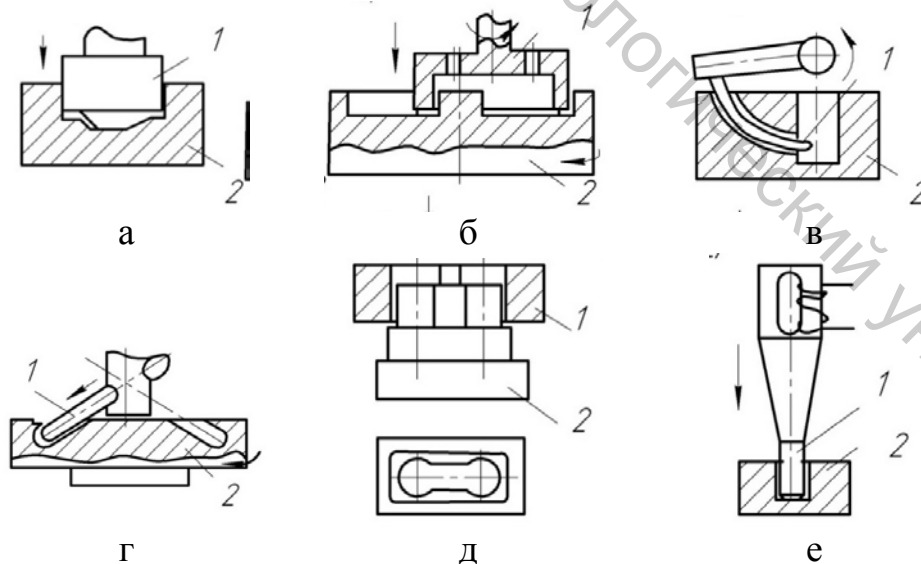


Рисунок 18.1 – Схемы прошивания:

а – г – внутренних сложнопрофильных поверхностей, д – наружной комбинированной поверхности, е – отверстия,
1 – инструмент, 2 – заготовка

– разрезание и вырезание – разделение заготовок на части, формирование замкнутого фасонного контура (рис. 18.2);

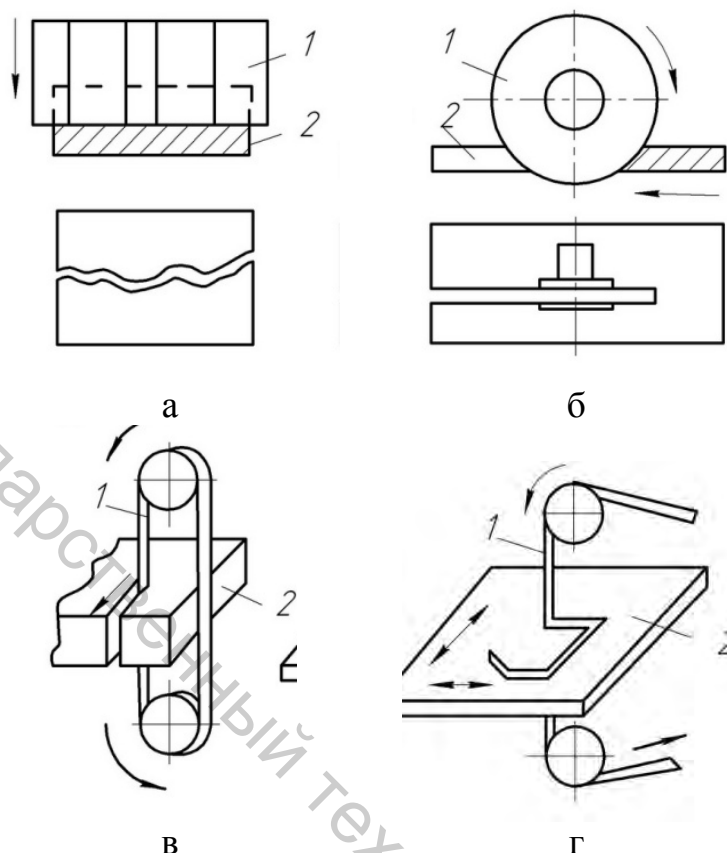


Рисунок 18.2 – Схемы разрезания (вырезания)

а – с вертикальной подачей, б, в – с горизонтальной подачей, г – с подачей в двух направлениях, 1 – инструмент, 2 – заготовка

– шлифование – сглаживание шероховатой поверхности, повышение точности, удаление дефектного слоя (рис. 18.3);

– клеймение (маркирование, гравирование) – нанесение надписей, штрихов шкал.

18.1.2 Электроэрозионные методы обработки

К **электроэрозионным** относятся разнообразные методы обработки, в которых отделение материала заготовки осуществляется под воздействием теплоты, выделяющейся в результате электрического импульсного разряда [420–423].

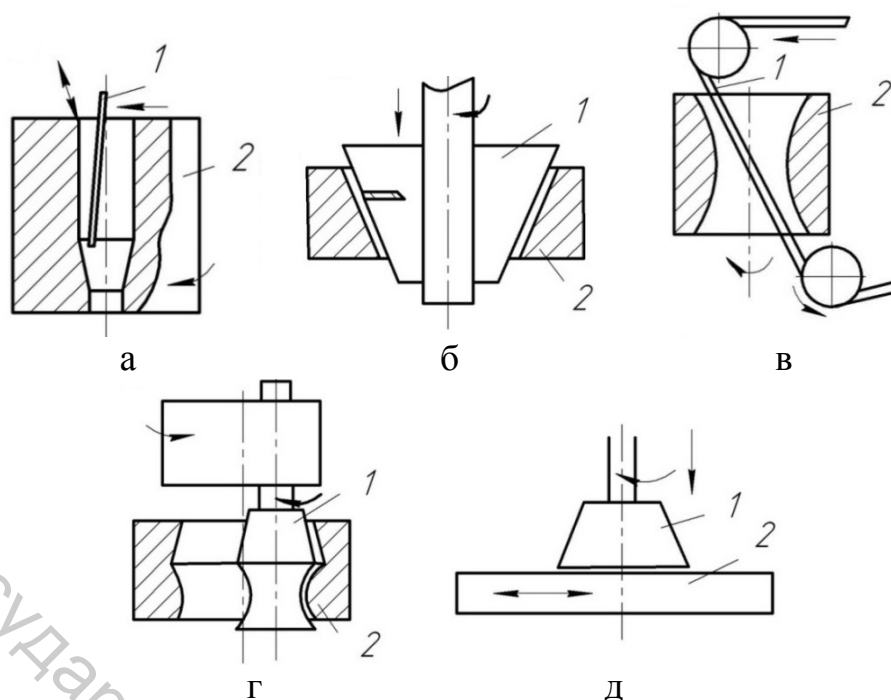


Рисунок 18.3 – Схемы шлифования поверхностей:

а – внутренней цилиндрической, б – внутренней конической, в, г – внутренних фасонных, д – плоской, 1 – инструмент, 2 – заготовка

Несмотря на разницу в конструктивном исполнении оборудования и реализуемых способах электроэрозионной обработки, принцип функционирования остается одинаковым. Условно процесс можно разделить на два технологических этапа. Под воздействием импульсных разрядов разрушается структура образца на участке. Разряды появляются в определенный момент при сближении электрода (являющегося рабочим инструментом станка) с деталью. Электрическая энергия преобразуется в тепловую, и как результат – расплавление металла (сплава) на требуемом участке. Так как и деталь, и электрод погружены в емкость со спецсоставом, металл частично испаряется от высокой температуры, а остатки расплава удаляются из рабочей зоны (рис. 18.4).

В зависимости от длительности импульса, вырабатываемого источником тока, и способа его формирования различают **электроискровой, электроимпульсный и электроконтактный** виды обработки.

Электроэрозионная обработка осуществляется в среде диэлектрика. Это могут быть: масла (вазелиновое, трансформаторное или индустриальное И-12А), керосин, технически чистая или дистиллированная вода, а также смеси, например, глицерина с водой, керосина с маслом и т.д.

Электроконтактную обработку можно выполнять в газовой (воздушной) среде. В зависимости от свойств рабочей среды изменяется доля полезного использования энергии импульса, его предельная мощность.

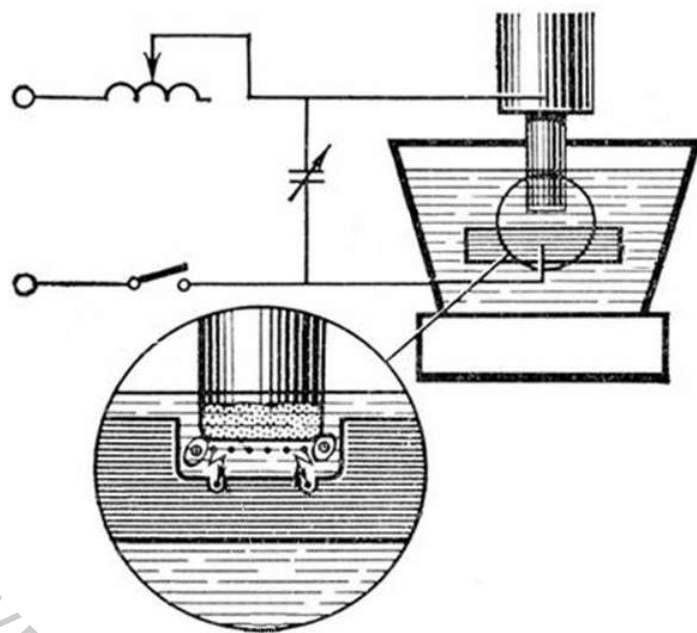


Рисунок 18.4 – Принципиальная схема электроэрозионной обработки

Для каждого вида обработки применяют оптимальные диэлектрические среды. Так, при электроэрозионной обработке с малой энергией импульса высокую производительность обеспечивает дистиллированная и технически чистая вода, при грубых режимах (электроимпульсная обработка) применяют масла.

В процессе обработки рабочая среда загрязняется, что снижает производительность. Допустимая загрязненность для черновых режимов – 4...5 % по массе, а для чистовых – 2...3 %.

Полярность подключения источника тока зависит от длительности импульсов и материала электрода-инструмента. Прямая полярность (к электроду-инструменту подводится минус) применяется при электроискровом режиме с относительно малой длительностью импульсов. А при электроимпульсном режиме применяется обратная полярность. Правильно выработанная полярность существенно снижает износ инструмента, который может составлять от 5 до 300 % массы удаленной с заготовки материала.

Для чистовой обработки, осуществляемой обычно на электроискровом режиме, чаще всего используют инструменты из обычной и пористой меди, латуни. Для черновых операций, выполняемых на электроимпульсном режиме, для изготовления электродов-инструментов применяют: графитовые и медно-графитовые композиции, алюминий, цинковые сплавы. Для изготовления мелких отверстий часто используют инструменты из вольфрама или молибдена, которые обладают высокой абразивной стойкостью, но дороги. Для электроконтактной обработки применяют инструменты из меди, латуни, чугуна или стали. Се-

рый чугун имеет удовлетворительную эрозионную стойкость при обработке на всех режимах.

При электроискровом режиме напряжение пробоя $U = 40...180$ В, длительность импульса $t_{им} = 5...200$ мкс, сила тока $I = 0,5...5$ А. При электроимпульсном режиме $U = 18...36$ В, $t_{им} = 200...100000$ мкс, $I = 20...120$ А. Максимальная производительность достигается при $I / t_{им} = 5...8$ мА/с.

При электроконтактном режиме импульсы тока формируются непосредственно в промежутке между инструментом и заготовкой вследствие их относительного движения и наличия микровыступов на рабочей поверхности инструмента. Напряжение применяемого источника постоянного или переменного тока $U = 1...20$ В.

Шероховатость поверхности, обработанной в электроискровом режиме, для сталей $Ra = 0,3...0,6$ мкм, а для твердых сплавов $Ra = 0,2...0,3$ мкм. После обработки в электроимпульсном режиме $Ra = 5...10$ мкм. При электроэрозионном шлифовании в жидкости $Ra = 0,5...0,8$ мкм, а на воздухе (обдирочное) $Ra = 36...100$ мкм. При разрезании $Ra = 20...50$ мкм.

Глубина измененного (дефектного) подповерхностного слоя зависит от вида и режима электроэрозионной обработки:

- предварительная (электроимпульсная) – $0,1...0,4$ мм;
- чистовая (в электроискровом режиме) – $0,004...0,1$ мм;
- шлифование в жидкости – $0,005...0,08$ мм;
- разрезание в жидкости – $0,05...0,1$ мм;
- электроконтактная на воздухе – $1...5$ мм.

При электроэрозионной обработке точность изготовления деталей зависит от:

- точности изготовления электрода-инструмента;
- износа инструмента вследствие эрозии;
- неравномерности распределения припуска.

Обычно электрод-инструмент изготавливают на 1...2 качества точнее, чем требования к точности обрабатываемой поверхности. Для компенсации износа при прошивании сквозных цилиндрических поверхностей увеличивают длину рабочего хода до тех пор, пока не прекратятся боковые разряды. При обработке глухих поверхностей на каждой стадии обработки приходится заменять изношенный электрод-инструмент новым. Для компенсации износа проволоки при разрезании и шлифовании ее перематывают со скоростью $0,8...5$ мм/с.

Точность изготовления деталей при электроискровом режиме профильным электродом-инструментом достигает 6...7-го квалитетов, непрофилированным – 5...6-го квалитетов; в случае применения электроимпульсного режима точность изготовления соответствует 9...11-му квалитетам; при электроконтактной обработке в жидкой среде получа-

ется 7...8-й квалитеты, а при обработке на воздухе – 16...17-й квалитеты точности.

При прошивании и разрезании размеры инструмента зависят от размера детали с учетом зазора. Боковой зазор зависит от энергии импульсов, материала электродов, состава и направления движения рабочей среды. На черновых режимах боковой зазор 0,005...0,5 мм, а на чистовых – 0,005...0,05 мм. При прошивании полостей торцовый зазор получается меньше бокового.

Если площадь поверхности электрода-инструмента достаточно велика (больше 1000 мм²) при прошивании глубоких отверстий, то применяют искусственную прокачку рабочей среды через межэлектродный промежуток. Жидкость прокачивается через отверстия в электроде-инструменте. Диапазон скоростей прокачки через межэлектродный промежуток составляет 0,03...0,8 м/с для графитовых инструментов и 0,03...0,2 м/с – для медных. При меньших скоростях продукты обработки накапливаются в промежутке, нарушая процесс электроэрозионной обработки. Если скорость превышает внешний предел, то возрастает давление жидкости на электрод-инструмент, снижается точность обработки, увеличивается расход энергии на прокачку.

Электроэрозионная обработка сложноконтурных полостей и отверстий осуществляется на **копировально-прошивочных станках**.

Станки японских компаний *Makino* и *Mitsubishi* обладают широкими технологическими возможностями. Они снабжены целым рядом проектно-технологических функций. Так, на станках S-серии компании *Makino* используется система HQSF для ЭЭО с параметром шероховатости поверхности $R_a = 0,2$ мкм (зеркальная обработка). Имеется функция Super Edge для получения радиусов 0,01 мм при обработке точных углов. Станки фирмы *Mitsubishi* komponуются по схеме «неподвижный стол – подвижная головка», использованы линейные направляющие качения. Станки оснащены системой адаптивного управления процессом, системой быстрой прошивки узких глубоких полостей.

Копировально-прошивочные станки фирмы *Sodick* оснащены КЧПУ генераторами серии LN/LQ с максимальным током 40, 80, 160, 240 А (рис. 18.5). Базовый генератор обеспечивает максимальную производительность до 600 мм³/мин при обработке стали графитовым ЭИ. Имеется функция чистовой обработки (зеркальное выхаживание, $R_a = 0,06$ мкм) без замены диэлектрика или в специальном диэлектрике. Функция Pikagen pulse обеспечивает пониженный износ электродов-инструментов (ЭИ), функция MAP11 – оптимизацию параметров режима по мере изменения геометрии межэлектродного промежутка. Линейные двигатели привода осей и высокоточные датчики линейного положения обеспечивают по данным компании точность позиционирования $\pm 0,01$ мкм. Достижимая точность обработки по стандартной технологии фирмы составляет от $\pm 1,5$ до ± 5 мкм на 300 мм длины в зависимости от

модели станка. В качестве опции поставляется ось С углового позиционирования со шпинделем вращения. Предусмотрена обработка с орбитальными осцилляциями ЭИ (5 базовых траекторий и 72 производных). В зависимости от модели станка линейные перемещения по осям осуществляются за счет перемещения стола или головки.



Рисунок 18.5 – Электроэрозионные станки фирмы Sodick

Европейские производители электроэрозионных копировально-прошивочных станков представлены фирмами *AGIE*, *Charmille* (Швейцария), *ONA* (Испания), *Winbro Group* (Великобритания), *Zimmer + Krein GmbH & Co* (Германия).

Гамма станков серии *Genius* фирмы *Zimmer + Krein GmbH & Co. KG* выгодно отличается компактностью конструкции и относительно малой потребной производственной площадью при достаточно высокой производительности и точности обработки. Разрешение по линейным осям ± 1 мкм, по оси С $\pm 0,001$. Все станки этой серии конструктивно выполнены с неподвижным столом, регулируемой по высоте ванной и встроенной осью С. Модульный принцип, заложенный в конструкцию станков, позволяет выбрать оптимальную конфигурацию. Жесткая литая конструкция станины в комбинации с направляющими качения с предварительным натягом обеспечивают высокие точностные параметры обработки.

Станки комплектуются устройством смены инструментов роторного типа на 16 или 24 позиции или линейным устройством *Eagle* мага-

зинного типа на 50 позиций. Станки могут комплектоваться загрузочно-разгрузочным устройством Chameleon, обеспечивающим любую комбинацию паллет с заготовками и электродами, поворотным устройством (пятая ось).

Разнообразное по назначению и технологическим возможностям электроэрозионное оборудование поставляют производители Тайваня. Так, станок EB600L (фирмы JSEDM) имеет С – ось, смонтированную внутри головки станка (рис. 18.6). Используя эту ось, можно изготавливать поверхности вращения, поверхности сложного профиля, выполнять различные операции с использованием вращающегося дискового или цилиндрического электродов. Генератор импульсов станков данного типа обеспечивает максимальный ток 60 или 90 А. Максимальная производительность 400/600 мм³/мин, наименьшая шероховатость Ra = 0,3 мкм.



Рисунок 18.6 – Станок EB600L фирмы JSEDM

В последние годы на рынке электроэрозионного оборудования появились китайские производители, станки которых, как правило, дешевле функциональных аналогов других компаний.

Конкурентоспособность современного станочного оборудования обеспечивается высоким уровнем автоматизации. Поэтому ведущие

фирмы-производители оснащают станки автоматическими устройствами для смены заготовок и инструмента. Так, например, компактный агрегат, созданный компанией *Sodick*, обеспечивает смену 40 электродов и 8 паллет с заготовками и позволяет решить проблему непрерывной и долговременной работы станка в автоматическом режиме. Агрегат представляет собой автономную, компактную и интегрируемую конструкцию. Для расширения технологических возможностей оборудования многие компании-производители предлагают в качестве опций дополнительные оси A и C. Ось A реализуется за счет применения поворотного устройства, устанавливаемого на штатном столе станка. Это позволяет решать технологические задачи, связанные с непрерывным или дискретным поворотом заготовки вокруг оси, перпендикулярной оси шпинделя. Ось C обеспечивает поворот инструмента относительно оси Z и реализуется с помощью специальной головки, закрепляемой на шпинделе станка.

Обработка сложноконтурных линейчатых поверхностей осуществляется на **проволочно-вырезных электроэрозионных станках**. К настоящему времени технологии и оборудование для электроэрозионной вырезки электродом-проволокой (ЭП) получили широкое распространение, создан обширный рынок соответствующих станков. Для точного относительного перемещения стола и рабочего участка проволоки по заданному контуру используются современные приводы с ЧПУ или КЧПУ.

На этой операции удастся получать поверхности, образованные не только поступательным перемещением рабочего участка проволоки, но и более сложные поверхности с использованием дополнительного пространственного вращения рабочего участка. Это достигается применением таких схем обработки, в которых верхняя и нижняя направляющие проволоки перемещаются независимо друг от друга по заданной программе. Отметим, что использование многокоординатных проволочно-вырезных станков позволяет существенно расширить возможности конструктора при проектировании новых технических объектов.

Разработаны различные технические решения, направленные на повышение жесткости рабочего участка проволоки. Так, предложен способ обработки, по которому одна из находящихся в плотном контакте проволока является рабочей, а вторая – поддерживающей, препятствующей изгибу рабочего участка ЭИ и его вибрации. Такая система позволила вдвое снизить прогиб рабочей проволоки.

Рабочими средами в технологиях электроэрозионной проволочной вырезки являются маловязкие диэлектрические жидкости: масло, керосин или вода (промышленная, дистиллированная или деионизированная). Заметим, что как водные, так и углеводородные среды в качестве рабочих жидкостей для ЭЭО имеют свои преимущества и недостатки, что необходимо учитывать при выборе рабочей жидкости.

Практически все ведущие производители оборудования оснащают станки антиэлектролизными генераторами импульсов или соответствующими приставками. Это позволяет исключить окисление поверхности при обработке в воде за счет применения биполярных импульсов тока.

В качестве электрода-инструмента используется проволока, изготовленная по первому и второму классам точности, с максимальным отклонением диаметра от номинального не более 0,005 мм. Латунная проволока – наиболее подходящий инструмент для проволоочной вырезки, так как ее прочность в зависимости от состава лежит в пределах 400...900 МПа, а относительное удлинение составляет от 3 до 30 %. Ряд фирм специализируется на выпуске высококачественной проволоки для проволоочно-вырезных станков (SEI, Primatec GmbH). Установлено, что применение покрытия с высоким содержанием цинка обеспечивает повышение производительности на 40...50 % для заданной толщины реза или существенно повышает толщину реза при заданной производительности. Легирование латуни специальными компонентами приводит к заметному увеличению максимальных растягивающих напряжений.

Современные проволоочно-вырезные станки отличаются высоким уровнем автоматизации, надежностью, гибкостью и позволяют эффективно решать многие технологические задачи основного и инструментального производства. Выпускаются двух-, четырех- и пятикоординатные проволоочно-вырезные станки. Их программное обеспечение содержит базу технологических данных и предполагает использование ряда специальных функций, созданных для достижения высокой точности обработки отдельных геометрических элементов детали (прямолинейность пазов, точность углов).

Проволоочно-вырезные станки фирмы *Sodick* поставляются со встроенной объектно-ориентированной трехмерной системой CALS (3D CAD-CAM) и системой автоматизированного программирования с рядом функциональных полусистем. Процессорные системы обеспечивают управление по 4–5 координатам (X , Y , U , V , $+Z$) с максимальной скоростью сервоподач до 5 м/мин.

Станок EXL100L и его модификации названы компанией ультрапрецизионными и рекламируются как самые точные электроэрозионные проволоочно-вырезные станки (рис. 18.7). В его конструкции использованы сдвоенные линейные двигатели без сердечников, закрытые керамические направляющие аэростатического типа, керамическая станочная конструкция на гранитной станине, высокоточный холодильнико-термостат диэлектрика, нанометровые линейные датчики положения Heidenhein и специально разработанная система управления Sodick Motion Controller (SMC). Конструкция привода обеспечивает дискретность подач 10 нм по осям X , Y , U , V . Станок укомплектован системой автоматической заправки проволоки диаметром от 0,03 мм. Диэлектрическая среда – масло.



Рисунок 18.7 – Станок EXL100L фирмы Sodick

Станки AP200L и AP450L являются станками повышенной точности (прецизионными). Первый из них предназначен для обработки в масле или воде и оснащен одним баком (объем 420 л), а второй оснащен двумя баками – для масла и деионизированной воды объемом 550 л каждый. Дискретность подач приводов осей составляет 100 нм. Плита стола, опоры заготовки, кронштейны и детали механизма протяжки проволоки выполнены из новых видов керамики.

Станки серии AQ предназначены для резания в воде. Модели AQ325L, AQ535L, AQ550L обеспечивают как обработку в ванне, так и струйную обработку, станок модели AQ750L – погружного типа, AQ800LF – струйного типа. Последняя модель создана для обработки габаритных заготовок.

Станки, работающие на воде, имеют в своем составе антиэлектролизный генератор биполярных импульсов. Такой источник питания компании *Sodick* генерирует импульсы малой длительности на первых двух проходах и биполярные импульсы на 3 проходе.

Для расширения технологических возможностей оборудования в некоторых моделях станков предусмотрены добавочные координаты. Так, наряду с 5 координатами, рассмотренными выше, предусмотрен поворот стола (ось W). Кроме углового позиционирования ось W используется для вращения детали, что расширяет технологические возможности станка.

Станок RA-90AT компании *Mitsubishi* с габаритными размерами 1440×2075×2030 мм обеспечивает производительность до 330 мм²/мин и достижимую шероховатость $Ra = 0,6$ мкм (рис. 18.8). Станок оснащен антиэлектролизным генератором, устройством высокоскоростной автозаправки проволоки, системой адаптивного управления (функция Rower Master-3) с функцией экономичного расхода проволоки. Используется функция адаптивного управления Rower Master-4. Проектирование технологий обработки на данных станках осуществляется на основе развитого программного обеспечения.



Рисунок 18.8 – Станок RA-90AT компании Mitsubishi

Высококачественные станки для проволочной вырезки выпускают японские компании *Makino*, *Fanuc Ltd* и *Seibu Electric and Machinery Co., Ltd*.

Станки серии Robocut a-ic отличаются качественной системой слежения за состоянием межэлектродного промежутка. Эта система определяет принцип оптимального управления процессом резания, который разработчики называют импульсным управлением на базе искусственного интеллекта. В результате использования высококачественной системы ЧПУ Fanuc и системы обратной связи по состоянию межэлектродного промежутка обеспечивается устойчивый высокоскоростной режим резания с поддержкой постоянной мощности резания и предотвращением разрыва проволоки.

В результате при резке латунной проволокой диаметром 0,25 мм достигается производительность около 250 мм²/мин, а проволокой диаметром 0,3 мм – 330 мм²/мин. Применение проволоки с покрытием поз-

воляет повысить производительность до 360 мм²/мин. Высокопроизводительная резка на данных станках осуществляется переменным током высокой частоты, что позволяет практически предотвратить анодное окисление (антиэлектролизный эффект). В качестве опции поставляется специальный источник питания для «зеркальной» отделки, обеспечивающий достижение шероховатости поверхности $Ra = 0,04...0,08$ мкм.

