

А.Э. БУЕВИЧ, Т.В. БУЕВИЧ, В.В. ДРЮКОВ

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*КУРС ЛЕКЦИЙ*

Витебский государственный технологический университет

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Э. БУЕВИЧ, Т.В. БУЕВИЧ, В.В. ДРЮКОВ

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*КУРС ЛЕКЦИЙ*

для студентов специальности 1-36 08 01  
«Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового  
обслуживания»

Витебск  
2012

УДК 67.05  
ББК 30.81+37.2  
Б 90

Рецензент:

Новиков Ю.В., кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Автоматизация технологических процессов и производств».

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
УО «ВГТУ» 30 ноября 2012 года, протокол № 8.

**Б 90** Буевич, А. Э. Эксплуатация, ремонт и монтаж технологического  
оборудования : курс лекций / А. Э. Буевич, Т. В. Буевич, В. В. Дрюков. –  
Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – 117 с.

**ISBN 978-985-481-283-0**

Курс лекций предназначен для студентов специальности 1-36 08 01  
«Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового  
обслуживания» и включает материалы по темам, предусмотренным  
программой курса «Эксплуатация, ремонт и монтаж технологического  
оборудования».

УДК 67.05  
ББК 30.81+37.2

**ISBN 978-985-481-283-0**

© Буевич А.Э., Буевич Т.В., Дрюков В.В., 2012  
© УО «ВГТУ», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Основные понятия и термины о надежности и долговечности машин .....	6
2 Оценка технического состояния оборудования в процессе эксплуатации....	9
3 Организация ремонта оборудования.....	11
3.1 Индивидуальный метод ремонта.....	11
3.2 Стендовый метод ремонта.....	11
3.3 Узловой метод ремонта .....	11
4 Оценка эффективности при выборе метода ремонта и его организации ....	11
5 Система планово-предупредительного ремонта оборудования .....	13
5.1 Основные положения системы планово-предупредительного ремонта... 14	
5.2 Периодичность и сроки останова оборудования на планово-предупредительный ремонт.....	15
5.3 Расчет количества ремонтов и простоя оборудования.....	16
5.4 Обеспечение запасными деталями и частями .....	17
5.5 Межремонтное обслуживание.....	19
5.6 Текущий ремонт .....	19
5.7 Средний ремонт.....	20
5.8 Капитальный ремонт .....	21
6 Организация ремонтных работ.....	22
6.1 Организация управления ремонтной службой .....	23
6.2 Порядок сдачи оборудования в ремонт.....	24
6.3 Внеплановые работы, связанные с ликвидацией аварии.....	27
6.4 Инженерное обеспечение в ремонтном производстве.....	27
7 Основы проектирования ремонтно-механического цеха .....	27
8 Износ деталей оборудования, методы выявления дефектов деталей.....	30
8.1 Трение и износ деталей машин.....	30
8.2 Влияние смазки на трение и износ деталей .....	44
9 Смазочные материалы.....	45

9.1 Минеральные масла.....	45
9.2 Консистентные смазки .....	50
9.3 Водяная смазка.....	54
9.4 Воздушная смазка.....	54
9.5 Твердые смазки .....	55
9.6 Способы и системы смазки .....	56
9.7 Зарубежная классификация масел.....	61
10 Восстановление работоспособности деталей и узлов .....	62
10.1 Контроль качества восстановления .....	64
10.2 Классификация способов восстановления.....	65
10.3 Наплавка .....	71
10.4 Автоматическая наплавка под слоем флюса .....	72
10.5 Наплавка порошковой проволокой.....	73
10.6 Дуговая наплавка с газопламенной защитой.....	78
10.7 Контактная приварка ленты и проволоки.....	80
10.8 Электрошлаковая наплавка .....	81
10.9 Металлизация .....	82
10.10 Газопламенное нанесение порошковых материалов .....	85
11 Оборудование для струйной обработки .....	89
12 Гальванические покрытия .....	90
13 Применение пластмасс и клеев .....	100
14 Пластическая деформация.....	103
15 Паяные соединения .....	107
16 Упрочняюще-чистовая обработка деталей машин .....	110
ЛИТЕРАТУРА.....	116

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции в легкой промышленности требует правильной эксплуатации машин, механизмов и приспособлений. Даже при хорошем уходе за оборудованием износ деталей и сборочных единиц (узлов) машин постепенно и неизбежно возрастает, а это приводит к снижению точности работы и ухудшению качества выпускаемых изделий. Вопросы ремонта оборудования, повышения его технического уровня и эффективности, перехода от децентрализованного изготовления узлов, агрегатов и деталей к организации специализированного производства, значительного расширения централизованного ремонта заслуживают серьезного внимания.