Компания *Fanuc Ltd* рекламирует самую быстродействующую систему автоматической заправки проволоки с величиной рабочего цикла 12 с. В станках серии М компании *Seibu* (ELO Erosion GmbH) также используются современные средства автоматизации процесса резания, в частности, система автоматической заправки проволоки и эффективная система управления процессом резания.

В последние 10–15 лет значительную активность на рынке электроэрозионного оборудования проявляют предприятия Тайваня (*MAX SEE, ECOWIN, Fair Friend Group, CHMER* и др.).

Среди европейских производителей оборудования наиболее известны компании *Charmilles, AGIE* (Швейцария), *ONA* (Испания). Станок *Robofil 690* компании *Charmilles* обеспечивает максимальную производительность 300 мм²/мин при достижимой шероховатости $Ra = 0,28$ мкм (рис. 18.9). Рекомендуемый диаметр проволоки 0,25 мм, дополнительные диаметры 0,1, 0,2 и 0,3 мм. В конструкции станка использована станина из полимербетона и система термостабилизации диэлектрика, что существенно сказывается на точности обработки. Используются безззорные алмазные направляющие проволоки и надежная система ее заправки. Предусмотрена возможность обработки как при погружении в ванну, так и при прокачке диэлектрика вдоль ЭП.

Станок ЭИ250Ф4 производится ОАО «Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения». Станок предназначен для изготовления деталей сложной конфигурации, в том числе профилей с переменным углом наклона и линейчатых поверхностей с различными контурами в верхней и нижней плоскостях обрабатываемого изделия. Предусмотрено выполнение операций копирования формы электрода-инструмента небольшой площади (клейма различной сложности) и гравировки с нанесением знаковой информации.

Станок имеет 5 управляемых координат с величинами перемещений в миллиметрах по осям X, Y, Z, U, V соответственно 300/250/150/±30/±30 мм. Наибольшая скорость перемещений по осям X и Y составляет 100 мм/мин.

К достоинствам электроэрозионной обработки относятся: возможность обрабатывать токопроводящие материалы любой твердости, вязкости, хрупкости; возможность обрабатывать детали сложных форм и даже таких, которые невозможно получить другими способами, например, прошивание отверстий с криволинейной осью; отсутствие необходимости в высокой прочности и твердости инструмента; отсут-

ствие механических воздействий на заготовку и инструмент; возможность получать различное качество обработанной поверхности; значительное снижение трудоемкости обработки сложных поверхностей заготовок из труднообрабатываемых материалов.



Рисунок 18.9 – Станок Robofil 690 компании Charmilles

К недостаткам электроэрозионной обработки можно отнести: обратную зависимость между производительностью и качеством обработанной поверхности; необходимость вести обработку при погружении заготовки в жидкость; относительно низкая производительность при обработке материалов невысокой твердости (сталь, цветные сплавы).

18.1.3 Электрохимические методы обработки

Путем *электрохимической обработки* можно работать с металлами любого типа, марки, проводить операции со сплавами высоколегированными на основе никеля, крепкими титановыми сплавами и материалами, которые прошли закалку. Поскольку метод не предполагает контактного силового взаимодействия между инструментом и заготовкой, деталь не подвергают нагреву, это исключает возникновение таких негативных моментов, как выработка инструмента, растрескивание тела заготовки, покрытие пленочными оксидами, необходимость проведения доводочных работ по устранению заусенцев [423–425].

С помощью электрохимической обработки можно производить *электролитическое полирование, анодирование, пассивирование, гальванопластику, гальваностегию*, а также *размерную обработку*.

Удаление материала *при размерной электрохимической обработке* происходит под действием электрического тока в среде электролита без непосредственного контакта между инструментом и заготовкой. В основе этого процесса лежит явление анодного растворения металлов в движущемся (проточном) электролите.

Процесс выглядит следующим образом. Заготовку и инструмент помещают в емкость, чтобы они не соприкасались между собой. К детали подсоединяют «+» клемму источника постоянного тока, к инструменту – «-» клемму. В емкость заливают электролит на основе нейтральной соли и подают напряжение. Между заготовкой и инструментом начинает течь электрический ток, и происходят окислительно-восстановительные реакции, где металл заготовки окисляется, а инструмент восстанавливается. В результате деталь приобретает определенную форму, а в электролите оседает шлам в виде продуктов окисления.

Схема процесса на примере обработки заготовки из железа в электролите – водном растворе хлорида натрия – приведена на рисунке 18.10. Кинематика операций во многом сходна с электроэрозионной обработкой. Основным электрохимическим процессом является растворение анода, происходящее с линейной скоростью:

$$V_{\text{л}} = K_{\text{в}} K_{\text{эф}} \cdot \eta \cdot (U - \Delta\phi) / \delta,$$

где $K_{\text{в}}$ – электрохимический эквивалент растворяемого вещества, $K_{\text{эф}}$ – эффективная удельная электропроводность электролита, η – коэффициент потерь на нагрев электролита, U – напряжение, приложенное к электродам, $\Delta\phi$ – сумма электродных потенциалов поляризации электродов, δ – межэлектродный зазор.

Электролит выполняет одновременно несколько функций: обеспечивает за счет своего состава и электропроводности протекание электрохимического процесса; обеспечивает вынос продуктов электродных реакций, удаление тепла, выделившегося при прохождении электрического тока и т.д. Состав электролита зависит от материала заготовки и вида обработки. Некоторые составы электролитов приведены в таблице 18.1.

Электролит 1 применяется для всех видов обработки заготовок из углеродистой стали и для прошивки отверстий в заготовках из легированной стали. Для прошивки полостей в штампах и пресс-формах применяют электролит 5. Этот электролит можно использовать для прошивки отверстий и шлифования заготовок из жаропрочных сталей. Для прошивки, разрезания и шлифования заготовок из твердых сплавов

используются электролиты 2 и 3, а из алюминиевых сплавов – 4. Электролит 7 можно использовать для шлифования заготовок из магнитных литых сплавов. В растворы электролитов в качестве добавок могут вводить: буферные вещества для снижения защелачивания электролита (борная, лимонная, соляная кислота); ингибиторы коррозии (например, нитрит натрия); активирующие вещества, которые снижают пассивирующее действие оксидной пленки (ионы брома, йода); ускорители осаждения продуктов обработки – коагуляторы, которые способствуют быстрой очистке электролита (1...5 г/л полиакриламида).

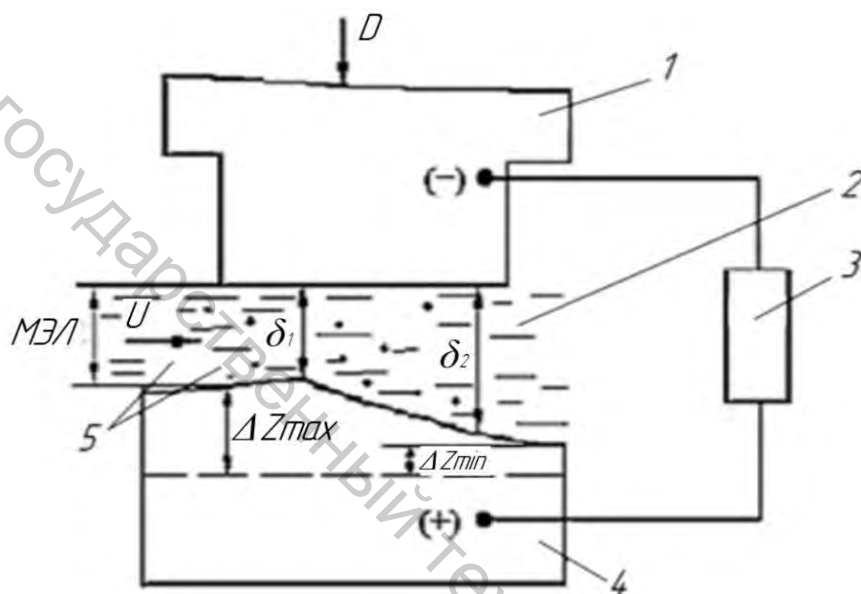


Рисунок 18.10 – Условная схема ЭХО:

1 – электрод-инструмент; 2 – электролит; 3 – источник питания постоянного (периодического) тока; 4 – обрабатываемая заготовка (анод); 5 – шлам; МЭП – межэлектродный промежуток; 1, 2 – зазоры МЭП; Z_{max} , Z_{min} – соответственно, максимальное и минимальные значения припуска на обработку; U – скорость прокачки электролита через МЭП

Таблица 18.1 – Составы электролитов для ЭХРО

Компоненты электролита	Номер электролита						
	1	2	3	4	5	6	7
	Содержание компонентов, % по массе						
KNO_2 , KNO_3	–	–	–	–	–	12...15	5...7
$C_6H_5O_7$	–	–	–	1	–	–	–
$NaNO_3$	–	–	–	5...10	15...20	–	0,5...1,5
$NaCO_3$	–	5,6	10...15	–	–	–	–
$NaCl$	10...20	7,5	8...10	–	–	–	–

Для нормального протекания электрохимических реакций необходимо обеспечить интенсивный вынос продуктов обработки из межэлектродного промежутка, поэтому электролит должен протекать со

скоростью, достаточной для захвата и удаления твердых и газообразных частиц, образующихся в ходе реакции. Скорость протекания электролита может задаваться в широких пределах ($V_{\text{э}} = 5 \dots 20$ м/с) в зависимости от вида выполняемой операции. Так, например, при прошивании мелких полостей и отверстий $V_{\text{э}} = 6 \dots 10$ м/с, а крупных $V_{\text{э}} = 10 \dots 16$ м/с. При электрохимическом шлифовании $V_{\text{э}} = 12 \dots 20$ м/с, а при разрезке дисковым электродом $V_{\text{э}} = 10 \dots 12$ м/с.

Рабочий зазор между электродом-инструментом и обрабатываемой поверхностью выбирается в пределах от 0,02 до 1 мм в зависимости от вида выполняемой операции и размеров обработки. Так, например, при прошивке мелких отверстий зазор равен 0,02...0,3 мм, а при прошивании крупных полостей с длиной контура более 40 мм – 0,3...1 мм. При электрохимическом шлифовании зазор равен 0,1...0,8 мм, а при разрезании – 0,1...0,5 мм.

Электрохимическая обработка проводится обычно при напряжении от 6 до 30 В. Для большинства схем используют диапазон напряжений 9...18 В (для титановых сплавов 25...30 В). Разрезка материалов выполняется при напряжении 25...30 В. При шлифовании напряжение снижают до 6...8 В. В некоторых случаях напряжение подается в межэлектродный промежуток отдельными импульсами. В паузах между импульсами анодного растворения металла не происходит, а электролит протекает. За счет этого межэлектродный промежуток освобождается от продуктов обработки, выравнивается температура электролита. Это повышает экономические показатели процесса. Однако при такой подаче напряжения снижается скорость съема металла и усложняются источники питания.

В настоящее время электрохимическая обработка позволяет получить точность: 1) по 12-му...14-му квалитетам при обработке полостей и разрезании заготовок; 2) по 9-му...10-му квалитетам при прошивании мелких отверстий (диаметром до 2 мм); 3) по 6-му...7-му квалитетам при шлифовании.

Наибольшее влияние на погрешность обработки оказывает нестабильность электропроводности электролита и зазора, отклонение от расчетного режима течения электролита, погрешность настройки и установки. Повысить точность обработки можно за счет: уменьшения межэлектродного зазора (особенно с применением импульсного напряжения); наложения на электрод-инструмент вибраций частотой от нескольких герц до десятков килогерц (направление вибраций параллельно и перпендикулярно направлению подачи); локализации процесса анодного растворения, то есть ограничения проводимости тока через участки заготовки, прилегающие к обрабатываемому.

Для локализации применяется обработка заготовки отдельными секциями электрода-инструмента, на которые последовательно подают напряжение. Последовательность включения секций направлена против

движения электролита, поэтому все продукты обработки удаляются из зазора, минуя работающую секцию. Наиболее широко применяют локализацию обрабатываемого участка путем диэлектрических покрытий заготовки или инструмента.

Если электрохимическая обработка выполняется после механической, то в начале процесса анодного растворения микрорельеф повторяет исходный профиль заготовки. После точения, например, необходимо удалить припуск, в 10...12 раз больший, чем начальная высота микронеровностей, пока не перестанет проявляться влияние обработки, предшествующей электрохимической. Характер получившихся микронеровностей зависит от структуры обрабатываемого материала по причине межкристаллитного растворения. При высоких плотностях тока ускоренное растворение может наблюдаться не по границам, а по самому зерну. Применение импульсного тока способствует снижению высоты микронеровностей на 20...30 %.

При обработке конструкционных сталей в электролитах на базе хлорида натрия получаем $Ra = 0,32...0,1$ мкм, нержавеющей сталей – $Ra = 1,25...0,32$ мкм, титановых сплавов – $Ra = 2,5...1,25$ мкм, алюминиевых сплавов – $Ra = 2,5...6,3$ мкм.

Электрохимическая обработка может применяться в тех случаях, когда другие методы малоэффективны. Например, для удаления заусенцев в труднодоступных местах. Процесс растворения заусенцев и скругления кромок занимает доли минуты.

К основным достоинствам электрохимической размерной обработки относятся: высокая производительность, достигающая десятков тысяч кубических миллиметров в минуту и принципиально не имеющая ограничений; полное отсутствие износа электрода-инструмента; возможность повышения производительности, чего нет ни у одного из других механических или электрических методов обработки; высокое качество обработанной поверхности; наличие некоторого саморегулирования процесса при обработке заготовок из сплавов неоднородного кристаллического строения, приводящего к равномерному растворению материала с их поверхности.

К недостаткам процесса относятся: высокая энергоемкость; необходимость принятия специальных мер для удаления отходов (шлака и газов); затруднительность управления процессом при обработке сложнопрофильных деталей с высокой точностью; необходимость обеспечения интенсивной циркуляции электролита в процессе обработки; некоторое снижение выхода по току при возрастании плотности тока.

18.2 Плазменная обработка

Плазменная обработка металлов (разделительная и поверхностная резка, нанесение покрытий, наплавка и сварка) – это такая обработка, для которой применяется ионизированный газ [423–429]. Получают данное агрегатное состояние вещества изотермическим нагревом аргона, водорода, азота или кислорода. При этом разрушается внешняя оболочка атомов, и освобождаются электроны, ионизируя среду (рис. 18.11).



Рисунок 18.11 – Плазменная резка металла

Плазмотрон – это генератор плазмы, то есть такое техническое устройство, в котором электрический ток используется для образования плазмы, которая, в свою очередь, применяется с целью обработки материалов.

В машиностроении наибольшее распространение получила плазменная резка. Существует огромное количество компаний, которые занимаются разработкой, производством оборудования и расходных материалов для плазменной резки. В общем случае станки для плазменной резки имеют специальный координатный стол, плазматрон, который управляется при помощи микропроцессора, системы управления. Процесс плазменной резки металла практически полностью является автоматизированным.

Основной элемент этого оборудования – плазматрон. Устройство плазмотрона для резки металла представлено следующими конструктивными элементами: электрод/катод со вставкой из циркония или гафния – металлов с высокой термоэлектронной эмиссией; сопло для плазмотрона, обычно изолированное от катода; механизм для закручивания плазмообразующего газа (рис. 18.12).

Сопла и катоды – это основные расходные материалы плазмотронов. При толщине обрабатываемого металла до 10 мм одного комплекта

расходных материалов бывает достаточно для одной рабочей смены – восьми часов работы. Сопла и катоды плазмотронов, как правило, изнашиваются с одинаковой интенсивностью, поэтому их замену можно организовать одновременно.

Несвоевременная замена расходников может оказать большое влияние на качество реза: например, при нарушении геометрии сопла может возникнуть эффект косого реза, или на поверхности реза будут возникать волны. Износ катода выражается в постепенном выгорании гафниевой вставки, выработка которой в объеме более 2 мм способствует пригоранию катода и перегреванию плазмотрона. Таким образом, несвоевременная замена изношенных расходных материалов влечёт за собой более скорый износ и остальных комплектующих плазмотронов.



Рисунок 18.12 – Плазматрон для резки металла

Для защиты плазмотрона от брызг расплавленного металла и металлической пыли в процессе работы на него надевают специальный кожух, который необходимо время от времени снимать и очищать от загрязнений. Отказ от использования защитного кожуха приводит к риску негативного влияния вышеуказанных загрязнений на качество работы плазмотрона и даже к его поломке. Кроме очистки кожуха, время от времени стоит чистить и сам плазматрон.

Существует несколько *видов плазматронов*. *Электродуговые плазмотроны* оснащены как минимум одним анодом и катодом, подключёнными к источнику питания плазмотрона постоянного тока. В качестве хладагента таких устройств используется вода, которая циркулирует в охлаждающих каналах.

Существуют следующие разновидности электродуговых плазмотронов: плазмотроны с прямой дугой; плазмотроны с косвенной дугой (плазмотроны косвенного действия); плазмотроны с использованием электролитического электрода; плазмотроны с вращающимися электродами; плазмотроны с вращающейся дугой.

Высокочастотные плазмотроны не имеют ни электродов, ни катодов, ведь для связи такого плазмотрона с источником питания используется индуктивный/ёмкостный принцип. Из этого следует, что высокочастотные плазмотроны делятся на индукционные и ёмкостные.

Принцип работы плазмотронов высокочастотной группы требует того, чтобы разрядная камера таких устройств была выполнена из непроводящих материалов, и в качестве таковых обычно используются керамика или кварцевое стекло.

Так как поддержание безэлектродного разряда не нуждается в электрическом контакте плазмы с электродами, в плазмотронах такого типа используется газодинамическая изоляция стенок от плазменной струи, что даёт возможность избежать их перегрева и ограничиться воздушным охлаждением.

Комбинированные плазмотроны работают при совместном действии ТВЧ – токов высоких частот – и горении дугового разряда, в том числе с его сжатием магнитным полем.

Кроме общей классификации плазмотронов на электродуговые, высокочастотные и комбинированные, такие устройства можно разделять на группы по многим принципам: например, в зависимости от типа охлаждения, по способу стабилизации дуги, в зависимости от типа электродов или используемого тока.

Все детали современных плазматронов изготавливаются с точностью $\pm 0,002$ мм. Благодаря этому увеличивается эффективная длина режущей струи плазмы, уменьшается диаметр плазменной дуги, увеличивается стойкость плазматрона, эффективнее используется мощность источника.

Качество сопел и электродов оценивается по количеству «пробивок». Для этого в современных конструкциях электродов применяется серебро и производится дополнительное охлаждение гафниевой вставки (для предупреждения «выпадения» гафния из-за разницы теплового расширения). Для такой конструкции 2500 пробивок не предел. Для потребителя это означает десятикратное уменьшение количества остановок процесса.

Внедрение новых плазматронов позволяет резать стали толщиной более 30 мм и начать конкурировать с газовой резкой.

Использование кислорода, азота и аргона позволяет повысить скорость резки, избавиться от грата, снизить азотирование и науглероживание кромок среза. Качественная резка нержавеющей стали и алюминия невозможна без применения чистого азота, аргона или аргоно-водородных смесей. Современная система плазменной резки не просто подаёт газы в каналы плазматрона, но и управляет их комбинациями и давлениями.

Одним из направлений развития плазменной обработки является развитие технологий разметки и нанесения надписей с помощью плазмы.

В последнее время за счет улучшения конструкций плазматронов, сопел и электродов, исследований в области применения газов позволило поднять значения токов резки до 400–1000 А. С ростом токов резки растёт и толщина обрабатываемых материалов.

Конструкций установок плазменной резки существует великое множество, как и их производителей. Станки имеют специальный координатный стол, плазматрон, который управляется при помощи микропроцессора, системы управления. Процесс резки металла практически полностью является автоматизированным (рис. 18.13).



Рисунок 18.13 – Станки плазменной резки различных фирм

18.3 Лучевая обработка

К лучевым методам обработки относится обработка материалов *электронным пучком и световыми лучами* [430–436].

Электронно-лучевая обработка основана на превращении кинетической энергии пучка электронов в тепловую. Тепловая энергия выделяется при столкновении быстро движущихся электронов с обрабатываемым материалом. Обработка осуществляется потоком электронов высоких энергий (до 100 кЭв). Диаметры электронных пучков 0,5...500 мкм. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет осуществлять размерную обработку детали вследствие расплавления и испарения материала с узлокального участка. Таким путём можно обрабатывать все известные материалы (современная электронная оптика позволяет концентрировать электронный пучок на весьма малой площади, создавать в зоне обработки огромные плотности мощности).

В оборудование для электронно-лучевой обработки входят обычно электронная пушка, вакуумная камера с вакуумной системой и источник питания с аппаратурой управления процессом. В электронной пушке производится генерирование электронов, формирование их в пучки и разгон до высоких скоростей.

При размерной обработке заготовок установка работает в импульсном режиме, что обеспечивает локальный нагрев заготовки. В зоне обработки температура достигает 6000 °С, а на расстоянии 1 мкм от кромки луча она не превышает 300 °С. Продолжительность импульсов и интервалы между ними подбирают такими, чтобы за один цикл успел нагреться и испариться металл только под лучом, а теплота не успела распространиться по объёму заготовки. Длительность импульсов $10^{-4} \dots 10^{-6}$ с, а частота – 50...6000 Гц.

Технологические характеристики электронно-лучевой обработки определяются во многом возможностями оборудования, энергетическими параметрами электронного пучка и свойствами обрабатываемого материала.

Скорость съёма материала электронным лучом на черновых режимах достигает 20...30 мм³/мин, а на чистовых – 1...2 мм³/мин; точность обработки находится в пределах 5...20 мкм. Этим методом можно получить отверстия диаметром 1...10 мкм, прорезать пазы, резать металл, изготавливать тонкие сетки из фольги, обрабатывать подшипниковые камни часов, сопла для прядения, осуществлять сварку, наплавку, термическую обработку металлов и сплавов и др.

К основным преимуществам электронно-лучевой обработки следует отнести: возможность широкого регулирования режимов и тонкого управления тепловыми процессами; пригодность для обработки метал-

лических и неметаллических материалов; высокий коэффициент полезного действия (до 98 %); возможность автоматизации процесса. Кроме того, возможность сканирования электронного луча позволяет использовать этот вид обработки для изготовления фасонных щелей и пазов в труднообрабатываемых материалах (рубин, керамика, кварц, тантал, цирконий, вольфрам и др).

Основными недостатками электронно-лучевой технологии являются: необходимость защиты от рентгеновского излучения, относительно высокая стоимость и сложность оборудования и необходимость глубокого вакуума.

Из-за относительно высокой стоимости, малой производительности, технической сложности станки используются в основном для выполнения прецизионных работ в микроэлектронике, изготовления фильер с отверстиями малых (до 5 мкм) диаметров, работ с особо чистыми материалами.

Работа установок *для светолучевой обработки* основана на использовании твердотельного, газового или волоконного лазера.

Лазерная резка широко применяется на машиностроительных предприятиях при обработке металлических листов для создания различных изделий и конструкций. Мощный лазер осуществляет точную резку и раскрой листов металла. С помощью лазерного воздействия так же можно упрочнять поверхности и режущие кромки инструмента и готовых деталей, осуществлять маркировку, сварку и др. На рисунке 18.14 показано распределение продаж промышленных лазеров по видам их использования.

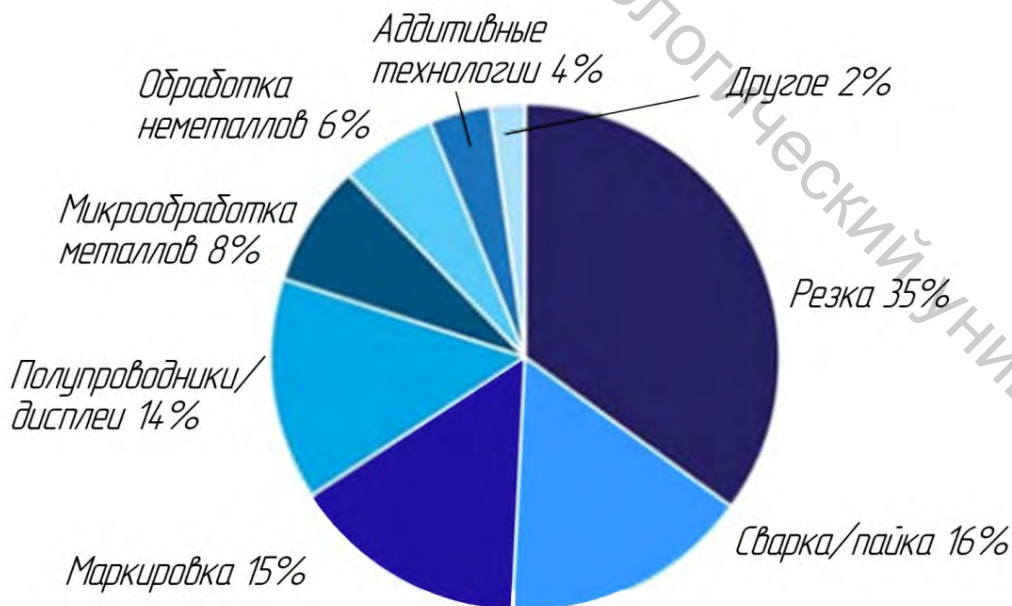


Рисунок 18.14 – Распределение продаж промышленных лазеров по видам их использования

Лазером управляют при помощи компьютера, что и гарантирует высочайшую точность резки. Лазерный луч фокусируется на обрабатываемом материале и направляет на него высококонцентрированную энергию. Станок разрезает практически любые материалы, независимо от их свойств и характеристик.

Станки имеют специальный координатный стол, лазерную головку, которая управляется при помощи микропроцессора, системы управления (аналогично плазменной резке). Процесс лазерной резки металла практически полностью является автоматизированным. Во время резки разрезаемый участок металлического листа начинает плавиться, происходит возгорание, испарение либо выдувание струей газа.

Мощность лазера для резки металла позволяет работать с очень большим разнообразием материалов. Резать можно сталь любого качества, листы алюминия и различные сплавы. Также можно работать с цветными металлами – медью, латунью. Подбор типа лазера производится в зависимости от того, какой материал будет обрабатываться.

Энергия светового импульса лазера обычно невелика и составляет 20–100 Дж, но она выделяется в миллионные доли секунды и сосредотачивается в луче диаметром около 0,01 мм. В фокусе диаметр светового луча составляет всего несколько микрометров, что обеспечивает температуру около 6000–8000 °С. В результате поверхностный слой материала заготовки, находящийся в фокусе, мгновенно расплавляется и испаряется. Основными характеристиками лазерного излучения являются мощность (Вт), длина волны (0,4–10,6 мкм), длительность (мс) и форма импульсов, расходимость пучка.

Лазерная резка характеризуется отсутствием механического воздействия на материалы, которые подвергаются обработке. Возможны лишь совсем небольшие деформации. Поэтому даже самые хрупкие, мягкие материалы, которые очень легко деформировать, можно резать с максимальной точностью.

К основным тенденциям развития отрасли лазерных технологий относится сохраняющаяся высокая доля стоимости оборудования в общем объеме рынка ЛТ и необходимость использования высококвалифицированного персонала. Высокая цена лазерного технологического оборудования приводит к снижению спроса потребителей на технику с улучшенными техническими характеристиками.

В основном, ЛТ развиваются в странах ЕС, США и Японии. Заметно отстают от них страны Юго-Восточной Азии. В сфере высоких технологий лазерный рынок – один из наиболее динамично развивающихся.

Среди лазерных источников, используемых для обработки материалов, традиционно велика доля CO₂-лазеров, особенно среди лазеров высокой мощности (до 20 кВт). Установки с этими источниками составляют сейчас абсолютное большинство среди машин, применяемых для

резки, сварки и термообработки, и серийно выпускаются в Европе, США, Китае и Японии. Крупнейшими производителями лазерных установок являются фирмы *Trumpf* (Германия, Дитцинген) и *IPG* (США, Оксфорд), *Han's Laser* (КНР, Шеньжень), *Coherent* (США, Санта-Клара).

Магистральным направлением развития и совершенствования CO₂-лазеров является повышение их надежности и экономичности. Показателем широкого внедрения ЛТ в промышленность является высокими темпами развивающийся рынок лазерной техники и технологий в Китае. Лазерные технологические установки (ЛТУ) с мощными лазерами (CO₂-лазеры до 5 кВт, твердотельные лазеры (ТТЛ) с ламповой накачкой до 1 кВт китайского производства) используются для резки (листовой металл, пластики, дерево, ткани и пр.), сварки, упрочнения или наплавки (пуансоны и матрицы, сверла и буры, клапаны, лопатки и т.д.), сверления (фильтры), быстрого прототипирования.

Общим для оборудования, применяемого для лазерной обработки материалов, является осуществление поставок на рынок не отдельных ЛТУ, а целых комплексов (ЛТК). Помимо лазеров, ЛТК включают в себя устройства внешней оптики, управляемые столы, манипуляторы либо роботы для перемещения изделия во время обработки и программное обеспечение, необходимое для реализации конкретной технологии.

Лучшие западноевропейские фирмы, продукция которых в полной мере отвечает требованиям современного производства, мало уступают фирмам США и Японии и могут вполне удовлетворять потребности промышленности. Несомненными лидерами в производстве ЛТ оборудования, лазерных систем и технологий, имеющими наиболее богатый опыт комплексного внедрения мощных ЛТК «под ключ», являются хорошо известные и зарекомендовавшие себя в условиях реального производства во многих странах мира, в т.ч. и в России и Республике Беларусь, фирмы *TrumpfGmbH + Co*, *Messer Cutting & Welding* (Германия), *Bystronic Laser AG* (Швейцария) и *Esab Hancock GmbH* (Швеция), *Prima Industry* (Италия), *Rofin Sinar Laser GmbH* (Германия).

В промышленности Европы, как правило, применяются лазеры мощностью до 3–6 кВт, в основном, для резки, и реже – для сварки. Например, лазерные комплексы TRUMATIC L3050 с 5 кВт лазером, Bystar 3015, Bystar 4025 обеспечивают высококачественную резку листового материала толщиной до 25 мм (по стали), до 12 мм (по алюминию), труб и различных профильных конструкций (рис. 18.15).

ЛТК для резки с лазером модели С 6000-Е производства фирмы *GE Fanuc* (Япония), являющейся лидером в Европе по применению лазеров, обладает широким спектром применений, например, может устойчиво резать конструкционную сталь толщиной до 32 мм.



Рисунок 18.15 – Лазерный технологический комплекс TRUMATIC

Наряду с традиционными мощными CO_2 -лазерами в технологии машиностроения успешно применяются ТТЛ с ламповой (ЛН ТТЛ) и диодной накачкой (ДН ТТЛ), а также диодные лазеры киловаттного уровня. В автомобилестроении, авиационном двигателестроении, при резке высокопрочных сталей и микрообработке этим типам лазеров серьезными конкурентами являются волоконные лазеры.

Конкурентоспособность ТТЛ особенно резко повысилась после появления машин с диодной накачкой. Эти источники излучения обладают многими преимуществами перед ЛН ТТЛ – у них более высокое качество луча, лучшая надежность, меньшее энергопотребление, меньшие эксплуатационные расходы.

На основе диодных лазеров созданы ЛТК для сварки и термообработки, в том числе и с использованием волоконно-оптических систем транспортировки излучения (*Laserlink* (Германия)).

Существенного изменения в структуре мирового рынка производства и продаж технологических лазеров можно ожидать в связи с появлением волоконных лазеров многокиловаттного уровня (разработчик НТО «ИРЭ»Полус», Россия), развитие которых неуклонно растет по сравнению с ТТЛ и CO_2 -лазерами, где, несмотря на продолжающиеся в течение длительного времени инвестиции, наблюдается насыщение. Волоконные лазеры быстро прогрессируют в объемах продаж, что уже в ближайшее будущее окажет еще более сильное влияние на весь бизнес в области лазерной техники. Для этого типа лазеров отмечается качественно новый рубеж в снижении эксплуатационных затрат, что может быть более существенным, чем повышение выходной мощности.

Эти источники излучения способны обеспечить равные с ныне существующими технологическими лазерами значения стоимости кило-

ватта мощности ЛИ, многократно превосходя их при этом по сроку службы, имея при этом существенно более низкую величину эксплуатационных расходов, обладают высокими КПД, стабильностью выходных параметров, качеством излучения и надежностью. Интегральная технология их производства обеспечила устойчивость лазеров к пыли, влаге, механическим воздействиям, позволила избежать необходимых в традиционных конструкциях юстировочных операций, решен вопрос доставки излучения по волоконному световоду в зону обработки.

18.4 Ультразвуковая обработка

Использование ультразвука в промышленности осуществляется по трем направлениям: силовое воздействие на материал; интенсификация технологических процессов; ультразвуковые методы контроля [436–440].

Силовое воздействие ультразвука на обрабатываемый материал применяется для механической обработки твердых и сверхтвердых сплавов, диспергирования и эмульгирования, удаления пленок, загрязнений и др.

При *ультразвуковой обработке* электрическая энергия с помощью пьезо- или магнитострикционных элементов преобразуется в энергию упругих волн, которые распространяются в твердых, жидких и газообразных средах. Удаление материала осуществляется за счет движения зерен абразивной суспензии в пространстве между колеблющимся инструментом и обрабатываемой поверхностью. При этом абразивные зерна получают энергию от инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Обычно при размерной обработке используют продольные колебания инструмента, реже – поперечные и крутильные. Кавитация и акустические течения, возникающие под инструментом в абразивной суспензии под воздействием ультразвуковых колебаний, способствуют перемешиванию абразива в рабочем промежутке, выносу абразива и отделенных частиц материала обрабатываемой заготовки, подаче свежего абразива в зону обработки.

Принципиальная схема ультразвуковой размерной обработки прошиванием (долблением) показана на рисунке 18.16. При данном методе обработки осуществляется направленное разрушение твердых и хрупких материалов с помощью инструмента 3, колеблющегося с ультразвуковой частотой. В этом процессе он оказывает на обрабатываемую поверхность 1 ударное воздействие, которое достигается посредством мельчайших зерен абразивного порошка 9, вводимого в виде суспензии в зазор 8 между торцом инструмента и изделием.

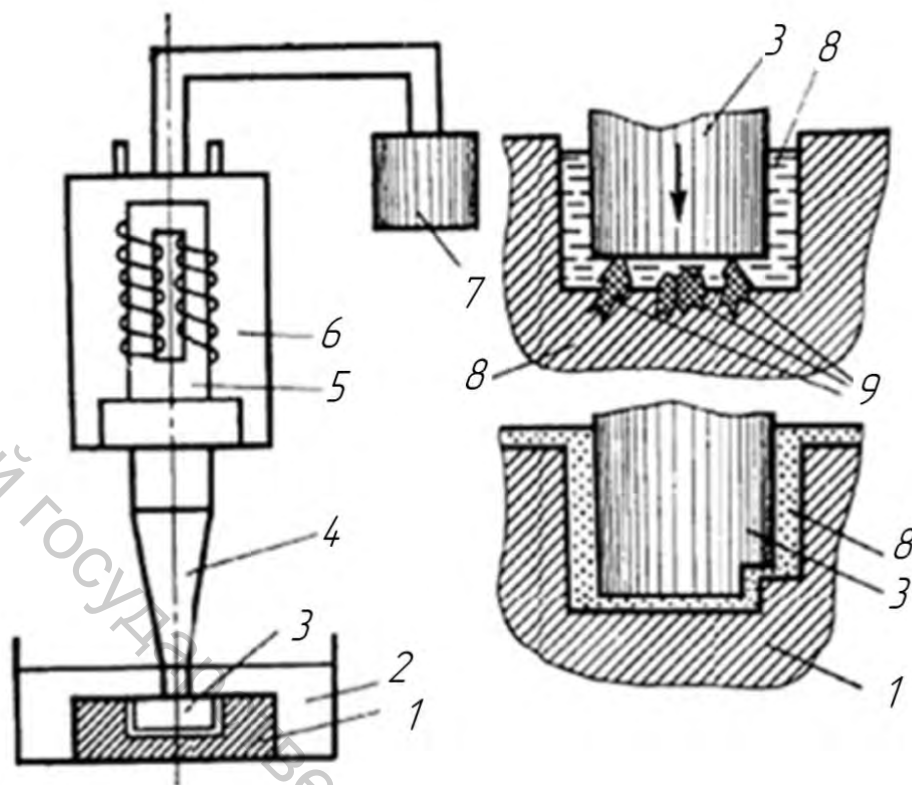


Рисунок 18.16 – Схема ультразвуковой размерной обработки прошиванием:

1 – обрабатываемая деталь; 2 – ванна; 3 – инструмент; 4 – акустический трансформатор скорости; 5 – магнитострикционный преобразователь; 6 – корпус с охлаждением; 7 – ультразвуковой генератор; 8 – зазор; 9 – частички абразива

Хотя производительность каждого удара ничтожно мала, общая производительность ультразвуковой обработки относительно высока, что обусловлено высокой частотой колебаний инструмента (16–30 кГц) и большим количеством зерен абразива (20 000–100 000 на 1 см³), ударяющихся по обрабатываемой поверхности детали. Под ударами зерен абразива происходит выкрашивание мелких частиц материала изделия.

Сообщая инструменту и заготовке различные виды подач и меняя профиль сечения инструмента, можно прошивать глухие и сквозные отверстия, обрабатывать плоскости, углубления и пазы, разрезать заготовки, обрабатывать криволинейные и кольцевые пазы по копиру, обрабатывать наружные поверхности вращения, проводить шлифование и полирование.

Обработка может осуществляться перемещающимся непрофилированным инструментом – тонкой проволокой (рис. 18.17). Ультразвуковой концентратор 2, соединенный с преобразователем 3, возбуждает колебания в проволоке-инструменте 4, перематываемой с катушки 1 на

катушку 7. Заготовка 6 прижимается с небольшим усилием P к проволоке 4, а в зону их контакта подается абразивная суспензия 5.

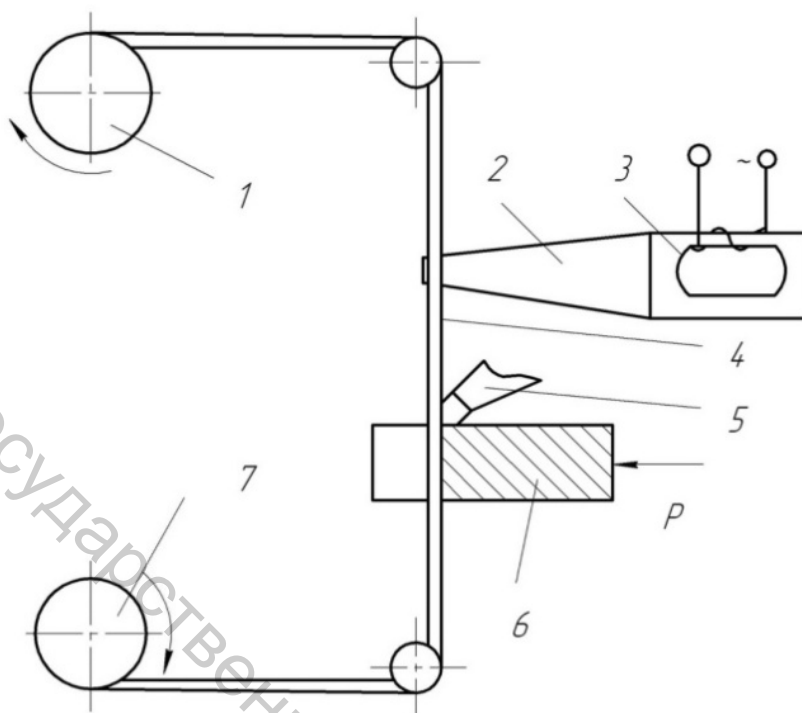


Рисунок 18.17 – Схема ультразвукового разрезания

Ультразвуковой обработке хорошо поддаются хрупкие материалы: стекло, керамика, ферриты, твердые сплавы, закаленные и азотированные стали. Тип абразива, его концентрация сильно влияет на производительность, точность и качество ультразвуковой размерной обработки. Зерна абразива выполняют функции режущего инструмента, поэтому они по твердости должны хотя бы не уступать обрабатываемому материалу. Обычно применяют карбид бора, который хорошо смачивается водой и благодаря сравнительно небольшой плотности удовлетворительно переносится жидкостью. Другие абразивные материалы (карбид кремния, электрокорунд) обеспечивают меньшую (на 17...27 %) производительность по сравнению с карбидом бора.

В качестве жидкости, несущей абразив, обычно используют воду, в которую добавляют ингибитор коррозии и другие добавки (например, 15%-ный раствор сернистой меди), повышающие производительность ультразвуковой обработки.

Параметры ультразвуковой обработки существенно зависят от размера зерен абразива и их концентрации. Уменьшение размера абразивных зерен вызывает снижение производительности, особенно если размер зерна меньше амплитуды колебаний. С другой стороны, чем меньше зерно, тем выше точность обработки. При оптимальной концен-

трации абразива в суспензии по обрабатываемой поверхности укладывается один слой зерен абразива. При повышенной концентрации абразива в суспензии будет увеличиваться доля работы, идущей на диспергирование самих зерен.

Чем больше амплитуда и частота колебаний, тем выше производительность обработки. Оптимальная амплитуда колебаний составляет 0,6...0,8 размера абразивных зерен. Если амплитуда колебаний будет в два раза больше размера зерен, то производительность может снизиться в 1,25...3 раза. При ультразвуковой обработке обычными абразивными порошками погрешность размера достигает 15...30 мкм. Шероховатость обрабатываемой поверхности пропорционально размеру абразивных зерен. Использование мелких шлифпорошков (№ 3) и микропорошков дает $Ra = 1,2...0,4$ мкм, а при доводке $Ra = 0,2$ мкм.

Для создания ультразвуковых колебаний применяют *магнито-стрикционные и пьезоэлектрические преобразователи*. Первые представляют собой сердечник из сплавов никеля, железокобальтовых или железоалюминиевых сплавов с обмоткой. Переменный ток в обмотке вызывает переменное магнитное поле, которое, перемагничивая сердечник, изменяет его размер. В пьезоэлектрических преобразователях деформация возникает под действием электрического поля. Они изготавливаются из пьезокерамики на основе твердых растворов титанцирконата свинца и чаще всего имеет форму стержней и пластинок.

Для увеличения амплитуды колебаний преобразователя служит концентратор (2 на рисунке 18.17), который чаще всего представляет собой стержень переменного сечения. Сечение концентратора может уменьшаться линейно (конус), по экспоненте или ступенчато. Рабочие инструменты при ультразвуковой обработке быстро изнашиваются, поэтому их целесообразно делать сменными. Они крепятся к концентратору с помощью резьбового соединения с мелким шагом.

Главными потребителями ультразвуковых технологий являются авиационная, ракетная, часовая, судостроительная и приборостроительная (производство акселерометров и гироскопов) промышленность.

Современным лидером в производстве оборудования для ультразвуковой размерной обработки считается немецкая компания *DMG*. Их станки обладают широкими технологическими возможностями. Особое внимание заслуживают пятикоординатные станки с ЧПУ *Ultrasonic* (рис. 18.18). Они позволяют наносить рельефные рисунки на поверхности хрупких и твердых материалов (стекло, керамика), выполнять сквозные и глухие отверстия произвольной формы (производительность в 5 раз выше традиционных методов, $Ra=0,2$). Главный недостаток таких станков – стоимость (порядка 500 тыс. долларов США).

В Российской Федерации производством ультразвукового оборудования занимаются *ООО «МЭЛФИЗ-ультразвук»*, *НПП «Авиаинстру-*

мент», ООО «Центр ультразвуковых технологий», ООО «Ультразвуковая техника ИНЛАБ» и др.



Рисунок 18.18 – Станок Ultrasonic компании DMG

В Республике Беларусь ведущим учреждением по ультразвуковым технологиям является ГНУ «Институт технической акустики» Национальной академии наук.

Таким образом, основные достоинства ультразвуковой обработки: возможность размерной обработки заготовок из твердых и хрупких материалов (керамика, ситаллы, кремний, германий); сравнительная несложность эксплуатации промышленных установок. К недостаткам относятся: повышенная стоимость акустической энергии; необходимость изготовления специальных установок и аппаратов для генерации ультразвуковых колебаний, их передачи и распределения.

18.5 Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка объединяет разные методы, основанные на совместном использовании электрохимического и механического воздействия для удаления припуска [436–440].

В эту группу входит собственно анодно-механическая обработка металлическим электродом (анодно-механическое резание), обработка токопроводящими абразивными инструментами (электроабразивная обработка), обработка электронейтральным абразивным инструментом при одновременном электрохимическом воздействии (анодно-абразивное хонингование, электрохонингование) и некоторые другие методы.

Особенностью большинства методов этой группы является сочетание высокой удельной производительности (съем металла) с низкой шероховатостью обработанной поверхности. Некоторые схемы анодно-механической обработки показаны на рисунках 18.2 б–г и на рисунках 18.3 в–д.

Основные достоинства предварительной анодно-механической обработки: высокая производительность на жестких режимах; небольшие механические усилия обработки; возможность обрабатывать сплавы высокой твердости. Недостатки: наличие заметной зоны термического влияния; недостаточная технологичность применяемого электролита; заметный износ электрода-инструмента; обязательность главного движения с большой скоростью.

На рисунке 18.19 изображена схема *анодно-механического разрезания* металла, на основе которой строятся разрезные станки. Металлический диск 2 (катод) соприкасается с полосой проката 1 под небольшим давлением в присутствии электролита и очищает непрерывно образующуюся пленку, являющуюся продуктом анодного растворения. Вместе с этим диск удаляет мельчайшие частички металла, оплавленного тепловыми импульсами, возникающими под действием тока. При шлифовании пленка удаляется электронейтральным инструментом 3.

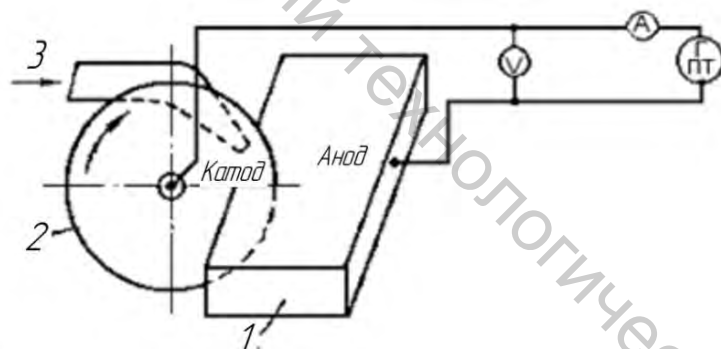


Рисунок 18.19 – Схема анодно-механического разрезания металла

В качестве электролита применяется водный раствор жидкого стекла. Интенсивность съема металла колеблется в зависимости от электрических и механических режимов в пределах от 2000 до 6000 мм³/мин при разрезании и до 2–6 мм³/мин при шлифовании. С повышением интенсивности съема металла снижается точность и чистота обработки. При разрезании проката получается чистота поверхности в пределах 2–4-го класса, а точность по 4-му классу; при шлифовании чистота 9–11-го класса, а точность 2–1-го класса.

Анодно-механическое шлифование проводится при напряжении от 4 до 20 В, давление инструмента 50...150 кПа, скорости движения ин-

струмента 1...30 м/с и обеспечивает значения параметра шероховатости $Ra = 0,8...0,05$ мкм.

К этому виду обработки относятся электрохимическое шлифование (электроабразивная или электроалмазная обработка), электрохимическая обработка с нейтральным абразивом (шлифование, хонингование и полирование) и анодно-абразивная обработка. При электроабразивной и электроалмазной обработке съем металла осуществляется не только за счет реакции анодного растворения, но также и зернами абразива или алмаза.

При электрохимическом шлифовании (рис. 18.20) между заготовкой – анодом 1 и инструментом имеется межэлектродный зазор за счет абразивных зерен 3, выступающих из связки. В этот зазор подается электролит 4. До 90 % припуска 5 удаляется за счет анодного растворения, 10...20 % припуска удаляется механической обработкой. При использовании алмазного абразивного инструмента (электроалмазная обработка) анодным растворением удаляется до 75 % припуска. Способ применяется для отделочной обработки нежестких заготовок и заготовок из труднообрабатываемых материалов.

Производительность при электроалмазном шлифовании твердых сплавов в 1,5–2 раза выше, чем при алмазном шлифовании, а износ алмазного круга меньше в 1,5–2 раза (при работе кругами на бронзовой связке М1, на связках М5, МВ1 и МО13Э износ круга приблизительно такой же, как при алмазном шлифовании); чистота поверхности такая же, как при алмазном шлифовании. При электрохимическом шлифовании мощность, расходуемая на привод шлифовального круга, уменьшается в несколько раз. При этом резко понижается температура поверхностного слоя, благодаря чему полностью исключается появление трещин и прижогов. Этот метод широко применяется для затачивания твердосплавного инструмента.

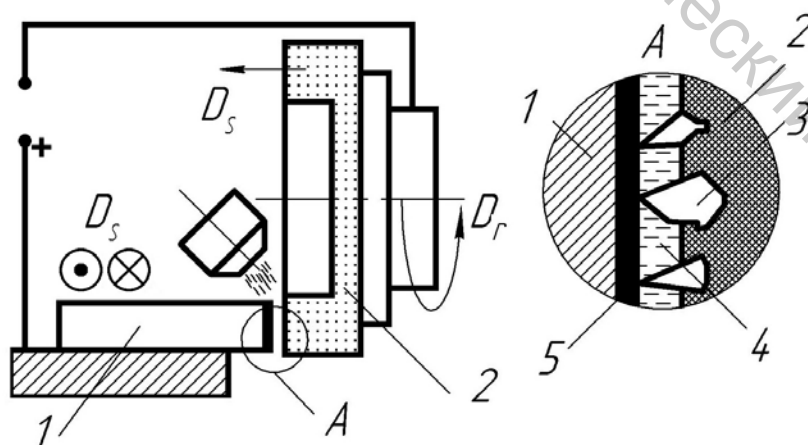


Рисунок 18.20 – Схема электроабразивной обработки (шлифование):

1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – абразивные зерна; 4 – электролит;

5 – припуск; D_r – главное движение; D_s – движение подачи

При *электрохонинговании* (рис. 18.21) заготовку 2 устанавливают на токосъемное кольцо 6 и изолятор 1 и помещают в ванну 5 с электролитом 3. Ванну устанавливают на стол 7 хонинговального станка.

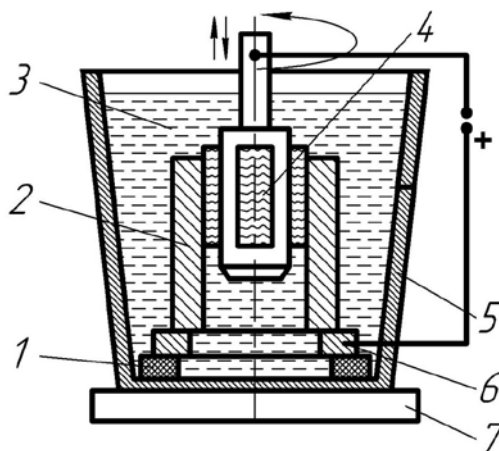


Рисунок 18.21 – Схема электроабразивного хонингования:
1 – изолятор; 2 – заготовка; 3 – электролит; 4 – хонинговальная головка;
5 – ванна; 6 – токосъемное кольцо; 7 – стол

Кинематика процесса аналогична кинематике обычного хонингования. Однако хонинговальная головка 4 оснащена не абразивными брусками, а брусками из липы, ольхи или пластмассы. Предварительное хонингование ведут в растворе электролита NaN_3 с добавлением абразивного порошка зернистостью не более M28 (P600...P800 по FEPA). Окончательное хонингование ведут в том же электролите, но добавкой окиси хрома. Способ обеспечивает более низкую шероховатость поверхности – $Ra = 0,04...0,16$ мкм (зеркальный блеск) и повышение производительности обработки в 4–5 раз.

18.6 Магнито-абразивная обработка

В основе процесса *магнитно-абразивной обработки* (МАО) лежит механический и механохимический съем металла и его окислов с поверхности обрабатываемой заготовки детали, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования зернами магнитно-абразивного порошка, которые под воздействием постоянного магнитного поля увеличивают свою плотность и прижимаются к обрабатываемой поверхности, совершающей относительное движение.

Подача СОЖ в зону обработки, которая в данном процессе выступает как носитель поверхностно-активных веществ, а не как средство охлаждения детали, обеспечивает возникновение процесса электролиза,

в результате которого растворяются поверхностный слой материала детали и ферромагнитная основа зерен порошка. Анодное растворение поверхности металла обрабатываемой заготовки детали влияет на сьем металла, а растворение ферромагнитной основы зерен порошка обеспечивает вскрытие абразивных частиц и способствует увеличению их режущей способности.