Главными задачами, стоящими перед ремонтными службами, являются снижение стоимости ремонта оборудования, повышение его качества, внедрение современных методов и средств ремонта. После хорошо проведенного капитального ремонта начинается новая жизнь машины, и тогда приобретает большое значение организация ее технического обслуживания в течение межремонтного периода, которое должно соответствовать положению о системе планово-предупредительного ремонта технологического оборудования в производственных объединениях, на предприятиях швейной промышленности. При проведении капитальных ремонтов их надо по возможности сочетать с модернизацией оборудования путем конструктивных улучшений.

Сложность технического обслуживания и ремонта оборудования в легкой промышленности объясняется большим разнообразием его видов и конструкций. Слесари-ремонтники должны хорошо знать назначение и устройство различного оборудования, уметь определять признаки и причины износа деталей различных механизмов, владеть способами восстановления изношенных частей, использовать универсальные и специальные приспособления и устройства для механизации тяжелых и трудоемких ремонтных работ.

Следует отметить, что при ремонте на поиск неисправностей уходит от 20 до 50 % времени восстановления машин. Поэтому большого внимания заслуживает безразборный поиск неисправностей средствами технической диагностики, который исключает эти непроизводительные потери времени.

Использование технической диагностики облегчит эксплуатацию машин в оптимальных режимах, обеспечит экономию ресурсов, повысит безопасность труда так как с помощью диагностических средств можно в любой момент определить действительное состояние машины.

Существует еще одна проблема, связанная с резким (до 7000 – 9000 оборотов в минуту) увеличением частоты вращения главного вала машин. Изготовление такого оборудования требует повышения технологического уровня производства.

Оборудование предприятий легкой промышленности работает весьма интенсивно, при высоких коэффициентах загрузки и сменности. Чтобы снизить

интенсивность износа и восстановить поверхность деталей машин, необходима четкая организация ремонтных служб швейных предприятий. Низкое качество технического обслуживания и ремонтных работ снижает мощность предприятий, приводит к огромным малоэффективным затратам денежных средств и материалов.

Техническое состояние машины характеризуется совокупностью значений ее основных параметров. К ним относятся; производительность, качество выпускаемой продукции, потребляемая энергия, безотказность, экономный расход сырья, точность работы механизмов и узлов, их износостойкость, прочность и др. Каждый из этих параметров в ходе эксплуатации должен находиться в пределах, указанных в технической документации на машину (паспорт, технические условия и требования, стандарты и др.).

В процессе длительной эксплуатации машины ее параметры постепенно ухудшаются, главным образом из-за износа, остаточных деформаций, поломок и коррозии деталей, узлов и механизмов. Машина, техническое состояние которой заметно ухудшилось, подлежит ремонту с целью восстановления ее функций. Безотказная длительная работа машины обеспечивается, прежде всего, надежностью и долговечностью ее деталей, узлов и механизмов.

## **1 Основные понятия и термины о надежности и долговечности машин**

Каждая новая швейная машина или другое технологическое оборудование имеет показатели работоспособности, надежности и долговечности, которыми характеризуется ее качество (ГОСТ 13377–75). ГОСТ 27.00283 определяет термины надежности, основные из которых приведены ниже.

Работоспособность – такое состояние оборудования, при котором оно может работать с показателями, отвечающими требованиям технических условий (ТУ). К таким показателям можно отнести, например, мощность, частоту вращения главного вала, производительность, показатели качества, расход топлива и смазки и др., т. е. состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации.

Неисправной считается та машина, которая не соответствует хотя бы одному требованию ТУ. Однако не всякая неисправность вызывает потерю работоспособности. Например, если у швейной машины повреждена окраска и помят ограждающий кожух, то она считается неисправной, но остается работоспособной, так как все ее эксплуатационные показатели (частота вращения главного вала, толщина стачиваемых материалов, качество строчки и др.) продолжают отвечать требованиям ТУ.

Исправность (или неисправность) машины является более широким понятием, чем работоспособность (или неработоспособность). Если неисправность вызывает нарушение работоспособности, то это означает, что возник отказ.

Отказ это явление, при котором полностью или частично утрачивается

работоспособность машины или механизма, т. е. событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Это признак или совокупность признаков неработоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и конструкторской документации.