Процесс обработки способом МАО носит характер избирательного и ориентированного абразивного микрорезания и микровыглаживания. Сущность избирательного абразивного микрорезания состоит в том, что при сравнительно больших величинах микровыступов зерна порошка контактируют преимущественно с вершинами гребешка, которые являются концентраторами магнитных силовых линий. Каждый рабочий элемент (зерно) в магнитном поле устанавливается своей наибольшей осью по направлению магнитных силовых линий, т.е. к обрабатываемой поверхности.

При износе и затуплении вершин в процессе обработки происходит переориентация элемента таким образом, что вновь образовавшаяся наибольшая ось направляется вдоль магнитных силовых линий. В результате этого обработка поверхности заготовки проводится острыми кромками, т.е. имеет место процесс ориентированного абразивного резания.

Поскольку при МАО связкой абразивного инструмента является энергия магнитного поля электромагнита, способная удерживать зерна порошка (инструмента) в подвижно-связанном состоянии, а также координировать их относительно обрабатываемой поверхности, то появляется возможность существенным образом поменять условия полирования.

Виды магнито-абразивного полирования в зависимости от роли, которое выполняет магнитное поле, можно объединить в следующие группы:

- 1) магнитное поле формирует из порошковой ферромагнитной абразивной массы своеобразный режущий инструмент и создает необходимые силы резания, а движение резания сообщается обрабатываемой заготовке обычным приводом;

- 2) магнитное поле в дополнение к двум функциям, присущим видам полирования первой группы, передает режущему инструменту движение резания от перемещающихся полюсов магнитов;

- 3) магнитное поле создает силы резания и сообщает непосредственно ферромагнитной массе движение, необходимое для резания.

Одна из схем магнито-абразивного полирования первой группы показана на рисунке 18.22 а. При этом один из полюсов электромагнита 2 вводится в отверстие заготовки 3 с рабочим зазором, заполняемым ферромагнитным абразивным порошком 1. Магнитный поток пронизывает в радиальном направлении стенку заготовки и рабочий зазор, удерживая в нем абразивный порошок и создавая необходимые силы

резания. Главным движением резания является вращение заготовки. Дополнительное движение подачи вдоль оси заготовки сообщается либо электромагниту, либо заготовке. Схема магнито-абразивного полирования наружных поверхностей большого диаметра показана на рисунке 18.22 б.

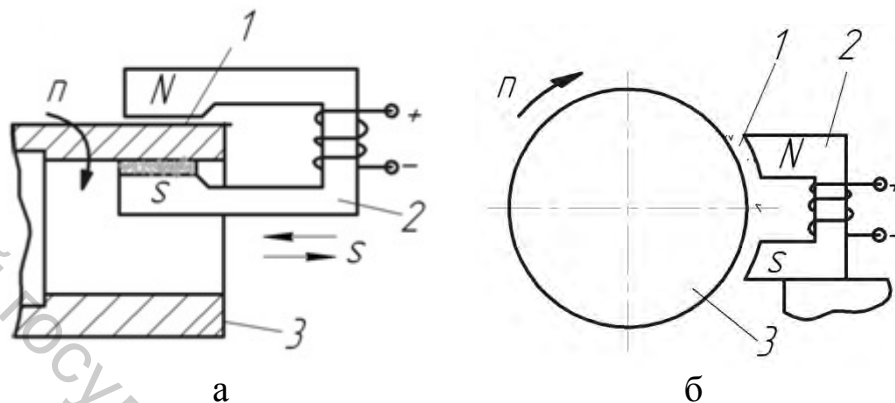


Рисунок 18.22 – Схемы магнито-абразивного полирования первой группы

Схемы магнито-абразивного полирования, относящиеся ко второй группе, показаны на рисунке 18.23. Схемы а и б предназначены для полирования плоскостей. В первом случае заготовка изготовлена из немагнитного материала, а электромагниты 1, расположенные равномерно по периферии цилиндрического инструмента, удерживают ферромагнитный абразивный порошок. Они образуют своеобразный абразивный инструмент с регулируемой жесткостью крепления режущих элементов. Во втором случае магнитный поток замыкается через обрабатываемую заготовку 2 и рабочие зазоры, заполненные ферромагнитным абразивным порошком 3. Полирование отверстия в корпусной детали 1 из магнитопроводного материала можно осуществить путем принудительного вращения электромагнита 2 и его осевой подачи (рис. 18.23 в).

Схемы магнито-абразивного полирования третьей группы изображены на рисунке 18.24. Заготовка 1, закрепленная на шпинделе, опущена в ванну, которая заполнена магнито-абразивной суспензией 3. Переменное по величине и направлению магнитное поле сообщает абразивной массе рабочее движение резания. Для равномерной обработки заготовка 1 медленно поворачивается (рис. 18.24 а).

Для полирования немагнитной листовой заготовки 2 ее протягивают над ванной, заполненной ферромагнитным абразивным порошком 3. Периодическое включение электромагнита 1 с заданной частотой заставляет порошок подниматься со дна ванны и вступать в контакт с полируемой поверхностью (рис. 18.24 б).

Для магнито-абразивной обработки разработаны специальные ферромагнитные абразивные материалы: ферриты и керметы. Ферри-

ты – неметаллические магнитные материалы, представляющие собой твердые растворы окиси железа FeO с окислами двухвалентных металлов (Ni , Mn , Zn , Mg , Cu и т.д.). После термической обработки (обжиг) ферриты обладают высокой твердостью. Керамические материалы – керметы представляют собой композиции и металлов и окислов, получаемые методами порошковой металлургии (смешивание, прессование, спекание, механическое дробление в порошок). Различают керметы, изготовленные на базе твердых тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов), и окисные (на базе электрокорунда). Для металлической связки керметов используются Ni , Co , Fe , Cr .

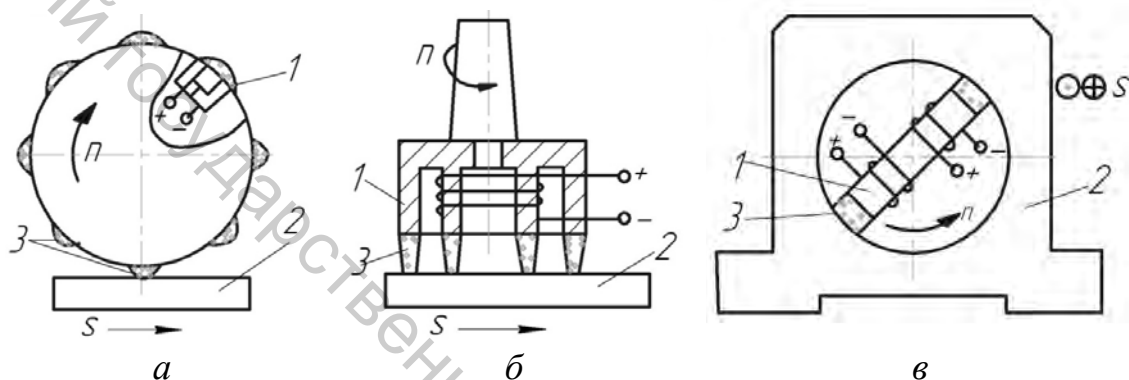


Рисунок 18.23 – Схемы магнито-абразивного полирования второй группы

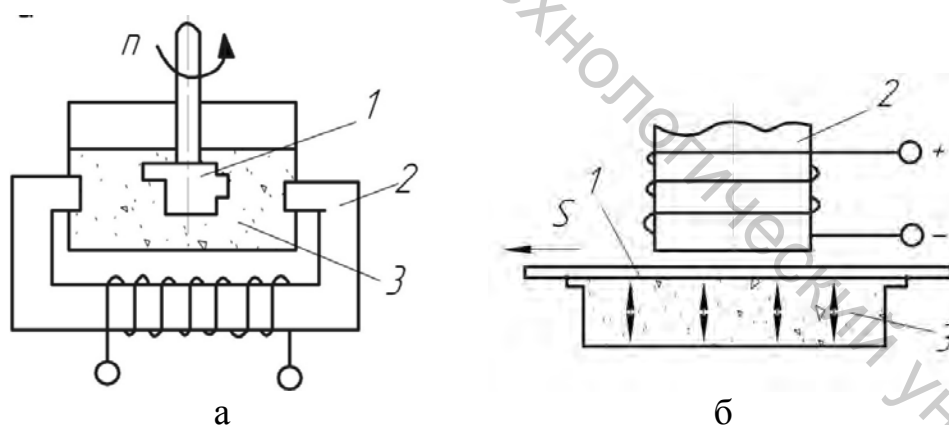


Рисунок 18.24 – Схемы магнито-абразивного полирования третьей группы

Эксперименты показали, что эффективное снижение шероховатости обрабатываемой поверхности происходит в течение первых 20...30 с обработки, а в дальнейшем интенсивность снижения Ra резко уменьшается. Исходная шероховатость $Ra = 0,63...1,25$ мкм снижается до 0,04...0,08 мкм. При увеличении магнитной индукции и скорости вращения заготовки, уменьшении рабочего зазора происходит интенсивное

снижение исходной волнистости и гранности. Волнистость может быть уменьшена в 8...10 раз (с 2...3 до 0,2 ... 0,4 мкм), а гранность – в 1,5...2 раза (с 2...3 до 0,8...2 мкм).

Магнито-абразивное полирование обеспечивает высокую интенсивность съема припуска (до 1 мкм/с) при низкой температуре в зоне обработки. Поэтому в поверхностном слое детали снижается количество остаточного аустенита и преобладают сжимающие напряжения, отсутствуют прижоги и микротрещины.

Станки для МАО комплектуются из следующих основных систем: магнитной, состоящей из электрических магнитов на постоянном или выпрямленном токе и предназначенной для удержания в рабочей зоне зерен магнито-абразивного порошка, прижатия их к обрабатываемой поверхности и сообщения им необходимых сил резания и выглаживания; механической, обеспечивающей крепление обрабатываемых заготовок деталей в зоне обработки и сообщение последним рабочих движений, а также несущей на себе все необходимые узлы и механизмы; электрической, предназначенной для питания магнитной системы, привода и управления механизмами станка; системы подачи СОЖ и магнито-абразивного порошка в зону обработки.

18.7 Плазменно-механическая обработка

Плазменно-механическая обработка (ПМО) представляет собой комбинированный метод обработки металлов, при выполнении которой резание осуществляется одновременно с плазменным подогревом [438–440].

ПМО подвергают высокопрочные, маломагнитные и коррозионностойкие стали, а также титановые и некоторые жаропрочные сплавы.

Плазмотрон и обрабатываемую заготовку включают в цепь источника электрического тока. При замыкании цепи возникает электрическая дуга, ионизирующая газ, подаваемый в плазмотрон.

Дуга, выходящая из сопла плазмотрона, направляется на поверхность обрабатываемой заготовки перед инструментом. Вода, подаваемая в плазмотрон, служит для охлаждения его рабочей части.

Плазменная дуга, соприкасаясь с поверхностью обрабатываемого материала, оказывает на него комплексное влияние, включающее в себя нагрев, насыщение поверхности газами и воздействие ионизированных частиц, обладающих высокой кинетической энергией.

В зависимости от теплофизических свойств обрабатываемого металла, мощности теплового источника, диаметра пятна контакта и скорости перемещения плазменной дуги относительно заготовки нагрев

последней может происходить как с расплавлением поверхности, так и без него.

Процессы ПМО классифицируют по следующим основным признакам:

- вид обработки (точение, строгание, фрезерование);
- состояние удаляемого материала (с оплавлением металла и его сдуванием плазменной струей; с оплавлением, частичным сдуванием металла плазменной струей и удалением нагретого металла лезвийным инструментом; с нагревом срезаемого слоя и ограничением зоны нагрева с помощью водоохлаждаемых экранов; с нагревом до температуры, меньшей по сравнению с температурой плавления, и удалением подогретого металла);
- вид плазмообразующего газа (воздушно-, аргоно-плазменная и др.);
- расположение плазменной дуги относительно обрабатываемой заготовки и режущего инструмента (с накоплением теплоты, вводимой плазменной дугой; без накопления тепла; с дополнительным движением плазменной дуги в направлении, перпендикулярном ее основному движению).

Для ПМО заготовок используют как обычные, так и специальные металлорежущие станки. Первые требуют некоторой модернизации. Мощности привода главного движения существующих станков в большинстве случаев оказывается достаточно для того, чтобы обеспечить переход от обычного резания к обработке с плазменным нагревом заготовок. Более того, в некоторых случаях снижение сил резания при плазменном нагреве обрабатываемого материала по сравнению с силами резания при обычной технологии позволяет применять станки с меньшей мощностью привода.

Поскольку при ПМО заготовка и плазмострон включены в электрическую цепь источника питания, одним из важных вопросов, связанных с модернизацией станка, является усовершенствование системы подвода напряжения к обрабатываемой заготовке и защиты от воздействия электрического тока механизмов станка.

При наличии в электрической цепи перемещающейся заготовки станок должен быть снабжен токосъемным устройством. В состав такого устройства входят графитовые или металлографитовые щетки, скользящие по хорошо обработанной поверхности одной из деталей станка, имеющей плотный контакт с заготовкой. Для строгальных и долбежных станков такой деталью может быть стол станка. Токосъемник аналогичен щеточным устройствам электрических машин, поэтому к нему предъявляют аналогичные требования: минимальное электрическое сопротивление и высокая надежность в работе.

Наиболее опасными для механизмов станка являются токи, возникающие не в процессе резания, а при наладке станка или обработке пре-

рывистых поверхностей, когда дуга между плазматроном и заготовкой горит, а инструмент не соприкасается с обрабатываемой заготовкой. В наибольшей мере подвержены воздействию токов, текущих во вспомогательном контуре, подшипники.

18.8 Вопросы для самоконтроля

1. Изобразите известные Вам схемы электрической обработки.
2. Из каких технологических этапов состоят электроэрозионные методы обработки?
3. Изобразите принципиальную схему электроэрозионной обработки.
4. От чего зависит точность изготовления деталей при электроэрозионной обработке?
5. Опишите технологические возможности копировально-прошивочных станков компаний Makino, Mitsubishi и Sodick.
6. Каковы особенности обработки на проволочно-вырезных электроэрозионных станках?
7. Каковы преимущества проволочно-вырезных станков фирмы Sodick?
8. Перечислите достоинства и недостатки электроэрозионной обработки.
9. Какие виды работ можно проводить с помощью электрохимической обработки?
10. Изобразите условную схему электрохимической обработки.
11. Какие вещества входят в состав электролитов для электрохимической обработки?
12. Какую точность позволяет получить электрохимическая обработка?
13. Перечислите достоинства и недостатки электрохимической обработки.
14. Изобразите принципиальную схему плазматрона для резки металла.
15. Какие Вам известны виды плазматронов?
16. На какие виды в зависимости от длительности импульса и способа его формирования подразделяется электроэрозионный метод обработки?
17. Какая физическая природа положена в основу электронно-лучевой обработки?
18. Перечислите достоинства и недостатки электронно-лучевой обработки?

19. Какая физическая природа положена в основу светолучевой обработки?

20. Какие Вам известны тенденции развития отрасли лазерных технологий?

21. Перечислите лидеров в области производства лазерных установок.

22. Назовите области применения лазерных установок в металлообработке.

23. Какие Вам известны виды лазеров, применяемых для металлообработки?

24. Какой принцип положен в основу ультразвуковой обработки?

25. Изобразите схему ультразвуковой размерной обработки прошиванием.

26. Назовите лидеров в области разработки оборудования для ультразвуковой обработки.

27. Каковы достоинства и недостатки ультразвуковой обработки?

28. На какие группы делится анодно-механическая обработка?

29. Изобразите схему анодно-механического разрезания металла.

30. Изложите суть и область применения электрохимического шлифования.

31. Изобразите схему электроабразивного хонингования.

32. Какие процессы положены в основу магнитно-абразивной обработки?

33. На какие группы делятся виды магнитно-абразивного полирования в зависимости от роли, которое выполняет магнитное поле?

34. Изобразите схемы, иллюстрирующие различные группы магнитно-абразивного полирования.

35. В чем суть и область применения плазменно-механической обработки?

19 ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

19.1 Информационные аспекты

Источниками информации о тенденциях развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин являются выставки по металлообработке. Крупнейшими регулярными выставками в области обработки металлов являются:

Европа (Металлообработка (Беларусь, г. Минск); HANNOVER MESSE (Германия, г. Ганновер); ЕМО HANNOVER (Германия, г. Ганновер, Италия, г. Милан, Франция, г. Париж); GIFA, METEC, THERM-PROCESS, NEWCAST (Германия, г. Дюссельдорф); MSV (Чехия, г. Брно); AMB Stuttgart (Германия, г. Штутгарт); METAV (Германия, г. Дюссельдорф); Madein Steel (Италия, г. Милан); WIN EURASIA (Турция, г. Стамбул); СТАНКОСТРОЕНИЕ (Россия, г. Москва); Металл-Экспо (Россия, г. Москва); Технофорум (Россия, г. Москва); MITECH (Россия, г. Москва); РОСМОЛД (Россия, г. Москва); ПРОМ-VOLGA (Россия, г. Волгоград); Металлообработка (Россия, г. Москва); HI-TECH (Россия, г. Санкт-Петербург));

Северная Америка (CMTS (Канада, г. Торонто); FABTECH International (США); IMTS (США, г. Чикаго));

Южная Америка (EXPO MANUFACTURA (Мексика, г. Монтеррей));

Африка (Metal&Steel (Египет, Каир));

Азия (JIMTOF (Япония, г. Токио); TIMTOS (Тайвань, г. Тайпей); VietnamExpo (Вьетнам, г. Ханой); IMTEX FORMING&Tooltech (Индия, г. Бангалор); MTA-MetalAsia; METALEX (Таиланд, г. Бангкок); KoreaMetalWeek (Корея, г. Сеул); BUTECH (Корея, г. Пусан); CIIF (Китай, г. Шанхай); MWCS (Китай, г. Шанхай); METAL + METALLURGY CHINA (Китай, г. Шанхай); CIMT (Китай, г. Пекин); JIMEX (Иордания, г. Амман); Дамасская международная ярмарка (Сирия, г. Дамаск); STEELFAB (ОАЭ, г. Шарджа); GulfIndustryFair (Бахрейн, г. Манама)) [441–459].

В Республике Беларусь крупнейшей выставкой в области металлообработки является *Международная выставка «Металлообработка»*, проводимая ЗАО «Минскэкспо» с 1993 года в г. Минск. Традиционно на выставке проводится по адресу: пр-т Победителей, 20/2, Футбольный манеж (рис. 19.1). На ней демонстрируются последние достижения в области станкостроения и производства металлорежущего и абразивно-

го инструмента: автоматические линии и металлообрабатывающие станки с ЧПУ на базе промышленных ПК; модульные и моноблочные устройства ЧПУ; программное обеспечение для станков с ЧПУ, 3D-проектирования деталей и пресс-форм, обмера и прототипирования деталей; электроэрозионные, ленточноотрезные, зубообрабатывающие, токарные, сверлильные, фрезерные, долбежные, шлифовальные, протяжные и другие станки; компоненты станков, гидро- и пневмоаппаратура, сервоприводы; абразивный и режущий инструмент, в том числе алмазный и на основе кубического нитрида бора, инструментальная оснастка и многое другое.

Тематика выставки: металлорежущее оборудование; кузнечно-прессовое оборудование; литейное оборудование; оборудование для термообработки и нанесения покрытий; металлорежущий и абразивный инструмент; комплектующие узлы и изделия, технологическая оснастка, эксплуатационные материалы; электропривод, гидравлическое и пневматическое оборудование и их компоненты; контрольно-измерительное оборудование, приборы и инструмент; средства и элементы автоматизации металлообрабатывающего оборудования, в том числе инструментальные магазины, накопители, транспортно-загрузочные устройства, промышленные роботы; автоматизированные системы проектирования и управления производством, программное обеспечение; ремонт и модернизация технологического оборудования, запасные части и услуги; научно-технические проекты, конструкторские и технологические разработки; научно-техническая литература и информация; инвестиционные проекты; сбор и комплексная переработка лома чёрных и цветных металлов [446].

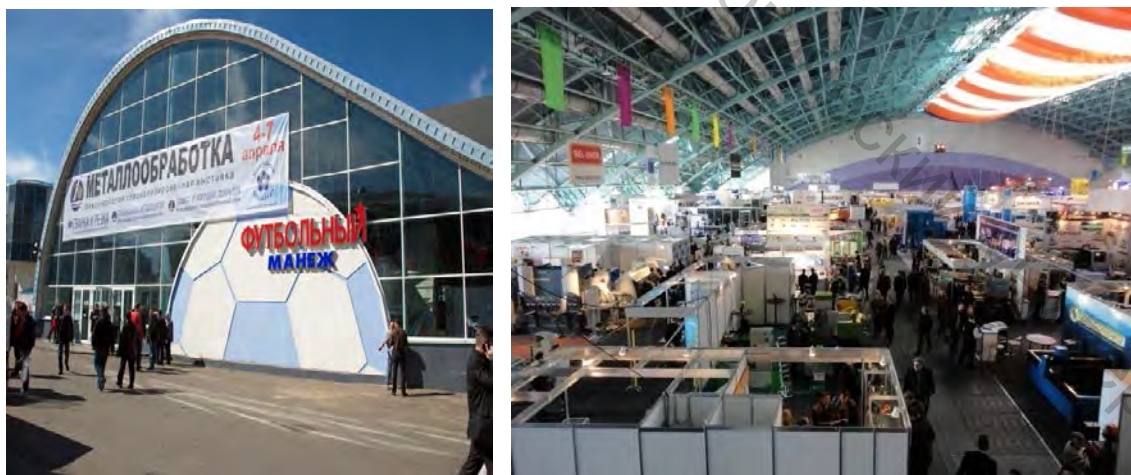


Рисунок 19.1 – Павильоны выставки «Металлообработка»

Ганноверская ярмарка – **HANNOVER MESSE** (Германия, г. Ганновер) – одна из крупнейших в мире выставок высоких технологий, инноваций и промышленной автоматизации (рис. 19.2). Из года в год здесь

предоставляются уникальные возможности для установления международных контактов, налаживания сотрудничества, привлечения инвестиций и расширения рынков сбыта.

Каждую весну Ганновер превращается в место встреч производителей и поставщиков промышленной продукции. Это форум изобретений и инноваций, центр обмена опытом и источник для новых партнерских отношений. Первая Ганноверская ярмарка открылась в 1947 г. Сейчас ее площадь уже более 450000 кв. метров (брутто).

Никогда до этого так много политических лиц, принимающих решения и корпоративных руководителей из промышленного сектора, не были представлены на HANNOVER MESSE.

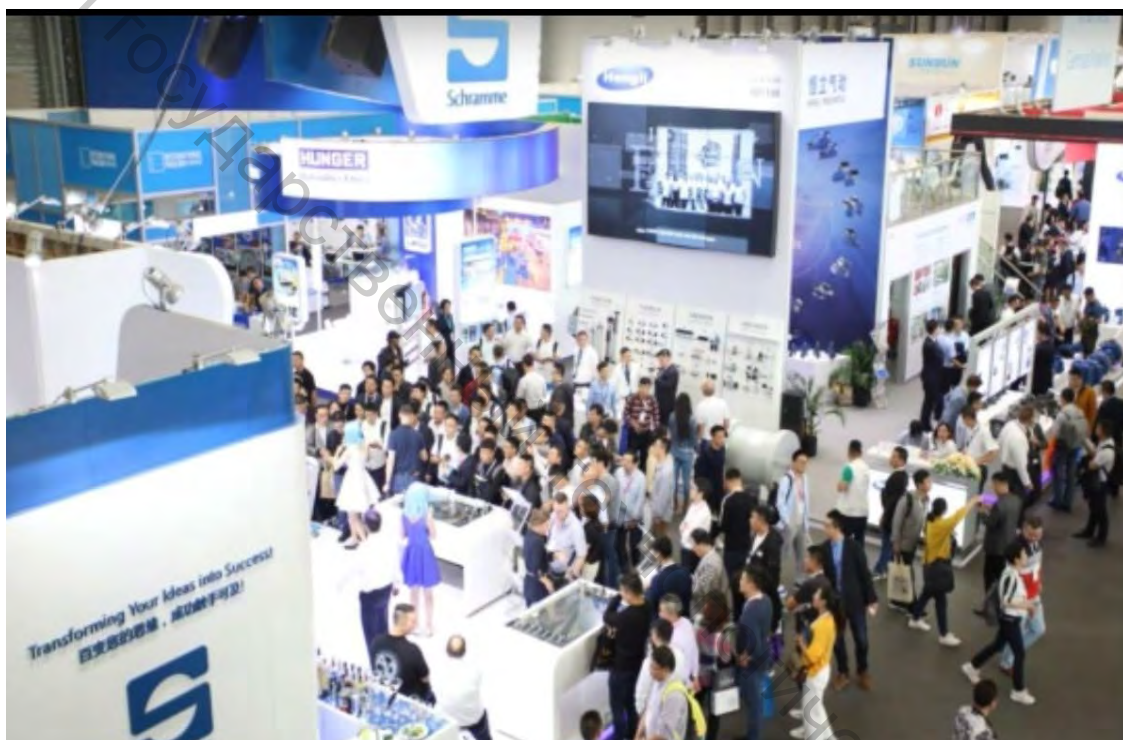


Рисунок 19.2 – Павильоны выставки HANNOVER MESSE

Благодаря своей уникальной концепции HANNOVER MESSE из года в год предоставляет предпринимателям различных отраслей промышленности уникальные возможности для установления международных контактов, налаживания сотрудничества, привлечения инвестиций и расширения рынков сбыта.

HANNOVER MESSE выставляет порядка 6500 экспонентов из 70–75 стран и 215000 посетителей. Ни одна другая промышленная выставка не достигала таких результатов. Площадь ярмарки – порядка 220000 кв. м. Сопутствующая программа включает более 1400 мероприятий, в том числе свыше 80 форумов и конференций.

Выставка организована по тематическим экспозициям. Так категория «Автоматизация, движение и приводы» охватывает автоматиза-

цию, передачу мощности, гидравлические приводы и робототехнику, а также электротехнические технологии автоматизации, линейные технологии, промышленные датчики и обработка изображений, технологии сборки и обработки, робототехника, измерительные и испытательные технологии и др.

Выставка «ЕМО – Мир станков» (Германия, г. Ганновер, Италия, г. Милан, Франция, г. Париж) – неизменно привлекает широкую мировую аудиторию, как в ряды экспонентов, так и профессиональных посетителей выставки (рис. 19.3).

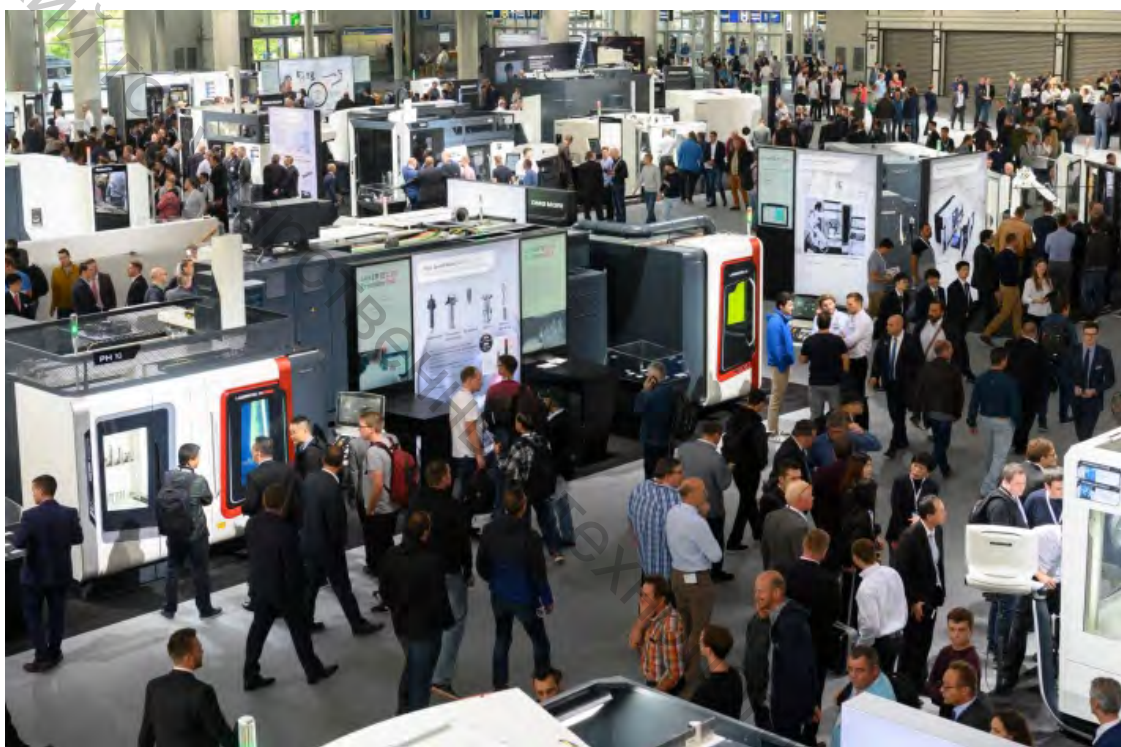


Рисунок 19.3 – Павильоны выставки ЕМО

Выставка была основана в 1975 году Европейским союзом станкостроителей СЕСИМО (Европейский Комитет по содействию и продвижению станкостроения), и с тех пор проводилась по нечетным годам поочередно в Ганновере, Милане и Париже. В 2003 году график проведения выставок изменился следующим образом: Ганновер (2005 г.), Ганновер (2007 г.), Милан (2009 г.), Ганновер (2011 г.), Ганновер (2013 г.), Милан (2015 г.), Ганновер (2017 и 2019).

Генеральный комиссариат «ЭМО Ганновер» – VDW (Союз немецких станкостроительных предприятий).

Высококвалифицированные специалисты из разных стран видят здесь весь спектр металлообрабатывающего оборудования, и в первую очередь станки, производственные системы, прецизионные инструменты, средства автоматизации потоков материалов, компьютерную техно-

логию, электронное оборудование и комплектующие промышленного назначения. В профессиональной среде выставка ЕМО пользуется общепризнанной известностью как место встреч самых компетентных производителей и потребителей.

Производство станков и инструментов – это авангард индустрии на пути реорганизации технологического процесса и изменений в работе фабрик и заводов, в результате которых сотрудники предприятий (как менеджеры, так и рабочие) снова выступают на первый план и пользуются возможностью проявить творческие способности, независимость и ответственность.

Более 2200 производителей в сфере металлообработки и станкостроения из разных стран представили свои инновационные решения на ЕМО Hannover. Принимает участие около 130000 специалистов, 50 % из которых прибыли из-за рубежа.

Профили выставки ЕМО: металлорежущие станки и кузнечно-прессовое оборудование; оборудование для обработки листового металла и проволоки, формовочное оборудование; оборудование для термической, электрохимической и любой другой обработки металла; оборудование для обработки поверхностей и техника тонких пленок; программные продукты для любого технологического оборудования; системы управления; компоненты для гибкой автоматизации; сапр/асутп; системы управления качеством; роботы и автоматизация; техника управления движением материалов и складская техника; промышленная электроника, датчики и средства диагностики; прецизионный, алмазный и измерительный инструмент; штамповочный инструмент; оборудование и системы для производства инструмента, форм, прототипов, моделей; контрольно-измерительная техника; смазочно-охлаждающие материалы; оборудование для сварки, резки, закалки, нагрева металла; механические, гидравлические, электрические и электронные комплектующие изделия для технологического оборудования.

Международная выставка машиностроения MSV проводится в г. Брно (Чехия) ежегодно. Ведет свою историю с 1958 г. Признана одной из ведущих европейских машиностроительных выставок и важнейшим событием для всего промышленного комплекса стран Восточной и Центральной Европы и проводится при поддержке Союза промышленности и транспорта ЧР, чешского Союза производителей и поставщиков машиностроительной техники, Чешско-Моравской электротехнической Ассоциации, а также правительства Чешской Республики.

Ежегодно в MSV принимает участие свыше 1600 экспонентов и более 80000 посетителей, из которых 47 % зарубежных. Среди посетителей выставки высокий процент специалистов отрасли: 70 % принимают решение об инвестициях, третья часть посетителей – высший менеджмент.

MSV представит все ключевые направления машиностроительной и электротехнической отраслей. Специальной тематикой предстоящих выставок станет INDUSTRY 4.0 – автоматизация и интеграция промышленных секторов, как новый этап развития промышленного производства. В очередной раз будет сделан акцент на теме «Трансфер технологий и инноваций», что позволит широко презентовать научно-исследовательские разработки для промышленного использования, тесную связь высших учебных заведений с производством.

Обширная сопроводительная программа является неотъемлемой частью MSV. Программа организуется на самом высоком международном уровне и приглашает участников на многочисленные форумы, конференции, семинары. В рамках MSV традиционно проходит салон деловых возможностей, бизнес-дни стран СНГ и др.

*Международная выставка оборудования и технологий для металлообрабатывающей промышленности **AMBStuttgart*** (Германия, г. Штутгарт) является ведущей выставкой металлообработки в Южной Германии (рис. 19.4).

С самой первой выставки размеры и популярность выставки AMB постоянно растут. Штутгартская AMB выставка проходит в выставочном центре Messe Stuttgart. Основными разделами выставки являются станки и оборудование для обработки резанием, и соответствующие инструменты.

AMB привлекает внимание в общей сложности порядка 90000 посетителей. 1500 экспонентов из 35 стран.

Профили выставки: производители и дистрибьюторы продукции; режущие (сверлильные, расточные, токарные, фрезерные и др.) станки; станки для термической, электрохимической обработки; электроискровая, электроэрозионная обработка; прецизионная техника; измерительная техника и оборудование для контроля за качеством; роботы, техника дистанционного управления станками и оборудованием; программное обеспечение, вычислительные устройства и периферия.

Посетители выставки представляют такие отрасли, как автомобилестроение, электроэнергетическая промышленность; точная механика и оптика; производство инструмента и форм; авиация и космонавтика; производство стали, облегченных конструкций, вагоностроение; кораблестроение; металлургия и другие.

*Международная выставка производственных технологий металлообработки и промышленной автоматизации **METAV*** (Германия, г. Дюссельдорф) – событие европейского масштаба в области металлообработки (рис. 19.5). Проводится с 1980 года 1 раз в 2 года. Организаторы выставки METAV – «Союз немецких станкостроителей» и фирма «Мессе Дюссельдорф ГмбХ».

В выставке принимает участие порядка 600 экспонентов из 24 стран и 30000 посетителей. Доля посетителей из-за пределов Германии на уровне 11 %. Они приезжают из порядка 50 различных стран.

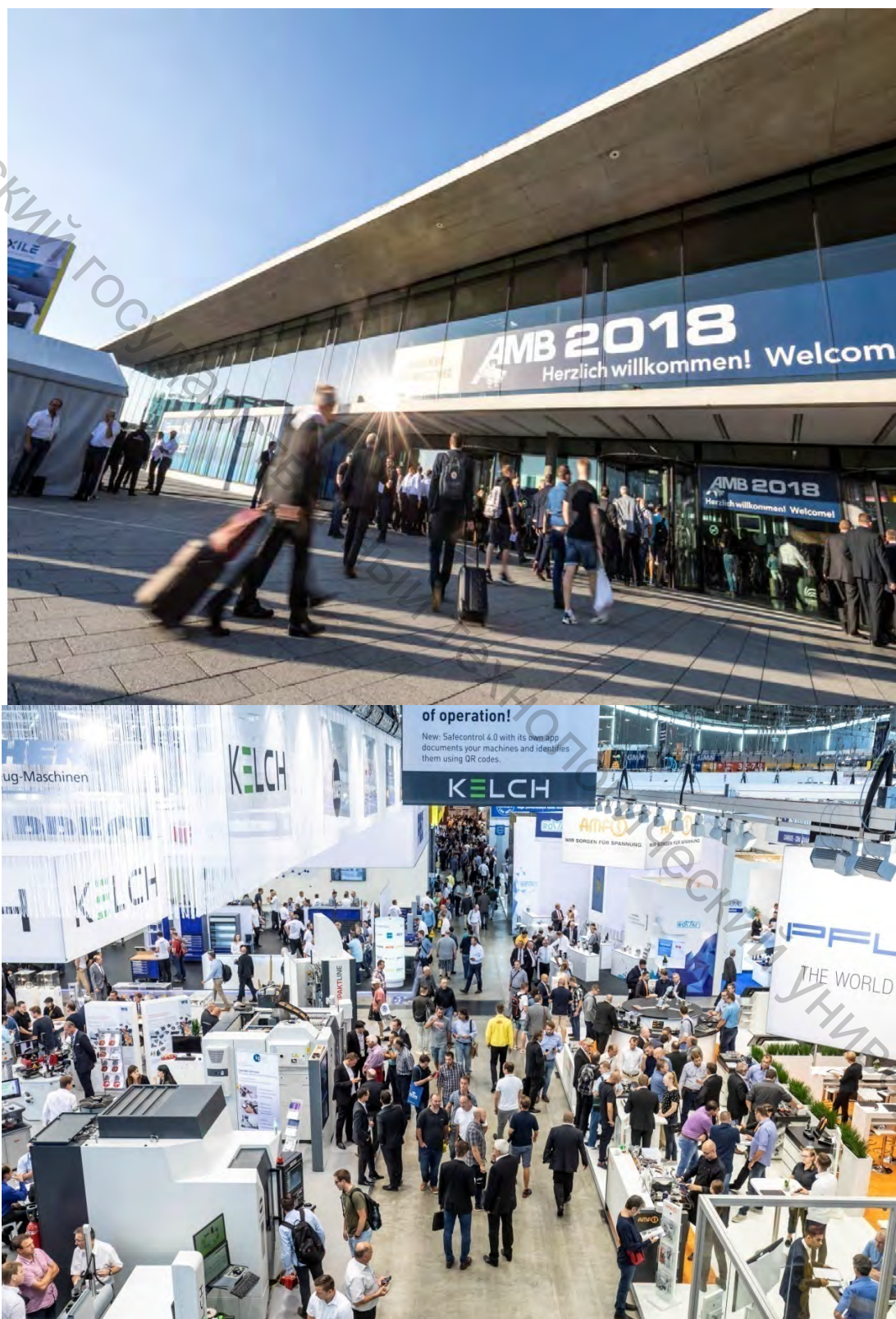


Рисунок 19.4 – Павильоны выставки AMB Stuttgart

На выставке представляется вся широкополосная производственная техника для металлообрабатывающей промышленности: от оборудования по производству инструментов, приборов для точной обработки, компонентов по автоматизации до всевозможных комплексных систем.

Выставка рассчитана на специалистов машиностроения, аппаратостроения, станкостроения, точной механики и оптики, холоднопрокатных станов, деформации стали, обработки новых материалов, транспорта, электротехники и электроники.



Рисунок 19.5 – На выставке METAV

«**Технофорум**» (Россия, г. Москва) – единственная выставка в России, представляющая на одной площадке весь спектр оборудования, приборов и инструменты для обработки материалов природного и искусственного происхождения – металла, дерева, камня, стекла и пластика и пр. (рис. 19.6). Главная тема форума – инновационные разработки станкостроителей в области технологии обработки материалов.

Выставку проводит «Экспоцентр» в партнерстве с Российской ассоциацией производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент».

На выставке «Технофорум» крупнейшие российские и зарубежные производители и дистрибьюторы, центры науки и высоких технологий представляют новейшие разработки в области станкостроения. Вниманию посетителей представляется оборудование и технологии об-

работки конструкционных материалов: металла, дерева, камня, стекла, органических, полимерных и композитных материалов.



Рисунок 19.6 – Павильоны выставки «Технофорум»

Технофорум занимает площадь около 2500 кв. м. Выставляется порядка 150 экспонента из 15–20 стран, регистрируется около 8000 посетителей из 20–25 стран.

Тематика выставки:

- комплексные системы наукоемкого высокопроизводительного технологического оборудования для технического перевооружения производственных предприятий основных перерабатывающих отраслей промышленности;
- станочные системы и формообразующее оборудование для обработки металлов, камня, дерева, композиционных, полимерных и других материалов;
- высокоточное технологическое оборудование на базе нанотехнологий;
- комплексное оснащение станочных систем высокопроизводительным режущим и вспомогательным инструментом, технологической оснасткой;
- салон «Подшипник»;
- контрольно-измерительное оборудование, метрология;
- системы диагностики, испытательные стенды;

– энергосберегающие технологические системы и оборудование для обработки материалов;

– системы управления; системы ЧПУ (числовое программное управление), механические системы, гидравлические и пневматические системы. **Выставка CMTS (Canadian Manufacturing and Technology Show)** (Канада, г. Торонто) проходит 1 раз в 2 года, в провинции Онтарио – главном промышленном регионе Канады и традиционно привлекает производителей и потребителей из разных стран мира (рис. 19.7). Место проведения – выставочный центр The International Centre. Выставку CMTS поддерживают Канадская Ассоциация дистрибуторов автоматизированных станочных систем (CMTDA), Канадская Ассоциация производителей инструментов и станков, а также Союз производителей и экспортеров Канады.



Рисунок 19.7 – На полях выставки CMTS

CMTS занимает свыше 17000 кв. м, участвует более 600 компаний и 10000 посетителей-специалистов, представляющих в общей сложности 6000 компаний из Германии, Чехии, Франции, Японии, России, Испании, Великобритании, США, Тайваня, Франции, Китая, Италии и других стран.

В CMTS представлены новейшие технологии станков, инструментов, формовки и изготовления, а также новейшие инновации в области усовершенствованного производства, включая аддитивное производство/3D-печать, автоматизацию и робототехнику, а также конструкторскую инженерию.

CMTS предлагает уникальный и незабываемый опыт для самых разных специалистов отрасли. Более 10 000 профессионалов канадского производства и потенциальных покупателей посещают CMTS, чтобы узнать последние достижения в следующих областях: станки; инструментальные средства; формование и изготовление металлов; продвинутое производство, включая аддитивное изготовление/3D-печать; автоматизация и робототехника; проектирование

Посетители CMTS – это бизнесмены, принимающие ключевые решения, которые ищут последние технологии, оборудование, изделия, идеи и решения для своих производственных нужд. Это представители всех отраслей промышленности, в том числе: производство металлов, машиностроение, автомобильная промышленность, электротехническая и электронная промышленность, производство пластмасс и резины, первичных металлов, стали, транспортировка, специалисты в технологическом процессе.

Выставка IMTS (*International Manufacturing Technology Show*) (США, Чикаго) – крупнейшее событие в области производственных технологий во всем Западном полушарии (рис. 19.8). Выставка проводится один раз в год в выставочном центре McCormick Place на площади 132315 кв. м. Обычно размещается порядка 2000-стендов 2500 компаний-экспонентов. Организатор выставки – The Association For Manufacturing Technology.

IMTS интересна не только специалистам высшего звена, но и инженерам по оборудованию и по его установке, операторам, непосредственно работающим с этим оборудованием, которые, как никто, знают, как действует это оборудование.

Категория экспонируемой продукции: абразивная обработка/резка пилой/отделка; сборочно-монтажные установки; управление, автоматизированное проектирование и производство; электроэрозионные станки и оборудование; зуборезные станки, работающие методом обката; обработка и производство металлов; детали машин/очистка/окружающая среда; лазеры и лазерные системы; резка металлов; поддержка качества; вспомогательные инструменты и закрепление (деталей).

На выставке **FABTECH International** (США) представляется весь спектр оборудования и технологий обработки металлов, производства труб, а также сварочных технологий и оборудования.

Выставка **FABTECH International & AWS Welding Show** – крупнейшая в Северной Америке Международная выставка и конференция металлообрабатывающей промышленности представляет весь спектр оборудования и технологий обработки металлов, производства труб, а также сварочных технологий и оборудования.

Проходит выставка в различных городах США. Планируется, что в 2020 году выставка пройдет в г. Лас-Вегас (штат Невада), в 2021 г. – г. Чикаго (штат Иллинойс), в 2022 года – г. Атланта (штат Джорджия), в 2023 году – г. Чикаго (штат Иллинойс), в 2024 году – г. Лас-Вегас (штат Невада), в 2025 году в г. Чикаго (штат Иллинойс).



Рисунок 19.8 – На выставке IMTS

По статистике около 57 % посетителей не посещают больше никаких других выставок в течение года, кроме FABTECH, а 35 % посетителей контактируют с участвующими компаниями только на выставке.

FABTECH занимает более 60000 кв. м площади, экспонаты представляют 1500 компаний и в общей сложности порядка 35000 посетителей из 75 стран.

Спонсорами выставки выступают одновременно: FMA – ассоциация производителей; SME – общество инженеров-механиков; AWS – общество сварщиков; PMA – ассоциация прецизионной формовки; CCAI – ассоциация химических покрытий.

Выставка **EXPO MANUFACTURA** (Мексика, г. Монтеррей) проходит в самом важном промышленном центре Мексики и всегда привлекает тысячи квалифицированных покупателей высшего ранга, заинтересованных в закупке специализированной продукции для различных отраслей машиностроения и металлообработки (рис. 19.9).



Рисунок 19.9 – Павильоны выставки EXPO MANUFACTURA

Цель выставки EXPO MANUFACTURA – демонстрация инноваций, достижений и технологий в обрабатывающей промышленности. Выставка пользуется успехом у публики, её посещают более 10000 посетителей. Продукцию и услуги представляют порядка 600 брендов на площади 70000 кв. футов. Доля иностранных участников – около 90 компаний из 10–15 стран.

В рамках выставки проходят презентации, выступления, техническая конференция, бизнес-встречи и специализированные семинары.

На выставке представляются: станки и оборудование для обработки металлов резанием, шлифованием, отрезные, формовочные и др.; инструменты и средства автоматизации; технологии сборки; продукция точного машиностроения; контрольно-измерительное и метрологическое оборудование и инструмент; электронные средства контроля и измерения; электронное тестирование; технологии и оборудование производства электрических обмоток; CAD CAM/CAE; современные методы и оборудование для сварки; металлоизделия, металлопрокат.

Выставка **Metal & Steel** (Египет, г. Каир) призвана стать крупнейшей в странах Ближнего Востока выставкой металлообработки, металлургии и металлоторговли – платформой деловых встреч и контактов с поставщиками сырья, полуфабрикатов и готовой продукции из стали, оборудование и технологий для производства и обработки черных металлов (рис. 19.20). Metal & Steel проводится в Египте – центральной стране региона с 430-миллионным населением.



Рисунок 19.20 – Павильоны выставки Metal & Steel

Долгосрочные перспективы Ближневосточного рынка металлов более перспективны по сравнению с остальной частью земного шара. Сталелитейная промышленность региона будет развиваться быстрыми

темпами в течение следующих трех лет, что необходимо для удовлетворения потребностей быстро расширяющегося рынка строительства и производственного сектора, в частности, в Египте и Саудовской Аравии. В регионе существует большой дисбаланс между спросом и предложением, что означает, что бизнес-возможности для тех, кто занят в секторе черной металлургии, огромны.

Рост потребления продукции черной металлургии в Египте в ближайшие годы из-за строительного бума и расходов на инфраструктуру поднимет спрос.

Традиционно выставка привлекает порядка 300 экспонентов из 35–40 стран и в общей сложности порядка 7000 посетителей-специалистов, занимая порядка 12000 кв. м в 10 павильонах.

Профили выставки: оборудование, материалы, технологии для черной металлургии; оборудование и технологии для переработки лома черных металлов; оборудование, технологии и материалы для литейной отрасли и производства отливок; технологии и оборудование дляковки, прокатки, протяжки и др.; промышленные печи и термообработка; все виды оборудования и технологий для обработки металлов резанием, формовкой, сваркой и пр.; технологии и оборудование для производства и обработки цветных металлов.

Выставка JIMTOF (Japan International Machine Tool Fair) (Япония, г. Токио) проходит с периодичностью раз в два года, начиная с 1962 года. Местом проведения выступает Токийский выставочный центр Tokyo Big Sight (рис. 19.21).

На выставке JIMTOF представляется порядка 600 экспонентов из 20 стран мира, таких как США, Германия, Индия, Австрия, Швеция, Тайвань, Китай, Дания, Канада. Организаторы выставки принимают более чем 140000 посетителей со всего мира. Продукция, представленная на выставке JIMTOF, находит применение в машиностроении, строительстве, электротехнике, производстве и обслуживании систем вентиляции, на металлопрокатных заводах, производстве железа, стали, цветных металлов, космической промышленности и судостроении.

Основные тематические разделы выставки: станки (металлорежущие, кузнечнопрессовые); формовочные машины; обработка металла под давлением; высокоскоростные инструменты; шлифовальные круги; абразивные материалы; гидравлические и пневматические машины; оптические измерительные приборы; автоматизация производства; испытательное оборудование; масла гидравлические; программное обеспечение.

В дополнение к выставке JIMTOF проводятся различные лекции, семинары и презентации.

Выставки IMTEXFORMING&Tooltech (Индия) проходят в Международном выставочном центре Бангалора BIEC (рис. 19.22). Обе выставки проводятся Ассоциацией индийского станкопрома с 1969 года с

периодичностью 3 года в разных городах страны. Выставка очень популярна не только среди специалистов данной области Индии, но и других стран мира.

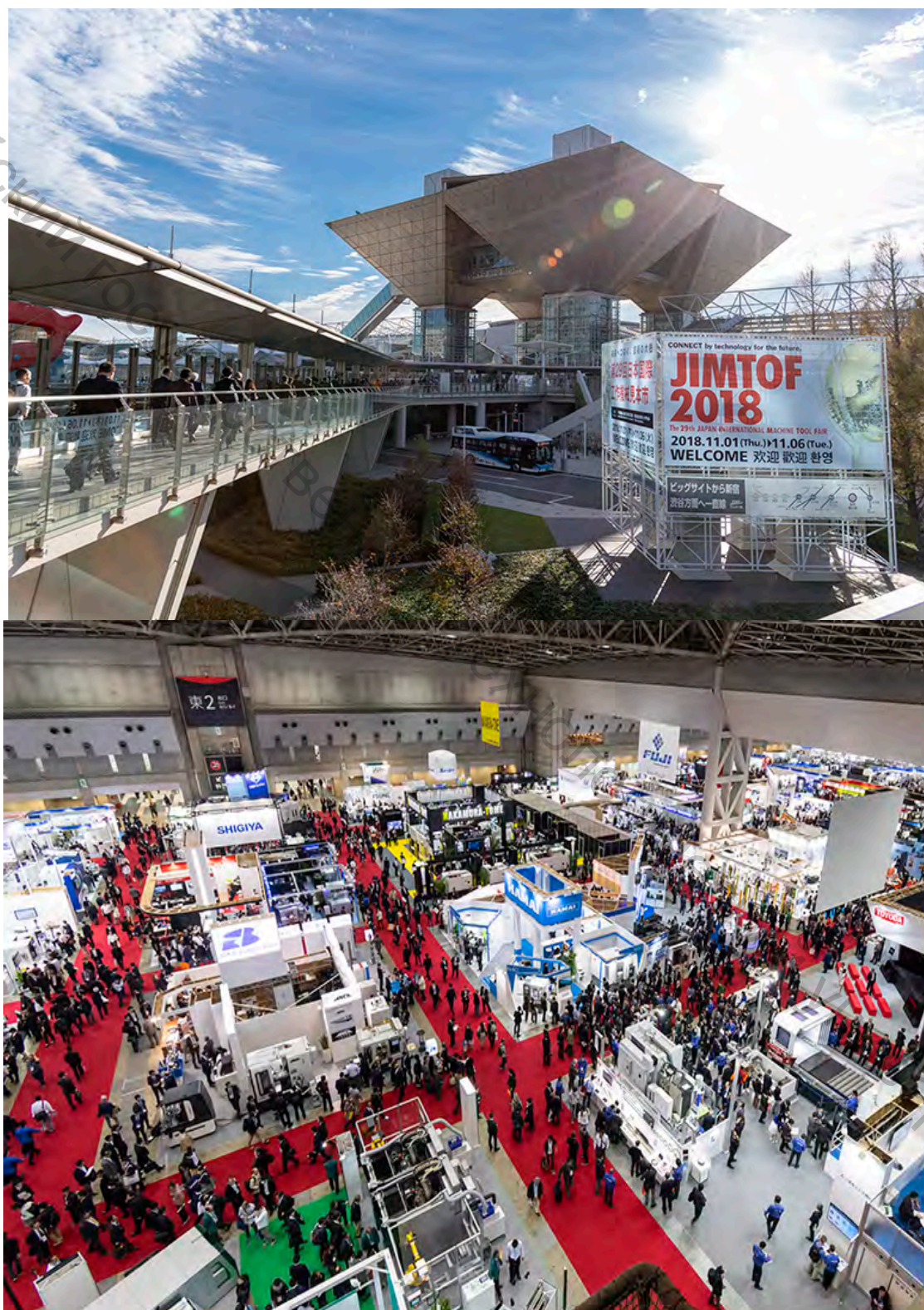


Рисунок 19.21 – На выставке JIMTOF



Рисунок 19.22 – На выставке IMTEXFORMING&Tooltech 2019

Последние тенденции в технологиях формирования и одновременно инструментального производства представлены на этой специализированной выставке.