Наработка, продолжительность или объем работы объекта. Объект может работать непрерывно (за исключением вынужденных перерывов, обусловленных возникновением отказа и ремонтом) или с перерывами, не обусловленными изменением технического состояния объекта. Различают непрерывную и суммарную наработку. Измеряют наработку в единицах времени или объема выполненной работы (например, в килограммах пряжи и т. п.). Нарработку объекта наблюдают от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа, а для восстанавливаемых объектов также между отказами, т. е. наработку объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа. Нарработка машины (механизма) до определенного состояния, определяемого ТУ, называется ресурсом.

Надежность есть свойство объекта (машины, механизма, узла, детали) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения, транспортирования.

Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств (долговечность, ремонтпригодность и др.).

Безотказность – свойство машин и механизмов сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов.

Долговечность – свойство машин и механизмов сохранять работоспособность до определенного состояния с небольшими перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации машины из-за разрушения или полного износа.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов и представляет собой совокупность технологичности при техническом обслуживании и ремонтной технологичности объекта. Показателями ремонтпригодности могут служить, например, среднее время восстановления, вероятность выполнения ремонта в заданное время, средняя стоимость технического обслуживания.

Сохраняемость – способность машин и механизмов сохранять обусловленные ТУ эксплуатационные свойства в процессе хранения и транспортировки и после них. Показателем сохраняемости может служить

средний срок сохранности.

Надежность швейного оборудования определяется как частичными мелкими (текущими) отказами, так и полными, возникающими из-за износа деталей. Одним из элементов технического обслуживания швейного оборудования является устранение частичных мелких отказов. Полные отказы приводят к неработоспособности машины и вызывают необходимость проведения капитального ремонта.

Внезапные отказы в виде поломок деталей из-за недостаточной прочности, скрытых пороков в металле встречаются очень редко, особенно в новых швейных машинах и полуавтоматах. Первые отказы новых швейных машин и полуавтоматов, поступивших в эксплуатацию, характеризуют качество их конструкции и технологии изготовления. Отказы, возникшие в период после технического обслуживания до момента поступления машины в капитальный ремонт, позволяют судить о качестве технического обслуживания.

Долговечность – свойство объекта сохранить работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Технический ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и конструкторской документации.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Признаки (критерии) предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект.

Наработка, продолжительность или объем работы объекта. Объект может работать непрерывно (за исключением вынужденных перерывов, обусловленных возникновением отказа и ремонтом) или с перерывами, не обусловленными изменением технического состояния объекта. Различают непрерывную и суммарную наработку. Измеряют наработку в единицах времени или объема выполненной работы (например, в килограммах пряжи и т. п.). Нарработку объекта наблюдают от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа, а для восстанавливаемых объектов также между отказами, т. е. наработку объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Важными показателями надежности объекта (машины) являются: коэффициент ее готовности ( $K_2$ ) и коэффициент технического использования ( $K_{т.и}$ ). Коэффициент готовности характеризует вероятность того, что машина

находится в работоспособном состоянии в произвольный момент в промежутках между плановыми процессами восстановления, и определяется по формуле

$$\hat{E}_{\bar{a}} = \bar{O} / (\bar{O} + \bar{O}_{\bar{a}}),$$

где  $T$  – время исправной работы;  $T_{\bar{e}}$  – время восстановления.

Коэффициент технического использования показывает долю, которую составляет время безотказной работы машины от суммарного времени, расходуемого на исправную работу, процессы восстановления и профилактики ( $T_n$ ), вызванные одним отказом:

$$\hat{E}_{\bar{o}, \bar{e}} = \bar{O} / (\bar{O} + \bar{O}_{\bar{a}} + \bar{O}_{\bar{i}})$$

Коэффициент  $K_{m.u}$  численно характеризует вероятность того, что в данный момент времени машина работает, а не находится в ремонте. Чем выше значения этих показателей, тем выше оценивается надежность объекта, и наоборот.

## 2 Оценка технического состояния оборудования в процессе эксплуатации

Техническое состояние объекта (машины, механизма или узла) оценивают количественными значениями структурных параметров. Структурные параметры – это физические величины, характеризующие, например: геометрические размеры (линейные, площади, объемы), механические (давление, частота вращения, амплитуда колебаний, усилие затяжки), акустические (уровень шума), термические (теплота трения, температура), электрические (ток, напряжение, мощность).

Структурные параметры бывают (рис. 1): номинальные ( $S_0$ ), допустимые ( $S_d$ ) и предельные ( $S_{pr}$ ).

Номинальное значение структурного параметра, являясь начальным, соответствует параметру нового изделия (объекта). Допустимое значение структурного параметра является границей неисправности. При допустимом значении параметра объект считается неисправным, хотя он еще работоспособен и может работать до очередного ремонта, но с пониженными эксплуатационными свойствами. Остальные состояния объекта (I, II, III) ясны из рисунка.