Дуэт выставок для экспонентов является платформой демонстрации своих инноваций в технологиях формирования металлов, робототехники и автоматизации, технологиях сварки и соединений, изготовления проволоки и др.

Мероприятие сопровождается дополнительным сетевым форумом для экспонентов, посетителей, делегатов и научных кругов для обеспечения роста обрабатывающей промышленности Индии.

На выставках экспонируется около 1000 экспонентов, которые представляют на выставочной площади 66000 кв. м. На выставке участвует около 450 зарубежных и 600 индийских компаний.

Tooltech одновременно с IMTEXFORMING демонстрирует принадлежности станков, метрологии и CAD/CAM инструментов формования, оснастки и современные тенденции в инструментальной промышленности. Tooltech представляет инновации в области технологий, дизайна и развития продукции для достижения конкурентоспособности и получения опыта в области станкостроения. Tooltech представляет широкий выбор инструментов формования от ведущих мировых брендов.

Тематика выставки IMTEX: оборудование, станки для обработки металла (резки, формовки, физико-химической обработки и комбинации этих процессов); оборудование для сборки/манипуляций, промышленные роботы; сварочные станки и оборудование; станки для обработки пластика, включая экструдеры, литейные машины и инъекционные аппараты; машины для литья под давлением; деревообрабатывающие станки; оборудование для термической обработки поверхности в металлообработке.

Тематика выставки TOOLTECH: инструменты для металлообрабатывающих станков, включая прессы и формы; аксессуары и приспособления для металлообрабатывающих станков; измерительные машины и инструменты; сенсоры и диагностика; портативный ручной электрический и пневматический инструмент; программное обеспечение и системы автоматизированного проектирования и автоматизированного производства; оборудование тестирования и балансировки; гидравлические и пневматические системы и станочное оборудование.

Выставка MTA – MetalAsia (Manufacturing Technology Asia) проводится с 1980 года с переменным местом проведения и справедливо считается крупнейшим событием подобного характера в Азии.

MTA фокусируется на предоставлении передовых технологий для высокотехнологичных рынков производства с высокой добавленной стоимостью. MTA привлекает покупателей из многих отраслей и секторов, включая аэрокосмическую, сложное оборудование, электронику, энергетику, нефть и газ, точное машиностроение и медицинскую технику.

На MTA экспонируются новые производственные решения, такие как 3D-печать и робототехника. Выставка MTA занимает около 15000 кв. м, выставляется порядка 400 экспонентов. Выставку посещает около 12000 специалистов.

Выставка METALEX (Таиланд, г. Бангкок) проводится с 1987 года и уже давно признана ведущей региональной выставкой производ-

ственных технологий обработки металлов, собирающей 2700 поставщиков технологий и оборудования из 50 стран, которые представляют здесь около 4000 инноваций. METALEX привлекает внимание свыше 73000 посетителей-специалистов.

Проводимая в самом сердце АСЕАН, притягивающем иностранные инвестиции, METALEX определяет направления развития индустрии. Выставка METALEX сопровождается конференцией METALEX Conference, форумами METALEX NANO Forum, Metallurgy Forum и симпозиумом Japan – Thai Mold & Die Symposium.

Китайская международная промышленная ярмарка **CIIF (China International Industry Fair)** (Китай, г. Шанхай) организована совместно Государственным комитетом КНР по развитию и реформе, Министерством коммерции, Министерством промышленности и информатизации, Министерством науки и техники, Академией наук Китая, Инженерной академией Китая, Китайским комитетом содействия развитию международной торговли и Шанхайским народным правительством, совместно с Китайской ассоциацией машиностроения и проводится со вторника по субботу первой недели ноября в Шанхае каждый год (рис. 19.23).



Рисунок 19.23 – Павильоны выставки CIIF

Международная промышленная выставка СИП в Шанхае занимает второе место среди индустриальных выставок во всем мире. Впервые за 19 лет существования у главной Китайской международной индустриальной ярмарки появилась страна-партнер – этот статус присвоен Российской Федерации.

2562 компании из 28 стран занимают площадь 20000 кв. м, регистрируется более 160000 посетителей.

Организаторы проводят 9 профессиональных тематических секций под одной крышей. IAS – секция промышленной автоматизации; NEAS – секция автомобилей на новой энергии; ES – секция новой энергетики; ICTS – секция информационных и коммуникационных технологий; EPTES – секция технологий и оборудования для охраны окружающей среды; STIS – секция научных и технических инноваций; RS – секция промышленных роботов; NMIS – секция производства новых материалов; MWCS – металлорежущих станков.

Секция MWCS металлообрабатывающих станков – одна из наилучших международных выставок станков в Китае, специализируется в металлообрабатывающих станках, обработке листового металла, труб и моделей. На выставке показывают новейшие технологии. Эта выставка предоставит экспонентам платформу знакомства с клиентами, технического обмена и закупок.

Выставка продвигает проект Made in China 2025 и фокусируется на 5 ключевых направлениях металлообработки, включая 3D-печать.

Категории экспонатов: металлорежущие станки, станки формовки металла, специальные металлообрабатывающие станки, цифровые системы управления, детали станков и вспомогательное оборудование, абразивные материалы и инструменты, режущие инструменты, оснастка, контрольно-измерительное оборудование и пр.

Секция промышленной автоматизации IAS проходит под девизом «интеллектуальная, информационная и цифровая» и представляет технологии для «умных», полностью автоматизированных заводов.

Категории экспонатов: автоматизация производства, автоматизация процессов, электросистемы, автоматизированные ИТ промышленности и программное обеспечение, технологии микросистем.

Выставка CIMT (China International Machine Tool) (Китай, г. Пекин) – крупнейшая и наиболее влиятельная выставка станков в Китае и одна из 4 крупнейших в мире, проходящая по нечетным годам в Пекине (рис. 19.24). Всего в выставке участвует свыше 160000 посетителей из 60 стран. CIMT занимает около 150000 кв. м. Половину площади занимают около 800 китайских компаний, всего представляется около 2000 экспонентов из 27 стран. Присутствуют ведущие мировые производители станков с их новейшими технологиями и продуктами. Среди них станкостроительные ассоциации и торговые организации из 13 стран и регионов, включая Великобританию, Чехию, Францию, Герма-

нию, Индию, Италию, Японию, Корею, Испанию, Швейцарию, США, Тайвань и Гонконг. Регистрируется около 90000 посетителей-специалистов.



Рисунок 19.24 – Открытие выставки СИМТ

Основные профили выставки СИМТ: производственные технологии и оборудование, включая металлорежущее оборудование; токарные станки, вертикальные и горизонтальные токарные станки с тяжелым режимом работы; фрезерные станки, сверлильные станки; шлифовальные станки, абразивные материалы, инструмент; механические пилы; металлоформовочное оборудование; лазерные, плазменные и водоструйные режущие станки; прессы и прессовое оборудование; станки для быстрого прототипирования; компоненты станков, линий и роботов; электрооборудование и автоматика; многофункциональные производственные технологии; программное обеспечение.

Международная выставка станкостроения и технологий машиностроения **TIMTOS (Taipei Int'l Machine Tool Show)** (Тайвань, г. Тайпей) была основана в 1981 г. и проходит раз в 2 года в Международном торговом центре города Тайпей (рис. 19.25).

TIMTOS считается одной из крупнейших выставок станкостроительной промышленности в мире и рассматривается как наилучшая возможность для покупателей и производителей наладить максимально полезные деловые контакты. Предлагаемая на выставке TIMTOS продукция отличается высочайшим качеством и может конкурировать с оборудованием подобного класса производства Германии благодаря так называемым «азиатским ценам».

На выставке TIMTOS занимает площадь 100000 кв. м, свою продукцию представляют более 1100 компаний. С представленной на стендах продукцией знакомятся более 50000 посетителей из 90 стран мира.



Рисунок 19.25 – Павильоны выставки TIMTOS

Тайвань – центр азиатской станкостроительной промышленности, и эта отрасль является крупнейшим промышленным сектором острова. Основные рынки поставок экспортной продукции Тайваньского машиностроения – страны ЮВА, Евросоюз и Россия, наблюдался также рост поставок и на такие конкурентные рынки, как Китай, Корея, Япония. И одна из крупнейших выставок станкостроительной промышленности в мире и как наилучшая возможность для покупателей и производителей наладить максимально полезные деловые контакты. Предлагаемая на выставке продукция отличается высочайшим качеством и может конкурировать с оборудованием подобного класса производства Германии благодаря так называемым «азиатским ценам».

Профили выставки TIMTOS: металлообработка; станки особо высокой точности; станки с ЧПУ; токарные, сверлильные, фрезерные станки; точильное, штамповочное и шлифовальное оборудование; оборудование для резки металла; литейное оборудование; сварочные технологии; гибкое автоматизированное производство; контрольно-измерительная и тестовая аппаратура и инструмент; промышленные роботы; аксессуары, запчасти, комплектующие; сопутствующие отрасли промышленности.

Выставка **STEELFAB** (ОАЭ, г. Шарджа) является заметной ближневосточной выставкой промышленного оборудования для металлообработки. На выставке представляется продукция ведущих мировых компаний-производителей металлообрабатывающего оборудования. SteelFab призвана удовлетворить растущие потребности региона в стальной продукции.

STEELFAB представит вниманию посетителей современное металлообрабатывающее оборудование и инструменты, сварочное оборудование и технологии, гидравлику, пневматику, а также измерительное, испытательное и контрольное оборудование.

Число участников выставки SteelFab – около 1000 (из 40 стран).
Представляется экспонентов – около 300 из 25 стран.

Профили выставки SteelFab: продукция сталелитейной отрасли; машины, оборудование и инструмент для металлообработки (токарные, фрезерные, сверлильные и другие станки, сварочное оборудование, металлорежущее оборудование, пневматический и электрический ручной инструмент, сборочные роботы, манипуляторы, СОЖ и пр.); поставки и снабжение для металлообработки; сварочное оборудование и расходные материалы; обработка поверхности металлов; вспомогательное оборудование.

19.2 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите известные Вам проводимые в Европе крупнейшие регулярные выставки в области обработки металлов.
2. Перечислите известные Вам проводимые в России крупнейшие регулярные выставки в области обработки металлов.
3. Перечислите известные Вам проводимые в Америке крупнейшие регулярные выставки в области обработки металлов.
4. Перечислите известные Вам проводимые в Азии крупнейшие регулярные выставки в области обработки металлов.
5. Каковы особенности международной выставки «Металлообработка» (г. Минск)?
6. Дайте краткую характеристику ганноверской ярмарке.
7. Каковы профили выставки ЕМО?
8. Дайте краткую характеристику международной выставки машиностроения MSV.
9. Каковы профили международной выставки оборудования и технологий для металлообрабатывающей промышленности AMBStuttgart?
10. Охарактеризуйте международную выставку производственных технологий металлообработки и промышленной автоматизации METAV.
11. Какова особенность выставки «Технофорум»?
12. Какова тематика выставки «Технофорум»?
13. Перечислите категории экспонатов на выставке IMTS.
14. Какова тематика выставки FABTECH International?
15. Дайте краткую характеристику выставке Metal & Steel.
16. Какие вам известны секции выставки CIIF?
17. Назовите профили выставки TIMTOS.
18. Дайте краткую характеристику выставке STEELFAB.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляков, Н. В. Синтез технологических процессов : учебное пособие / Н. В. Беляков, Ю. Е. Махаринский, В. И. Ольшанский, В. А. Горохов ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2017. – 472 с.
2. Горохов, В. А. Материалы и их технологии: учебник : в 2 ч. Ч. 2 / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. А. Горохова. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 532 с.
3. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: в 2 ч. : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Ч. 1 / В. А. Горохов [и др.]; под ред. В. А. Горохова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 496 с.
4. Клименков, С. С. Формообразующий инструмент в машиностроении. Расчет и конструирование: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям / С. С. Клименков. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 670 с.
5. Клименков, С. С. Современные технологии в машиностроении и приборостроении: учебник для студентов учреждения высшего образования по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение и приборостроение)» / С. С. Клименков; ВГТУ. – Витебск, 2017. – 311 с.
6. Чепчуров, М. С. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства / М. С. Чепуров, Е. М. Жуков, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 248 с.
7. Гречишников, В. А. Режущие инструменты / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 388 с.
8. Сотников, В. И. Станочное оборудование машиностроительных производств : в 2 ч. Ч. 1 / В. И. Сотников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 416 с.
9. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент. Эксплуатация: учебное пособие для студентов вузов по машиностроительным спец. / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2012. – 256 с.
10. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей : монография / С. А. Клименко [и др.] ; под общ.ред. С. А. Чижика и М. Л. Хейфеца ; Национальная академия наук Беларуси, Отделение физико-технических наук, Национальная академия наук Украины, Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 376 с.
11. Современные методы и технологии создания и обработки материалов = Advanced methods and technologies of materials development

and processing : сборник научных трудов : в 3 кн. Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси». – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – 275 с.

12. Ефремов, В. Д. Металлорежущие станки / В. Д. Ефремов, В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. – 2-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 696 с.

13. Сотников, В. И. Станочное оборудование машиностроительных производств : в 2 ч. Ч. 2 / В. И. Сотников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 408 с.

14. Гречишников, В. А. Проектирование режущих инструментов / В. А. Гречишников [и др.]. – 3-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 300 с.

15. СтанкоМашКомплекс [Электронный ресурс] : Тверской станкостроительный завод / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankomach.com/novosti/news46.html>. – Дата доступа: 03.12.2019.

16. AFTERSHOCK [Электронный ресурс] : Информационный центр / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://aftershock.news/?q=node/770847&ful>. – Дата доступа: 03.12.2019.

17. Студопедия [Электронный ресурс] : Справочник технолога / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studopedia.ru/3_208701_tehniko-ekonomicheskie-pokazateli-stankov.html. – Дата доступа: 03.12.2019.

18. Подшипник-Сервис ДВ [Электронный ресурс] : Информационный справочник / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://podshipnik-servis.ru/new/stankostroenie-v-rossii-sostoyanie-tendencii-perspektivy>. – Дата доступа: 04.12.2019.

19. Покупка и продажа оборудования [Электронный ресурс] : Станкостроение в России: состояние, тенденции, перспективы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://www.equipnet.ru/articles/power-industry/power-industry_348.html. – Дата доступа: 04.12.2019.

20. Опытное машиностроительное производство [Электронный ресурс] : Информационный справочник / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.ompspb.ru/info/metalloobrabotka.php>. – Дата доступа: 04.12.2019.

21. Металлический портал [Электронный ресурс] : Информационный справочник / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : vk.cc/9Yh5ty. – Дата доступа: 05.12.2019.

22. StudFiles [Электронный ресурс] : Информационный справочник / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/5583374/page:4/>. – Дата доступа: 05.12.2019.

23. Тарко [Электронный ресурс] : Тенденции развития станкостроения : Информационный справочник / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.tapco.by/tendentsii-razvitiya-stankostroeniya>. – Дата доступа: 05.12.2019.

24. Акимочкин, А. А., Рыжакина, Т. Г. Современные тенденции и перспективы развития станкостроения России // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–1. – С. 128–133.

25. Оборудование и инструмент [Электронный ресурс]: Современные тенденции развития станкостроения в России / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.informdom.com/metallООbrabotka/2007/1/sovremennye-tendencii-razvitiya-stankostroeniya-v-rossii.html>. – Дата доступа: 05.12.2019.

26. InnovativeSoft [Электронный ресурс] : Высокоскоростная / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.insoftmach.ru/HSC.html>. – Дата доступа: 06.12.2019.

27. Современные технологии производства [Электронный ресурс] : высокоскоростная обработка резанием / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://extxe.com/2671/vysokoskorostnaja-obrabotka-rezaniem/>. – Дата доступа: 06.12.2019.

28. Озлиб [Электронный ресурс] : Высокоскоростная обработка / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://ozlib.com/830862/tehnika/vysokoskorostnaya_obrabotka. – Дата доступа: 06.12.2019.

29. Pereosnastka [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://pereosnastka.ru/articles/opredelenie-potrebnoi-moshchnosti-privodov-stanka>. – Дата доступа: 06.12.2019.

30. [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.sergeevhsc.de/media/DIR_65814/c219c0b38f472e1bffff824affffff0.pdf. – Дата доступа: 06.12.2019.

31. Строительный портал [Электронный ресурс] : Отвод стружки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.stroitelstvo-new.ru/stanki/mnogooperacionnye/otvod-struzhki.shtml>. – Дата доступа: 06.12.2019.

32. Лекции [Электронный ресурс] : Способы управления сливной стружкой / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://lektsii.org/6-61330.html>

33. Mudox [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://mydcox.ru/10-105091.html>. – Дата доступа: 06.12.2019.

34. Беляков, Н. В. Основы технологии машиностроения : лабораторный практикум / Н. В. Беляков, В. А. Горохов, Ю. Е. Махаринский ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 351 с.

35. Sandvik [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/general-turning/pages/how-to-apply-coolant-and-cutting-fluid-in-turning.aspx> . – Дата доступа: 06.12.2019.

36. Pandia [Электронный ресурс] : СОТС / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://pandia.ru/text/80/130/21698.php>. – Дата доступа: 06.12.2019.

37. Oilcool [Электронный ресурс] : Подача СОЖ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://oilcool.ru/article/podacha_sozh/. – Дата доступа: 07.12.2019.

38. Студопедия [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studopedia.su/14_147571_mehanizmi-dlya-besstupenchatogo-regulirovaniya-skorostey.html. – Дата доступа: 07.12.2019.

39. Controleng [Электронный ресурс] : Высокомоментные бесколлекторные двигатели / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://controlengrussia.com/innovatsii/vysokomomentnye-beskollektornye-dvigateli-s-postojann/>. – Дата доступа: 07.12.2019.

40. Станкоарена [Электронный ресурс] : Линейные двигатели / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanko-arena.ru/article/lineiynye-dvigateli.html>.

41. Студопедия [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studopedia.su/14_147572_tormoznie-ustroystva.html. – Дата доступа: 07.12.2019.

42. Электропривод [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://electroprivod.ru/linear_public.htm. – Дата доступа: 07.12.2019.

43. Abamet [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.abamet.ru/press/article/provolochno-vyreznye/cilindricheskii-lineinyi-dvigatel/>. – Дата доступа: 07.12.2019.

44. Сервотехника [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=65>. – Дата доступа: 07.12.2019.

45. Строительство-NEW [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.stroitelstvo-new.ru/stanki/mnogooperacionnye/napravlyayuschie.shtml>. – Дата доступа: 07.12.2019.

46. Механит [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mehanit.ru/novosti/razvitie-stankov.php>. – Дата доступа: 07.12.2019.

47. Компенсация погрешности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2012/2/21.htm>. – Дата доступа: 07.12.2019.

48. DocPlayer [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://docplayer.ru/36351617-Problemy-kompensacii-pogreshnostey-peremeshcheniy-v-sovremennyh-sistemah-chpu.html>. – Дата доступа: 07.12.2019.

49. Станочное оборудование автоматизированного производства: учебник для машиностроительных специальностей вузов. Т. 1 / под ред. В. В. Бушуева. – М.: Изд-во «Станкин», 1993. – 581 с.

50. Fanuc Programming Manua [Электронный ресурс] : Fanuc / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <https://fa-nuc.co.jp/en/>. – Дата доступа: 08.12.2019.

51. Мартинова, Л. И. Реализация открытости управления электроавтоматикой станков в системе ЧПУ класса PCNC // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. – № 2.

52. Consys [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.consys.ru/press-czentr/osobennosti-primeneniya-datchikov-uglovyix-peremeshhenij-na-proizvodstve.html>. – Дата доступа: 08.12.2019.

53. Техпривод [Электронный ресурс] : Энкодеры / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/naznachenie-i-vidy-enkoderov.html>. – Дата доступа: 08.12.2019.

54. Sensoren [Электронный ресурс] : Принцип действия магнитострикционных датчиков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sensoren.ru/news/princip-dejstviya-magnitostrikcionnyh-datchikov-linejnyh-peremeshchenij-balluff-micropulse/>. – Дата доступа: 08.12.2019.

55. HQSignal [Электронный ресурс] : Датчики линейного перемещения / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим

доступа : <https://hqsignal.ru/defence/datchiki/linejnogo-peremeshheniya.-html/>. – Дата доступа: 08.12.2019.

56. Продатчик [Электронный ресурс] : Виды датчиков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://prodatchik.ru/vidy/datchik-linejnogo-peremeshheniya/>. – Дата доступа: 08.12.2019.

57. Технарь [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://tehna.net.ua/elementyi-sistem/>. – Дата доступа: 08.12.2019.

58. Studref [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studref.com/318051/tehnika/klassifikatsiya_sistem_upravleniya_stankami_stanochnymi_kompleksami. – Дата доступа: 08.12.2019.

59. Masters [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://masters.donntu.org/2017/fimm/chabina/library/article9.htm>. – Дата доступа: 09.12.2019.

60. Vtool [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.vtool.ru/vdi-driv.htm>. – Дата доступа: 09.12.2019.

61. CNC [Электронный ресурс] : Комплекующие ЧПУ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.cnc-ht.com/instrumentalnaya_revolvernaya_golovka/. – Дата доступа: 09.12.2019.

62. Poznayka [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://poznayka.org/s98914t1.html>. – Дата доступа: 09.12.2019.

63. Studref [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studref.com/318118/tehnika/stanochnye_instrumentalnye_magaziny. – Дата доступа: 09.12.2019.

64. Stroitelstvo-new [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.stroitelstvo-new.ru/stanki/mnogoooperacionnye-golovki-2.shtml> – Дата доступа: 09.12.2019.

65. Northwesttool [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.northwesttool.ru/statyi/revolvernye-golovki/>. – Дата доступа: 09.12.2019.

66. Станки по металлу [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankiexpert.ru/stanki/tokarnye/tokarno-revolvernye-stanki.html>. – Дата доступа: 09.12.2019.

67. СтанкоГрупп [Электронный ресурс] : Каталог станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanko-group.by/katalog/oborudovanie/tokarnye-stanki/mnogoshpindelnye-tokarnye-stanki-metra/cnx-seriya/>. – Дата доступа: 09.12.2019.

68. Centermira [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanko-https://centermira.ru/blog/tokarnyj-sovremennyy-standok.html>. – Дата доступа: 09.12.2019.

69. Tehnar [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanko-https://tehnar.net.ua/mnogoreztsovyye-poluavtomaty/>. – Дата доступа: 09.12.2019.

70. StudFiles [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/4293789/page:8/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

71. StudFiles [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/4293789/page:8/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

72. StudFiles [Электронный ресурс] : смена инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/3579668/page:22/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

73. Всё о ЧПУ [Электронный ресурс] : Смена инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vseochpu.ru/avtomaticheskaya-smena-instrumenta-na-stankah-s-chpu/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

74. Поворотный стол [Электронный ресурс] : Станки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/prisposobleniya/povorotnye-stoly.html>. – Дата доступа: 12.12.2019.

75. Оснастик [Электронный ресурс] : Столы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://osnastik.ru/d/499774/d/katalog_osnastik_web_11_razdel.pdf. – Дата доступа: 12.12.2019.

76. Stndwood [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studwood.ru/2108050/tovarovedenie/ustroystva_smeny_zagotovok. – Дата доступа: 12.12.2019.

77. Studme [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studme.org/36425/tovarovedenie/primenenie_promyshlennyh_robotov. – Дата доступа: 12.12.2019.

78. Studfile [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/5760030/page:10/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

79. Mirprom [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mirprom.ru/public/promyshlennye-roboty-v-sovremennom-proizvodstve.html> . – Дата доступа: 12.12.2019.

80. SMEC [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://esmec.ru/kak_vybrat_tokarny_stanok_chpu. – Дата доступа: 12.12.2019.

81. Смигор [Электронный ресурс] : Токарные станки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://smigor.ru/tokarnye-stanki-shvejtsarskogo-tipa/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

82. StudFiles [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/3852620/page:5/>. – Дата доступа: 12.12.2019.

83. Школа электрика [Электронный ресурс] : Активный контроль / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/main/drugoe/1171-aktivnyjj-kontrol-razmerov-pri.html>. – Дата доступа: 12.12.2019.

84. Сенсорен [Электронный ресурс] : Индуктивный датчик / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://sensoren.ru/product/induktivnyy_datchik_rasstoyaniya_balluff_baw004t/?r1=yandext&r2. – Дата доступа: 13.12.2019.

85. Учебные материалы [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://works.doklad.ru/view/3-q_u_lfCHc.html. – Дата доступа: 13.12.2019.

86. Pepperl-fuchs [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://www.pepperl-fuchs.com/russia/ru/classid_2616.htm?view=-productgroupoverview. – Дата доступа: 13.12.2019.

87. Григорьев, С. Н. Проблемы измерения в технологических процессах формообразования / С. Н. Григорьев, В. И. Телешевский // Измерительная техника. – 2011. – No7. – С. 3–7.

88. Дёмкин, В. Н. Лазерные технологии при измерении геометрии по-верхности сложной формы (обзор) / В. Н. Дёмкин, В. Е. Привалов // Вестник СПбОАИН. Вып. 5. – СПб.: СПбГПУ, 2008. – С. 138–187.

89. Метод спекл-интерферометрии для определения теплового расширения наноматериалов / Т. А. Компан [и др.] // Измерительная техника. – 2011. – No 4. – С. 48–52.

90. Кеткович, А. А. Лазерный профилометр объектов сложной формы / А. А. Кеткович, Б. А. Чичигин // Фотоника. – 2009. – No 3. – С. 30.

91. Вертопрахов, В. В. Влияние формы объекта и ориентации его поверхности на точность лазерных триангуляционных измерений / В. В. Вертопрахов // Автометрия. – 1995. – No 6. – С. 64–68.

92. 1.32.1 [Электронный ресурс] : Современные лазерные измерительные системы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/viewFile/1902/1922>. – Дата доступа: 13.12.2019.

93. Голографические измерительные системы [Электронный ресурс] : ГИС / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/4415747/page:8/>. – Дата доступа: 13.12.2019.

94. Оптико-электронные измерительные системы [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя – Электрон. Текстовые данные. – Режим доступа : <http://optic.cs.nstu.ru/files/Lit/Hologr/Shtanko.pdf>. – Дата доступа: 13.12.2019.

95. ИНКОМ [Электронный ресурс] : Лазерные триангуляционные датчики / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://iic-incom.com/download/documents/LD3/LD3_rus.pdf. – Дата доступа: 13.12.2019.

96. Сенсорика [Электронный ресурс] : Триангуляционные датчики / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.sensorika.com/ru/lib/triangulyatsionnyj-datchik/>. – Дата доступа: 13.12.2019.

97. Лазерная измерительная система [Электронный ресурс] : Лазерные системы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ritm-magazine.ru/en/node/2008>. – Дата доступа: 14.12.2019.

98. Blum [Электронный ресурс] : Измерительные системы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.blum-novotest.com/ru.html>. – Дата доступа: 14.12.2019.

99. Kospas [Электронный ресурс] : Измерение деталей / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://kospas.ru/sistema-kontrolya-detali-instrumenta>. – Дата доступа: 14.12.2019.

100. Skbis [Электронный ресурс] : Портал производителя датчиков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://skbis.ru/catalog/readout>. – Дата доступа: 14.12.2019.

101. Устройства цифровой индикации [Электронный ресурс] : Измерительные системы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые

данные – Режим доступа : <https://megalektsii.ru/s6070t2.html>. – Дата доступа: 14.12.2019.

102. СКБ ИС [Электронный ресурс] : Устройства цифровой индикации / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://skbis.ru/catalog/readout/digital-readouts>. – Дата доступа: 14.12.2019.

103. Станкосервис [Электронный ресурс] : УЦИ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://stankoservis.by/index.php/promyshlennoe-oborudovanie>. – Дата доступа: 14.12.2019.

104. РемСтан [Электронный ресурс] : Техническое обслуживание станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://remstan.ru/technicheskoe-obsluzhivanie-stankov-3/>. – Дата доступа: 15.12.2019.

105. Интеллектуальные системы дистанционной технологии [Электронный ресурс]: Журнал. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/27131/Intellectualnye_sistemy_distancionnoj_diagnosticski_avtomobilnyh_dorog.pdf?sequence=1&isAllowed=y/. – Дата доступа: 15.12.2019.

106. ControlEngineering [Электронный ресурс]: Удаленная диагностика станков с ЧПУ. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: https://controlengrussia.com/internet-veshhej/winum_iot/. – Дата доступа: 15.12.2019.

107. Winnum [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.winum.ru/external/pages/solutions/cnc/WinumCNC.aspx>. – Дата доступа: 15.12.2019.

108. Охрана труда на предприятии [Электронный ресурс]: Инструкции / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/166/148707//. – Дата доступа: 15.12.2019.

109. Блокировочные устройства [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/Lheer>. – Дата доступа: 15.12.2019.

110. Блокировочные устройства [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200025953>. – Дата доступа: 15.12.2019.

111. Инфопедия [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://infopedia.su/13xdc1c.html>. – Дата доступа: 15.12.2019.

112. Электротехнический портал [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые дан-

ные. – Режим доступа : <http://электротехнический-портал.рф/bezgd/r2-gl22/40-sredstvavtcontr.html>. – Дата доступа: 15.12.2019.

113. Компэл [Электронный ресурс] : Каталог производителя / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://электротехнический-портал> <https://www.compel.ru/lib/66437>. – Дата доступа: 15.12.2019.

114. 2Omron [Электронный ресурс] : Каталог производителя / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.industrial.omron.ru>. – Дата доступа: 16.12.2019.

115. Marposs [Электронный ресурс]: Каталог продукции / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/Lhctx>. – Дата доступа: 16.12.2019.

116. DirectIndustry [Электронный ресурс]: Каталог продукции / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/Lhcy7>. – Дата доступа: 16.12.2019.

117. СТАНОМОНТАЖ [Электронный ресурс]: Каталог продукции / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/Lhd3v>. – Дата доступа: 16.12.2019.

118. Hestego [Электронный ресурс]: Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.hestego.ru/zashitita-malih-stankov>. – Дата доступа: 16.12.2019.

119. ЕВРОМАШ [Электронный ресурс]: Каталог продукции / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.evromash.ru/catalog/venti/pa/cyklon/cn-15/>. – Дата доступа: 16.12.2019.

120. Технологические инновационные системы [Электронный ресурс]: Каталог оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/LhdNd>. – Дата доступа: 16.12.2019.

121. Школа электрика [Электронный ресурс] : Электрооборудование металлорежущих станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://electricalschool.info/industrial-1856-jelektrooborudovanie-metallorezhushhikh.html>.

122. Развитие электропривода [Электронный ресурс] : Электропривод / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studme.org/84181/tehnika/osnovnye_tendentsii_razvitiya_sovremennogo_elektroprivoda.

123. Развитие гидроприводов [Электронный ресурс] : Развитие гидроприводов / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.arms-expo.ru/news/archive/razvitie-gidroprivodov-itogi-2011-goda31-03-2012-00-36-00/>. – Дата доступа: 18.12.2019.

124. Металл [Электронный ресурс] : станочные гидроприводы / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа :

<https://www.metalcutting.ru/content/stanochnye-gidroprivody>. – Дата доступа: 18.12.2019.

125. МирПром [Электронный ресурс] : Основные тенденции развития гидрооборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.mirprom.ru/public/osnovnyie-tendencii-razvitiya-mirovogo-gidrooborudovaniya.html>. – Дата доступа: 18.12.2019.

126. Практическая механика [Электронный ресурс] : Тенденции развития гидропривода / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://prmech.ru/company/press/20120406/>. – Дата доступа: 18.12.2019.

127. Информ дом [Электронный ресурс] : Камоцци пневматик / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.informdom.com/uploads/docs/files/2012/4/300/Camozzi_Metal-2012_4_8_9.pdf. – Дата доступа: 18.12.2019.

128. Festo [Электронный ресурс] : Festo / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.festo.com/group/en/cms/index.htm>. – Дата доступа: 18.12.2019.

129. Мастер [Электронный ресурс] : Пневматическая система / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://mastermdf.ru/chpu/96-pnevmaticheskaya-sistema-stanka-chpu.html>. – Дата доступа: 18.12.2019.

130. Metalcutting [Электронный ресурс] : Пневматика в станках с ЧПУ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metalcutting.ru/content/pnevmatika-v-stankah-s-chpu>. – Дата доступа: 18.12.2019.

131. Studeref [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studeref.com/525847/tehnika/elektrogidravlicheskiy-sledyaschiy_privod. – Дата доступа: 18.12.2019.

132. Метод агрегатирования [Электронный ресурс] : Метод агрегатирования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metro-logiya.ru/index.php?action=full&id=137>. – Дата доступа: 21.12.2019.

133. Большая энциклопедия [Электронный ресурс] : Узловая конструкция / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ngpedia.ru/id105191p1.html>. – Дата доступа: 21.12.2019.

134. Современные технологии производства [Электронный ресурс] : Агрегатные станки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://extxe.com/3563/agregatnye-stanki/>. – Дата доступа: 21.12.2019.

135. Основы проектирования [Электронный ресурс] : Нормальные ряды станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://megalektsii.ru/s9135t10.html>. – Дата доступа: 21.12.2019.

136. Классификация станков [Электронный ресурс] / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://rykovodstvo.ru/exspl/33621/index.html?page=20>. – Дата доступа: 21.12.2019.

137. Кнут индустрия [Электронный ресурс] / Сверлильные станки. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://knuth-industry.ru/catalog/sverlilnyie-stanki/>. – Дата доступа: 21.12.2019.

138. Махаринский, Е. И. Основы теории проектирования технических систем : учебное пособие для студентов вузов / Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский, В. И. Ольшанский, Н. В. Беляков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2009. – 354 с.

139. Портал станочника [Электронный ресурс] : Тенденции развития ЧПУ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://stanoks.net/index.php?option=com_content&view=article&id=1318:2013-06-14-06-44-20&catid=49:articles&Itemid=192. – Дата доступа: 21.12.2019.

140. Сибак [Электронный ресурс] : Современное развитие систем ЧПУ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sibac.info/conf/innovation/x1/40504>. – Дата доступа: 21.12.2019.

141. Коспас [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : популярно о ЧПУ <https://kospas.ru/sistemy-cnc>. – Дата доступа: 21.12.2019.

142. Все о ЧПУ [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://vseochpu.ru/>. – Дата доступа: 21.12.2019.

143. ELMIS [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.elmis.by/>. – Дата доступа: 21.12.2019.

144. EXIDER [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://exider.by/components/heidenhain/cnc/>. – Дата доступа: 21.12.2019.

145. Фельдштейн, Е. Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ : учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2006. – 287 с.

146. Сосонкин, В. Л., Мартинов, Г. М. Программирование систем числового программного управления : учеб. пособие. – Москва : Логос, 2008. – 344 с.

147. Архитектоника [Электронный ресурс] : Электронный учебно-методический комплекс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a5ZCml>. – Дата доступа: 25.12.2019.

148. ЛайфПрог [Электронный ресурс] : Основы художественного конструирования.. – Режим доступа : https://life-prog.ru/1_43314_osnovi-hudozhestvennogo-konstruirovaniya-stankov.html. – Дата доступа: 25.12.2019.

149. Сомов, Ю. С. Композиция в технике / Ю. С. Сомов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 288 с.

150. Pereosnastka [Электронный ресурс] : Композиция в технике / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://pereosnastka.ru/articles/proyavleniya-asimmetrii-v-simmetrichnykh-formakh>. – Дата доступа: 25.12.2019.

151. Pereosnastka [Электронный ресурс] : Журнал. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://pereosnastka.ru/articles/-statichnost>. – Дата доступа: 25.12.2019.

152. Вебконспект [Электронный ресурс] : Статичность и динамичность . – Режим доступа : <http://webkonspect.com/?room=profile&id=6872&labelid=148347>. – Дата доступа: 25.12.2019.

153. Машиностроительное черчение [Электронный ресурс] : Статья. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://spmag.ru/articles/pravila-organizacii-rabochego-mesta>. – Дата доступа: 25.12.2019.

154. Мегаобучалка [Электронный ресурс] : Масштабность и пропорциональность в композиции. – Режим доступа : <https://megaobuchalka.ru/8/42215.html>. – Дата доступа: 26.12.2019.

155. Dizayne [Электронный ресурс] : Основы дизайнерского проектирования. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.dizayne.ru/txt/3sozd0118.shtml>. – Дата доступа: 26.12.2019.

156. Тепка [Электронный ресурс] : Метрический повтор. – Режим доступа : http://tepka.ru/osnovy_dizajna/24.html. – Дата доступа: 26.12.2019.

157. ЛайфПрог [Электронный ресурс] : Тени и пластика. – Режим доступа : https://life-prog.ru/1_43338_teni-i-plastika.html. – Дата доступа: 26.12.2019.

158. Основы художественного конструирования станков [Электронный ресурс] : Художественное конструирование. – Режим доступа : <https://mydocx.ru/10-105098.html>. – Дата доступа: 26.12.2019.

159. Studfiles [Электронный ресурс] : Организация производства. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://clck.ru/K2Hco>; <https://clck.ru/K2JTf>. – Дата доступа: 26.12.2019.

160. Эргономика [Электронный ресурс] : Эргономические требования. – Режим доступа : <https://mydocx.ru/10-105099.html>. – Дата доступа: 26.12.2019.

161. HaasAutomationinc [Электронный ресурс] : Компания HAAS / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.haascnc.com/service.html>. – Дата доступа: 01.06.2019.

162. Мещерякова, В. Б. Металлорежущие станки с ЧПУ : учеб. пособие / В. Б. Мещеряков, В. С. Стародубов. – Москва : ИНФРА-М, 2015. – 336 с.

163. Современные технологии производства [Электронный ресурс] : Современные станки. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://extxe.com/16553/covremennye-metallorzhushhie-stanki-s-chpu-tehnologicheskie-vozmozhnosti/>. – Дата доступа: 01.06.2019.

164. Промзона [Электронный ресурс] : Современные станки. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <https://promzn.ru/rezka-metalla/metallorzhushchie-stanki.html>. – Дата доступа: 01.06.2019.

165. Сотников, В. И. Станочное оборудование машиностроительных производств : в 2 ч. Ч. 2 / В. И. Сотников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 408 с.

166. IB-Group [Электронный ресурс] : Обрабатывающие центры / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://ib-gr.ru/categories.php?id=37>. – Дата доступа: 27.12.2019.

167. Studfile [Электронный ресурс] : Обрабатывающие центры / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/6277855/page:9/>. – Дата доступа: 27.12.2019.

168. Rustan : Обрабатывающие центры / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://rustan.ru/obrabatyvayushchie-centry>. – Дата доступа: 27.12.2019.

169. Ритм машиностроителя [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <https://ritm-magazine.ru/ru/public/gibridnaya-lazernaya-obrabotka-na-metalloobrabatyvayushchih-stankah-s-chpu>. – Дата доступа: 27.12.2019.

170. Equipnet [Электронный ресурс] : Станки для лазерной обработки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные – Режим доступа: https://www.equipnet.ru/review/review_45759.html. – Дата доступа: 27.12.2019.

171. Bizeducation [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <http://www.bizeducation.ru/library/log/indust/9/systems.htm>. – Дата доступа: 27.12.2019.

172. Extxe [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа:

<https://extxe.com/3632/gibkie-proizvodstvennye-moduli-i-gibkie-proizvodstvennye-sistemy/>. – Дата доступа: 27.12.2019.

173. Articlekz [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: <https://articlekz.com/article/5590>. – Дата доступа: 27.12.2019.

174. Pietrocarnaghi [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа: [https://www.pietrocarnaghi.it/ru/42/%D0%93%D0%BF%D0%BC.-html#zoom\[gallery1\]/6/](https://www.pietrocarnaghi.it/ru/42/%D0%93%D0%BF%D0%BC.-html#zoom[gallery1]/6/). – Дата доступа: 27.12.2019.

175. Thermex [Электронный ресурс] : Завод-автомат / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://thermex.by/company/about/avtomat.php>. – Дата доступа: 27.12.2019.

176. Мир технологий [Электронный ресурс] : Автоматический завод / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://gsmavto.com/pervyj-polnostyu-avtomatizirovannyj-zavod-nachal-svoyu-rabotu-v-kitae/>. – Дата доступа: 27.12.2019.

177. Григоренко, О. В. Теоретические основы создания реконфигурируемых производственных систем / О. В. Григоренко, С. В. Ковалевский. – Научный вестник ДГМА. – 2011. – № 2. – С. 232–237.

178. Yoram Koren The Global Manufacturing Revolution : Product-Process-Business Integration and Recon-figurable Systems / Yoram Koren. – Copyright, 2010. – 422 p.

179. Dashchenko, A. I. Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories / A. I. Dashchenko // Springer Series in Advanced Manufacturing. – 2009. – 757 p.

180. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. для втузов / Н. М. Капустин [и др.]; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.

181. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, роботизированные комплексы / под ред. Б. И. Черпакова. – Москва : Высшая школа, 1989. – Кн. 3.

182. Нахапетян Е. П. Реконфигурируемые производственные системы. Стружка / Е. П. Нахапетян, А. Н. Феофанов. – 2006. – No 3. – С. 12–14.

183. Википедия [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://ru.qwertyu.wiki/wiki/Reconfigurable_Manufacturing_System. – Дата доступа: 18.11.2019.

184. Monroeengineering [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://monroeengineering.com/blog/what-is-a-reconfigurable-manufacturing-system/>. – Дата доступа: 27.12.2019.

185. Ykoren [Электронный ресурс] : Информационный ресурс / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ykoren.engin.umich.edu/research/rms/>. – Дата доступа: 27.12.2019.

186. Globatek [Электронный ресурс] : 3D-оборудование / Сайт про-изводителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/. – Дата доступа: 27.12.2019.

187. Globatek [Электронный ресурс] : 3D-оборудование / Сайт про-изводителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/slm-tech/. – Дата доступа: 28.12.2019.

188. SK [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnye-tehnologii-1320_chno-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya.aspx. – Дата доступа: 28.12.2019.

189. Rotec [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://rostec.ru/news/additivnye-tehnologii-v-deystvii/>. – Дата доступа: 28.12.2019.

190. Make-3d [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://make-3d.ru/articles/chno-eto>. – Дата доступа: 28.12.2019..

191. iQB [Электронный ресурс] : Блог 3-D экспертов / Сайт произ-водителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://blog.iqb.ru/chuck-hull-story>. – Дата доступа: 28.12.2019.

192. Coursera [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ru.coursera.org/lecture/additivnye-tehnologii/niedostatki-additivnykh-tiekhnologhii-v5pAb>. – Дата доступа: 28.12.2019.

193. Habr [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://habr.com/ru/company/iqb_technologies/blog/440896/. – Дата досту-па: 28.12.2019.

194. 3dtoday [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://3dtoday.ru/wiki/SLM_print/. – Дата доступа: 29.12.2019.

195. Extxe [Электронный ресурс] : Современные технологии про-изводства / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Ре-жим доступа : <https://extxe.com/3834/sushhnost-i-osobennosti-additivnyh-tehnologij/>. – Дата доступа: 29.12.2019.

196. 3D-EXPO [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://3d-expo.ru/article/izgotovlenie-obektov-metodom-laminirovaniya-lom-78841>. – Дата доступа: 29.12.2019.

197. 3Dprofy [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://3dprofy.ru/izgotovlenie-obektov-metodom-lamin/>. – Дата доступа: 29.12.2019.

198. Mirprom [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mirprom.ru/public/lens-tehnologiya-lazernoy-naplavki.html>. – Дата доступа: 29.12.2019.

199. 3d-format [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.3d-format.ru/technologies/sla/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

200. 3d-печать [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sites.google.com/site/about3dprinter/technologiya/sla>. – Дата доступа: 29.01.2020.

201. VISTAN [Электронный ресурс] : Портал производителя станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.vistan.ru/about.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

202. Beltrade [Электронный ресурс] : Внешняя торговля / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://beltrade.by/enterprise/1583/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

203. Красный борец [Электронный ресурс] : Производитель станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://krasnyborets.com/about/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

204. МСЗ [Электронный ресурс] : Производитель станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mcz.by/produkcija.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

205. Википедия [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a7y9dn>. – Дата доступа: 29.01.2020.

206. МЗАЛ [Электронный ресурс] : Портал производителя автоматических линий / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mzal.by/ru/o-predpriyatii>. – Дата доступа: 29.01.2020.

207. ГЗСУ [Электронный ресурс] : Портал производителя станочных узлов / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://gzsby.by/ru/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

208. Beltrade [Электронный ресурс] : Внешняя торговля / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://beltrade.by/enterprise/1486>. – Дата доступа: 29.01.2020.

209. I-Mash [Электронный ресурс] : Ресурс машиностроителя / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.i-mash.ru/predpr/3162>. – Дата доступа: 29.01.2020.

210. АСЗ [Электронный ресурс] : Сайт станкостроительного завода / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.i-mash.ru/predpr/3162>. – Дата доступа: 29.01.2020.

211. WikiProm [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.wiki-prom.ru/1392zavod.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

212. ВСЗ [Электронный ресурс] : Сайт станкостроительного завода / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://vzfs.ru/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

213. WikiProm [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.wiki-prom.ru/1392zavod.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

214. Википедия [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a7yP8c>. – Дата доступа: 29.01.2020.

215. Станочный мир [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanok-kpo.ru/proizvoditeli/zfs.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

216. I-Mash [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.i-mash.ru/predpr/3193>. – Дата доступа: 29.01.2020.

217. Rosmak-streel [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.rosmark-steel.ru/partners/anca/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

218. Stanexim [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.stanexim.ru/company/partners/emco/>. – Дата доступа: 29.01.2020.

219. СтанкоАрена [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stanko-arena.ru/catalogue/company/emco.html>. – Дата доступа: 29.01.2020.

220. Stankoreport [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankoreport.ru/catalog/metallООbrabotka/brand/alesamonti> – Дата доступа: 29.01.2020.

221. Oborudunion [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.oborudunion.ru/company/4082035>. – Дата доступа: 29.01.2020.

222. COSTA [Электронный ресурс] : Производитель автоматического шлифовального оборудования / Сайт производителя. – Электрон.

текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a7zsg4>. – Дата доступа: 29.01.2020.

223. Lmtrus [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.lmtrus.ru/brendy/euromac.html> . – Дата доступа: 29.01.2020.

224. EUROMAC [Электронный ресурс] : Портал производителя / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.euromac.com/en/categoria/punching-machines/> . – Дата доступа: 29.01.2020.

225. Stankoreport [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankoreport.ru/catalog/metalloobrabotka/brand/gasparini> – Дата доступа: 29.01.2020.

226. Gasparini [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.gasparini-spa.com/rus/company/history.html> . – Дата доступа: 29.01.2020.

227. Informdom [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.informdom.com/uploads/docs/files/2012/1/214/Guseppe_Giana_12_1m_page86.pdf . – Дата доступа: 29.01.2020.

228. 12.MACRI [Электронный ресурс] : Портал производителя трубогибочных машин / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a7zEkM>. – Дата доступа: 29.01.2020.

229. ФИНВАЛ [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://finval.ru/about/>. – Дата доступа: 30.01.2020.

230. Оборудование/инструмент [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.informdom.com/metalloobrabotka/2012/1/cidan-listoobrabotchikam.html>. – Дата доступа: 30.01.2020.

231. Beijing [Электронный ресурс] : Портал компании / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.byjc-imp-exp.com/list/?id=15&siteid=1>. – Дата доступа: 30.01.2020.

232. WEBER [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://weber.ru/device/izgotovlenie-konicheskikh-zubchatyh-koles/672/>. – Дата доступа: 30.01.2020.

233. Dalkos [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://dalkos.ru/manufacturers/benzinger/>. – Дата доступа: 30.01.2020.

234. Benzinger [Электронный ресурс] : Сайт производителя / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.benzinger.de/index.php/en/products/general-industry>. – Дата доступа: 30.01.2020.

235. Дюкон [Электронный ресурс] : Каталог оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/QdzqYdG>. – Дата доступа: 30.01.2020.

236. Амека [Электронный ресурс] : Оборудование для металлообработки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/Gult9>. – Дата доступа: 30.01.2020.

237. Voortmanstrrlmachinery [Электронный ресурс] : Каталог производителя станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/Gult9>. – Дата доступа: 30.01.2020.

238. BoltProm [Электронный ресурс] : Металлообрабатывающее оборудование / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/sbj1rjxc>. – Дата доступа: 30.01.2020.

239. MicroStep [Электронный ресурс] : Производители станков с ЧПУ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.microstep.eu/>. – Дата доступа: 30.01.2020.

240. Новатор [Электронный ресурс] : Металлообрабатывающие станки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/e1Qeqfg>. – Дата доступа: 30.01.2020.

241. ПИТЕРМАШ [Электронный ресурс] : Каталог обрабатывающих центров / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/6A1H>. – Дата доступа: 30.01.2020.

242. Bomar [Электронный ресурс] : Каталог производителей станков / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/iMY6uL>. – Дата доступа: 30.01.2020.

243. Альянс [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/2psV>. – Дата доступа: 30.01.2020.

244. Stankoreport [Электронный ресурс] : Каталог металлообрабатывающего оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/vKWL>. – Дата доступа: 31.01.2020.

245. BalTec [Электронный ресурс] : Каталог металлообрабатывающего оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/Mc7L09Xd>. – Дата доступа: 31.01.2020.

246. AlfLeth [Электронный ресурс] : Прецизионное оборудование / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/RqojGp4>. – Дата доступа: 31.01.2020.

247. Ассоциация литейщиков [Электронный ресурс] : Технология оборудования листовой штамповки / Сайт производителя – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/fiF2HW>. – Дата доступа: 31.01.2020.

248. Виланд [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/jMpHs47>. – Дата доступа: 31.01.2020.

249. Abamet [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим до-ступа : <https://goo-gl.su/W50af>. – Дата доступа: 31.01.2020.

250. Перспективное оборудование [Электронный ресурс] : Информационный портал оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/mPXig94>. – Дата доступа: 31.01.2020.

251. Оборудование и инструмент [Электронный ресурс] : Оборудование для зубообработки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/GiHBA>. – Дата доступа: 31.01.2020.

252. CHIRON [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://chiron.de/>. – Дата доступа: 31.01.2020.

253. Juoti [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://alfleth-spb.ru/jyoti>; <http://www.enims.ru/1011india.pdf>. – Дата доступа: 31.01.2020.

254. Mazak [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим до-ступа : <https://www.mazak.ru/>. – Дата доступа: 31.01.2020.

255. Mitsui Seiki [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.mitsuiiseiki.co.jp/>; <http://japantool.ru/mitsuiiseiki/>. – Дата доступа: 31.01.2020.

256. OKUMA [Электронный ресурс] : Каталог производителей оборудования / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.okuma.eu/>. – Дата доступа: 31.01.2020.

257. Схиртладзе, А. Г. Проектирование металлообрабатывающих инструментов [Электронный ресурс] / А. Г. Схиртладзе, В. А. Гречишников, С. Н. Григорьев, И. А. Коротков. – Электрон. данные. – СПб. : Лань, 2015. – 256 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/64341> . – Дата доступа: 03.01.2020.

258. Виноградов, Д. В. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов: учеб. пособие по курсу «Инструментообеспечение машиностроительных предприятий». Ч. 1:

Функциональные действия / Д. В. Виноградов. – Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 90 с.

259. Высокие технологии [Электронный ресурс] : Журнал – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vys-tech.ru/2017/07/26/kak-povysit-proizvoditelnost-obrabotki/>. – Дата доступа: 03.01.2020.

260. Твердый сплав [Электронный ресурс] : Каталог производителей инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/tendentsii-razvitiya-rezhushhego-instrumenta/>. – Дата доступа: 03.01.2020.

261. Allbest [Электронный ресурс] : Тенденции развития инструментов / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://revolution.allbest.ru/manufacture/00478158_0.html. – Дата доступа: 03.01.2020.

262. SCIENCEFORUM [Электронный ресурс]: Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://present5.com/instrumenty-rezcy-metody-modifikacii/>. – Дата доступа: 03.01.2020.

263. Инженерный журнал [Электронный ресурс] : Наука и инновации / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://engjournal.ru/articles/1591/1591.pdf>. – Дата доступа: 03.01.2020.

264. Pereosnastka [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://pereosnastka.ru/articles/zhestkost-i-kolebaniya>. – Дата доступа: 03.01.2020.

265. 4ne [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.4ne.ru/stati/rezka-metallov/sverxskorostnoe-rezanie.html>. – Дата доступа: 03.01.2020.

266. Poznayka [Электронный ресурс] : Требования, предъявляемые к инструментальным материалам. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://poznayka.org/s86350t1.html>. – Дата доступа: 03.01.2020.

267. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс] : Инструментальные материалы. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ngpedia.ru/id619158p1.html>. – Дата доступа: 03.01.2020.

268. ТехИнфо [Электронный ресурс]: Инструментальные материалы. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://texinfo.inf.ua/razdeli/reg_instr/instrmater_gl.html. – Дата доступа: 03.01.2020.

269. SCIENCEFORUM [Электронный ресурс] : Студенческий научный форум / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. –

Режим доступа : <https://scienceforum.ru/2017/article/2017032533>. – Дата доступа: 03.01.2020.

270. Нанотехнологии в производстве [Электронный ресурс] : Режущий инструмент. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/bbNw>. – Дата доступа: 03.01.2020.

271. CamelGrindingWheels [Электронный ресурс] : Каталог абразивного инструмента. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://goo-gl.su/bbNw>. – Дата доступа: 03.01.2020.

272. Всё о шлифовании [Электронный ресурс] : Шлифовальные материалы. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://kraski-laki-gruntovka.ru/States/Shlifoval%60nye-materialy-s-antistaticheskim-pokrytiem.htm>. – Дата доступа: 03.01.2020.

273. Абразив Челябинск [Электронный ресурс]: Свойства абразивных материалов. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.abrazivchel.ru/podrobnее-ob-abrazivah/svoystva-abrazivov/>. – Дата доступа: 03.01.2020.

274. Анализ абразивных материалов [Электронный ресурс]: Свойства абразивных материалов. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.stroitelstvo-new.ru/steklo/abrasives-svoystva.shtml>. – Дата доступа: 03.01.2020.

275. ЧТС [Электронный ресурс] : Каталог производителей / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://tdchts.ru/catalog/tokarnyj-instrument/plastiny/plastiny-keramicheskie/>. – Дата доступа: 05.01.2020.

276. Инструменты и оснастка [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.stpm.by/katalog/metallorejuschiy-instrument/plastiny-smp/smp-osnaschennye-stm-elbor/plastiny-smennye-tverdosplavnye-kvadratnye-stm-knb_542. – Дата доступа: 05.01.2020.

277. ПромСнабКомплект [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://kpsk.ru/oborudovaniye/instrument/metallorezhuschiy-rossiya-belorussiya/vstavki-reztsovye.html>. – Дата доступа: 05.01.2020.

278. Научный журнал [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6214>. – Дата доступа: 05.01.2020.

279. Bofri [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://borfi.ru/press/231.html>. – Дата доступа: 05.01.2020.

280. СибАК [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sibac.info/studconf/tech/xxxviii/46545>. – Дата доступа: 05.01.2020.

281. Studref [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studref.com/498235/tehnika/sovmeschennaya_obrabotka_rezaniem_poverhnostnym_plasticheskim_deformirovaniem. – Дата доступа: 05.01.2020.

282. Мирпром [Электронный ресурс] : тенденции развития твердосплавного инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.mirprom.ru/public/tendencii-razvitiya-tverdosplavnogo-instrumenta.html>. – Дата доступа: 05.01.2020.

283. Booksite [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/004/729.htm>. – Дата доступа: 05.01.2020.

284. Патенты [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://yandex.ru/patents/doc/RU2528583C1_20140920. – Дата доступа: 05.01.2020.

285. Шанхайский инструмент [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://shanghaitools.ru/site.aspx?SECTIONID=-2976011&IID=2976014>. – Дата доступа: 05.01.2020.

286. Лаб [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://lab2u.ru/monolitnye-tverdosplavnnye-kontsevyie-frezy-sandvik-coromill-plura-dlia-obrabotki-priamougolnykh-ustupov-s-vozmozhnostiu-sverleniia-melkorazmernye-katalog-sandvik-coromant-2016-rezhushchii-tselnyi-instrument-str-a158-0210-lab2u.html>. – Дата доступа: 05.01.2020.

287. Абразивы и шлифование [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6214>. – Дата доступа: 18.11.2019.

288. University [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sites.google.com/site/universitybrgu/primenenie-sbornyh-konstrukcij-instrumenta>. – Дата доступа: 05.01.2020.

289. Ритм машиностроения [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ritm-magazine.ru/ru/public/tendencii-v-razvitiishlifovalnyh-tehnologiy>. – Дата доступа: 05.01.2020.

290. Galika [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://galika.ru/news/5410/>. – Дата доступа: 05.01.2020.

291. Давлетбаева, Р. Р. Покрытие для режущего инструмента / Р. Р. Давлетбаева // Молодой ученый. – 2017. – № 2. – С. 98–101.

292. Тополянский, П. А. Технологии и оборудование для нанесения тон-копленочных износостойких покрытий на режущий инструмент / П. А. Тополянский // Индустрия. – 2015. – № 1. – С. 28–32.

293. Соснин, Н. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. – 406 с. – С. 8.

294. Григорьев, С. Н. Нанесение покрытий и поверхностная модификация инструмента / С. Н. Григорьев, Л. Л. Ильичёв, М. А. Волосова. – Оренбург: ГОУ ОГУ. – 2007. – 393 с.

295. ШШФ [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.shlif-shkola.ru/iznosostoykie-pokrytiya.html>. – Дата доступа: 06.01.2020.

296. ШШФ [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.shlif-shkola.ru/iznosostoykie-pokrytiya.html>. – Дата доступа: 06.01.2020.

297. Findpatent [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://findpatent.ru/patent/242/2424352.html>. – Дата доступа: 06.01.2020.

298. Findpaten [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://findpatent.ru/patent/243/2430993.html>. – Дата доступа: 06.01.2020.

299. Википедия [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://vk.cc/a7EugG>. – Дата доступа: 06.01.2020.

300. Словарь [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article471>. – Дата доступа: 06.01.2020.

301. UAS [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://uas.su/books/newmaterial/181/razdel181.php>. – Дата доступа: 06.01.2020.

302. MSI [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://msi.ulstu.ru/files/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%A2%D0%9C%D0%9D%D0%98%D0%9F%D0%A0%D0%98%2014.04.2019.pdf>. – Дата доступа: 06.01.2020.

303. Твёрдый сплав [Электронный ресурс] : Каталог производителей инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/katalog-proizvoditelej-instrumenta/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

304. ОИЗ [Электронный ресурс] : Оршанский инструментальный завод / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://orshiz.by/galereya.html#>. – Дата доступа: 07.01.2020.

305. МИЗ [Электронный ресурс] : Минский инструментальный завод / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://miz.by/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

306. Belabraziv [Электронный ресурс] : Belabraziv / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.belabraziv.ru/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

307. Miz [Электронный ресурс] : Miz / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.miz.ru/ozavode/moskovskiy-instrumentalnyy-zavod-segodnya/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

308. Туламаш [Электронный ресурс] : Туламаш / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.itotulamash.ru/company>. – Дата доступа: 07.01.2020.

309. Ceramtec [Электронный ресурс] : Ceramtec / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ceramtec.ru/products/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

310. ДВЛ-Инжиниринг [Электронный ресурс] : ДВЛ / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.dwl-e.ru/catalogues/po-tipu-instrumenta.html>. – Дата доступа: 07.01.2020.

311. Duemmel [Электронный ресурс] : Duemmel / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.duemmel.de/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

312. F-britsch [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.f-britsch.com/ru/products/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

313. Guehring [Электронный ресурс] : Guehring / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://guehring.com/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

314. Твердый сплав [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/hahnreiter-instrument-hanrajter/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

315. Hahnreiter [Электронный ресурс] : Hahnreiter / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.hahnreiter.de/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

316. Hobe tools [Электронный ресурс] : Hobe tools / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.hobe-tools.de/en/home/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

317. Hoffmann-group [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные.. – Режим

доступа : https://www.hoffmann-group.com/RU/ru/horu/assortment/-Main_K50_RU. – Дата доступа: 07.01.2020.

318. Ilix [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://ilix-tools.ru/katalogi/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

319. Ilix [Электронный ресурс] : Ilix / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ilix.com/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

320. Jdtools [Электронный ресурс] : Jdtools / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://jd-tools.com/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

321. Karnasch [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.karnasch.ru/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

322. Haltec [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://haltec.ru/instruments/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

323. Reimenoris [Электронный ресурс] : Reimenoris / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные.. – Режим доступа : <https://www.reime-noris.de/en/home-eng/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

324. Rohm [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://roehm.su>. – Дата доступа: 07.01.2020.

325. RUKO [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ruko-rus.ru>. – Дата доступа: 07.01.2020.

326. Instek [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://instek.su/magazin/vendor/schunk>. – Дата доступа: 07.01.2020.

327. Schunk [Электронный ресурс] : Schunk / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://schunk.com/de_en/homepage/. – Дата доступа : 07.01.2020.

328. SPPW [Электронный ресурс] : SPPW / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.sppw.de/de>. – Дата доступа : 07.01.2020.

329. Stock [Электронный ресурс] : Stock / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stock.de/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

330. TBT [Электронный ресурс] : TBT / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.tbt.de/ru/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

331. WNT [Электронный ресурс] : WNT / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.wnt.com/uk.html>. – Дата доступа : 07.01.2020.

332. Wuerth [Электронный ресурс] : Wuerth / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.wuerth.de/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
333. Voelkel [Электронный ресурс] : Voelkel / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.voelkel.com/de/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
334. Walter-tools [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.walter-tools.com/ru-ru/pages/default.aspx#1291832732-desktop>. – Дата доступа : 07.01.2020.
335. Promsfera [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://promsfera.by/partners/werkoe>. – Дата доступа : 18.11.2019
336. Werkoe [Электронный ресурс] : Werkoe / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://werkoe.de/ru>. – Дата доступа : 07.01.2020.
337. Promsfera [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://promsfera.by/partners/widia>. – Дата доступа : 07.01.2020.
338. Widia [Электронный ресурс] : Widia / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.widia.com/us/en/home.html>. – Дата доступа : 07.01.2020.
339. Zecha [Электронный ресурс] : Zecha / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.zecha.de/en/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
340. Ibercut [Электронный ресурс] : Ibercut / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.ibercut.com/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
341. Renishaw [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.renishaw.ru/ru/products--32083>. – Дата доступа : 07.01.2020.
342. Renishaw [Электронный ресурс] : Renishaw / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.renishaw.com/en>. – Дата доступа : 07.01.2020.
343. Alesa [Электронный ресурс] : Alesa / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.alesa.ch/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
344. Denitool [Электронный ресурс] : Denitool / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.denitool.com/en-US/>. – Дата доступа : 07.01.2020.
345. Otst-tools [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://otst.ru/katalog_produktsii. – Дата доступа : 07.01.2020.

346. Rego-fix [Электронный ресурс] : Rego-fix / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ch.rego-fix.com/en>. – Дата доступа : 07.01.2020.

347. Sphinx-tools [Электронный ресурс] : Sphinx-tools / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://sphinx-tools.ch/en/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

348. Sterlinggundrills [Электронный ресурс] : Sterlinggundrills / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.sterlinggundrills.com/>. – Дата доступа : 07.01.2020.

349. Swisstool [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://pbswisstool.ru/products/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

350. Euskron [Электронный ресурс] : Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : Euskron <https://www.euskron.com/>. – Дата доступа: 07.01.2020.

351. Canelatools [Электронный ресурс] : Canelatools / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://canelatools.com/ru/index.html>. – Дата доступа : 08.01.2020.

352. Helion [Электронный ресурс] : Helion / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://helion.tools/en/c/helion-tools-with-seal-of-quality-1>. – Дата доступа : 08.01.2020.

353. Izartool [Электронный ресурс] : Izartool / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.izartool.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

354. Kendu [Электронный ресурс] : Kendu / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.kendu.es/?L=1>. – Дата доступа : 08.01.2020.

355. Kintek [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.kintek.it/ru/продукция.html>. – Дата доступа: 08.01.2020.

356. CGM diamond tools [Электронный ресурс] : Сайт производителя инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.kotrag.ru/katalog-produktsii/>. – Дата доступа: 08.01.2020.

357. Htt [Электронный ресурс] : Htt / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.httcentroaffilatura.com/eng-home>. – Дата доступа : 08.01.2020.

358. Silmax [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.silmax.it/ru/наша-продукция/>. – Дата доступа: 08.01.2020.

359. ИНТЕХНИКА [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим

доступа : <http://www.intehnika.ru/producers/vergnano/catalogues/>. – Дата доступа: 08.01.2020.

360. Vergnano [Электронный ресурс] : Vergnano / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.vergnano.com/en/company.php>. – Дата доступа : 08.01.2020.

361. Mircona [Электронный ресурс] : Mircona / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.mircona.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

362. Seco [Электронный ресурс] : Seco / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.secotools.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

363. Sandvik coromant [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx?country=ru>. – Дата доступа: 08.01.2020.

364. SmitCut [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://smicut.ru/produktsiya>. – Дата доступа: 08.01.2020.

365. Ceratizit [Электронный ресурс] : Сайт производителя инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://ceratizit.su>. – Дата доступа: 08.01.2020.

366. Fanar [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://metallorez.by/vendors/fanar>. – Дата доступа: 08.01.2020.

367. Fanar [Электронный ресурс] : Fanar / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.fanar.pl/ru/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

368. Mefexport [Электронный ресурс] : Mefexport / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://mefexport.com/home_en. – Дата доступа : 08.01.2020.

369. Tivoly [Электронный ресурс] : Tivoly/ Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.tivoly.com/en>. – Дата доступа : 08.01.2020.

370. Heritagecut [Электронный ресурс] : Heritagecut / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://heritagecutter.com/Dataflute/index.html>. – Дата доступа : 08.01.2020.

371. Doriantool [Электронный ресурс] : Doriantool / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.doriantool.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

372. DrillMasters-EldoradoTool [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://dmetool.com>. – Дата доступа: 08.01.2020.

373. Твердый сплав [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/precision-cutting-tools-instrument-pct/>. – Дата доступа: 08.01.2020.

374. Precisioncuttingtool [Электронный ресурс] : Precisioncuttingtool / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://precisioncuttingtools-usa.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

375. Imco [Электронный ресурс] : Imco/ Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.imcousa.com/>. – Дата доступа : 08.01.2020.

376. Ktoolinc [Электронный ресурс] : Ktoolinc / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.ktoolinc.com/index.html>. – Дата доступа : 08.01.2020.

377. Твердый сплав [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/scientific-cutting-tools-instrument-sct/>. – Дата доступа: 08.01.2020.

378. Robbjack [Электронный ресурс] : Robbjack / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://robbjack.com/>. – Дата доступа : 09.01.2020.

379. SteelCam [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://steelcam.org/sgs-tool/>. – Дата доступа: 09.01.2020.

380. Mastercut [Электронный ресурс] : Mastercut / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://mastercuttool.com/>. – Дата доступа : 09.01.2020.

381. Micro100 [Электронный ресурс] : Micro100 / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.micro100.com/>.

382. Yg-1-tools [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://yg-1-tools.ru>. – Дата доступа: 09.01.2020.

383. Carboloy [Электронный ресурс] : Carboloy / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.carboloy.com/>. – Дата доступа : 09.01.2020.

384. Cogsdill [Электронный ресурс] : Cogsdill / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://cogsdill.com/>. – Дата доступа : 09.01.2020.

385. Центр твердосплавного инструмента [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://carbide-tool.ru/ntk>. – Дата доступа: 09.01.2020.

386. NTK [Электронный ресурс] : NTK / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.ntkcuttingtools.com/index.html>. – Дата доступа : 09.01.2020.
387. Kennametal [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://kennametal.su>. – Дата доступа: 09.01.2020.
388. Hannatools [Электронный ресурс] : Hannatools / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://hannatools.com/>. – Дата доступа : 09.01.2020.
389. Erojet [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.proerojet.ru/katalogi.php>. – Дата доступа: 11.01.2020.
390. Erojet [Электронный ресурс] : Erojet / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://erojet-tools.com/>. – Дата до-ступа : 11.01.2020.
391. Iscar [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx>. – Дата доступа: 11.01.2020.
392. Мультитул [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://mttool.by/products/>. – Дата доступа: 11.01.2020.
393. Vargus [Электронный ресурс] : Vargus / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.vargus.com/>. – Дата доступа : 11.01.2020.
394. АККО [Электронный ресурс] : Сайт производителя инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://www.akko.com.tr/urun-kategoriler/ru/10_products. – Дата доступа: 11.01.2020.
395. Amktool [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://amktool.by/rezhushchij-instrument>. – Дата доступа: 11.01.2020.
396. Eroglu [Электронный ресурс] : Eroglu/ Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.eroglumakina.com/>. – Дата доступа : 11.01.2020.
397. STGroup [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.s-t-group.com/manufacture/Dijet/>. – Дата доступа: 11.01.2020.
398. DIJET [Электронный ресурс] : DIJET / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.dijet.co.jp/english/index.html>. – Дата доступа : 11.01.2020.
399. Korloy [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.korloy.com/ru/prdinfo/new.do>. – Дата доступа: 11.01.2020.

400. Imperial-tools [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://imperial-tools.ru/services>. – Дата доступа: 11.01.2020.

401. RBH [Электронный ресурс] : RBH / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.rbh-tools.com/aboutus.htm>. – Дата доступа : 11.01.2020.

402. Центр твердосплавного инструмента [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://carbide-tool.ru/hitachi>. – Дата доступа: 11.01.2020.

403. Hitachi [Электронный ресурс] : Hitachi / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://hitachitool.ru>. – Дата доступа : 11.01.2020.

404. Sumitomo [Электронный ресурс] : Sumitomo / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.sumitomo-tools.ru/>. – Дата доступа: 11.01.2020.

405. Станкострой [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://stankostroy.by/g4791902-kitagawa>. – Дата доступа: 11.01.2020.

406. Kyocera [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://russia.kyocera.com>. – Дата доступа: 11.01.2020.

407. Mitutoyo [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://mitutoyo.ru/ru_ru/. – Дата доступа: 11.01.2020.

408. NS-tool [Электронный ресурс] : NS-tool / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ns-tool.com/en/>. – Дата доступа : 11.01.2020.

409. Tanoï [Электронный ресурс] : Tanoï / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.tanoï-mfg.co.jp/us/>. – Дата доступа : 11.01.2020.

410. Калашников, А. С. Зубохонингование цилиндрических колёс / А. С. Калашников // РИТМ. – № 12. – 2013. – С. 12–19.

411. Калашников, А. С. Технология непрерывного обкатного зубошлифования колёс планетарных передач. Справочник / А. С. Калашников, Ю. А. Моргунов, П. А. Калашников // Инженерный журнал. – № 1. – 2016. – С. 3–8.

412. Тенденции развития зубообработки [Электронный ресурс] : Ритм машиностроения / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ritm-magazine.ru/ru/public/tendencii-razvitiya-zubootobrabotki>. – Дата доступа: 15.01.2020.

413. Stanko-arena [Электронный ресурс] : информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим до-

ступа : <https://stanko-arena.ru/article/zubootbrabat-tehnologii-i-oborud.html>.
– Дата доступа: 15.01.2020.

414. Молодой ученый [Электронный ресурс] Зуботочение / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/86/16137/>. – Дата доступа: 15.01.2020.

415. Международный промышленный портал [Электронный ресурс]: Тенденции и новые решения в зубообработке / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://promvest.info/ru/otrasli-i-predpriyatiya/tendentsii-i-novyye-resheniya-v-zubootbrabotke/>. – Дата доступа: 15.01.2020.

416. Твердый сплав [Электронный ресурс]: Каталог производителя инструмента / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tverdysplav.ru/obzor-sposobov-narezaniya-rezby-vzglyad-iznutri/>. – Дата доступа: 15.01.2020.

417. TUTMET [Электронный ресурс] : Каталог компаний / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://tutmet.ru/nakatka-rezby-rolikami-rezbonakatnoj-standok.html>. – Дата доступа: 16.01.2020.

418. Высокие технологии [Электронный ресурс]: Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://vys-tech.ru/2017/10/08/rezbofrezerovanie/>. – Дата доступа: 16.01.2020.

419. Tehinfor [Электронный ресурс] : Информационный портал/ Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://tehinfor.ru/s_3/rezba.html. – Дата доступа: 16.01.2020.

420. Ismith [Электронный ресурс] : электроэрозия / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://ismith.ru/metalworking/elektroerozionnyj-standok/>. – Дата доступа: 17.01.2020.

421. Finval [Электронный ресурс] : Электроэрозионная обработка / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://finval.ru/about/articles/elektroerozionnaya-obrabotka-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya/>. – Дата доступа: 17.01.2020.

422. Wikimetall [Электронный ресурс] : Электрохимическая обработка / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/elektrohimicheskaya-obrabotka-metallov.html>. – Дата доступа: 17.01.2020.

423. Stankofinexpo [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://stankofinexpo.ru/tehnologiya/elektrohimicheskaya-razmernaya-obrabotka>. – Дата доступа : 17.01.2020.

424. МирПром [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа :

<http://mirprom.ru/public/sovremennye-plazmennye-tehnologii.html>. – Дата доступа : 17.01.2020.

425. Экспеоцентр [Электронный ресурс]: Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metobr-expo.ru/ru/ui/17016/>. – Дата доступа : 17.01.2020.

426. Plasmainfo [Электронный ресурс] : Технологии / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://plasmainfo.ru/technology/416/>. – Дата доступа : 17.01.2020.

427. Mirprom [Электронный ресурс] : Тенденции развития плазменной резки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.mirprom.ru/public/sovremennye-tendencii-tehnologiiy-plazmennoy-rezki.html>. – Дата доступа : 17.01.2020.

428. Booksite [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/126/201.htm>. – Дата доступа : 17.01.2020.

429. Мультиурок [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://engineeringssystems.ru/procesi-proizvodstva-chernih-i-cvetnih-metaliv-i-ih-splavov/elektronno-luchevaia-obrabotka.php>. – Дата доступа : 17.01.2020.

430. CCR [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_4_266_275.pdf. – Дата доступа : 17.01.2020.

431. Laseris [Электронный ресурс] : Рынок лазеров и лазерных техно-логий / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://laseris.ru/public/content/analytics/2018_04_26-statia_lazer_tehnologii4.pdf. – Дата доступа : 17.01.2020.

432. Мультиурок [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://multiurok.ru/files/svetoluchevaia-obrabotka-detalei-v-mashinostroenii.html>. – Дата доступа : 17.01.2020.

433. Экспеоцентр [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/tehnologiya-ultrazvukovoy-obrabotki-metallov/>. – Дата доступа : 18.01.2020.

434. ЭлектроТехИнфо [Электронный ресурс] : Информационная тор-говая система / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : http://www.eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini_1467.html. – Дата доступа : 18.01.2020.

435. Mirprom [Электронный ресурс] : Перспективы развития ультра-звуковой обработки / Сайт производителя. – Электрон. текстовые

данные – Режим доступа : <http://www.mirprom.ru/public/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-ultrazvukovoy-razmernoy-obrabotki.html>. – Дата доступа : 18.01.2020.

436. Промпортал [Электронный ресурс] : Промышленный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://xn--80awbhbdcf.eu.su/anodnohim/>. – Дата доступа : 18.01.2020.

437. FindPatent [Электронный ресурс] : Патентный поиск / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://findpatent.ru/patent/248/2489236.html>. – Дата доступа : 18.01.2020.

438. Studref [Электронный ресурс] : Информационный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studref.com/498240/tehnika/magnitno_abrazivnaya_obrabotka. – Дата доступа : 18.01.2020.

439. ProMetal [Электронный ресурс] : Инженерный сервис / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://prometal.by/portfolio/mat/>. – Дата доступа : 18.01.2020.

440. Studme [Электронный ресурс] : Информационный портал Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : https://studme.org/229492/tehnika/plazmenno_mehanicheskaya_obrabotka. – Дата доступа : 18.01.2020.

441. Exproclub [Электронный ресурс] : Международный выставочный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://exproclub.ru>. – Дата доступа : 21.01.2020.

442. Ruscable [Электронный ресурс] : Международный выставочный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.ruscable.ru>. – Дата доступа: 21.01.2020.

443. Allfairs [Электронный ресурс] : Международный выставочный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://allfairs.ru>. – Дата доступа: 21.01.2020.

444. Worldexpo [Электронный ресурс] : Международный выставочный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://worldexpo.pro/imtex-tooltech>. – Дата доступа: 21.01.2020.

445. Expo-Asia [Электронный ресурс] : Международный выставочный портал / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://expo-asia.ru/exhibitions/mwcs2019sh2>. – Дата доступа: 21.01.2020.

446. Выставки Беларуси [Электронный ресурс] : металлообработка / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://metalworking.minskexpo.com/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

447. Hannovermesse [Электронный ресурс] : Hannovermesse / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.hannovermesse.de/en/expo/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

448. Emo [Электронный ресурс] : Emo / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.emo-hannover.de/en/news/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

449. AMB [Электронный ресурс] : Messe-stuttgart / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.messe-stuttgart.de/amb/en/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

450. METAV [Электронный ресурс] : METAV / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metav.com/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

451. Технофорум [Электронный ресурс] : Экспоцентр / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.technoforum-expo.ru/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

452. Cmts [Электронный ресурс] : Cmts / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://cmts.ca/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

453. Imts [Электронный ресурс] : Imts / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.imts.com/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

454. Exromanufactura [Электронный ресурс] : Exromanufactur / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://exromanufactura.com.mx/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

455. Fabtech [Электронный ресурс] : Fabtechexpo / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.fabtechexpo.com/>. – Дата доступа: 21.01.2020.

456. Metalsteelegy [Электронный ресурс] : Metalsteelegy / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.metalsteelegy.com/>. – Дата доступа: 22.01.2020.

457. Jimtof [Электронный ресурс] : Металлообработка / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <http://www.jimtof.org/en/>. – Дата доступа: 22.01.2020.

458. Indian metal forming [Электронный ресурс] : Imtex / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.imtex.in/index.php>. – Дата доступа: 22.01.2020.

459. Mta [Электронный ресурс] : Mtaasia / Сайт производителя. – Электрон. текстовые данные. – Режим доступа : <https://www.mta-asia.com/>. – Дата доступа: 18.11.2019.

Учебное издание

**Беляков Николай Владимирович
Горохов Вадим Андреевич**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Корректор *Т.А. Осипова*
Редактор *Т.А. Осипова*
Компьютерная верстка *Н.В. Беляков*

Подписано к печати 06.01.2021. Формат 60х90 ¹/₁₆. Усл. печ. листов 40,0.
Уч.-изд. листов 51,5. Тираж 35 экз. Заказ № 10.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.