Предельное значение структурного параметра соответствует такому снижению эксплуатационных свойств объекта, при котором дальнейшая эксплуатация машины технически и экономически недопустима (нецелесообразна), а также случаю, когда машина становится неработоспособной из-за отказа одного или нескольких ее элементов (деталей).

Отказы могут возникать постепенно или внезапно. Например, постепенные отказы чаще всего возникают вследствие износа трущихся деталей, а внезапные из-за постепенного накопления в деталях усталостных микротрещин.

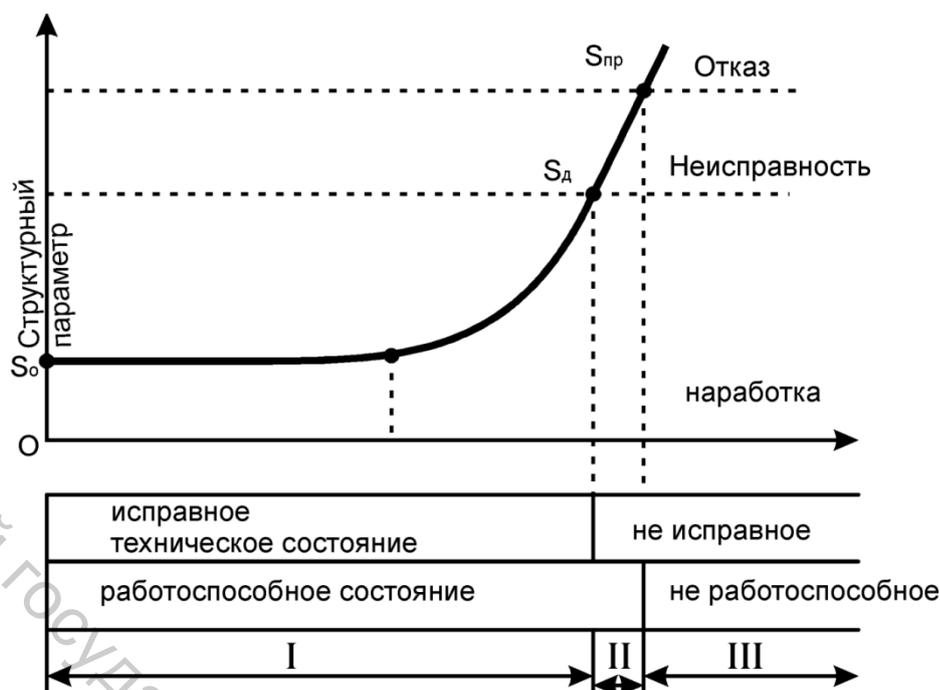


Рисунок 1 – Изменение структурного параметра в зависимости от наработки

В таблице 1 приведены причины и характер типичных отказов деталей и узлов общего назначения, используемых в машинах.

Таблица 1

Детали и узлы	Причины и характер постепенного отказа	Причины и характер внезапного отказа
Валы	Износ трущихся поверхностей цапф и шеек; прогиб	Поломка от усталости или перегрузки
Подшипники скольжения	Износ трущихся поверхностей	Смятие и выкрашивание; выплавление антифрикционного сплава схватывание
Подшипники качения	Износ рабочих поверхностей колец, шариков или роликов	Заклинивание шариков; поломки колец, шариков и сепараторов
Шестерни Шлицы и шпонки	Износ и смятие зубьев; выкрашивание, износ и смятие рабочих поверхностей	Поломка зубьев; заедание; поломка
Резьбовое соединение	Ослабление затяжки	Срыв резьбы; обрыв болтов
Трубопроводы, маслопроводы и шланги	Засорение, смятие	Закупорка, обрыв

Производя внешний осмотр машины, устанавливают: степень загрязнения отдельных деталей и узлов, правильность положения деталей.

### **3 Организация ремонта оборудования**

Выбор метода ремонта технологического оборудования осуществляется исходя из условий предприятия на основании рекомендаций по определению экономической эффективности методов ремонта технологического оборудования.

Для машин и оборудования применяются индивидуальный, стендовый, узловой и секционный ремонты.

#### **3.1 Индивидуальный метод ремонта**

Индивидуальный ремонт осуществляется в цехе основного производства. Разборку машины на узлы, узлов на детали, сборку, пригонку и пусконаладочные работы осуществляет одна и та же бригада ремонтно-механического цеха. Индивидуальный ремонт является самым продолжительным по времени. Единичный характер ремонта, выполняемого в условиях цеха основного производства, препятствует специализации рабочих кадров и механизации ремонтных работ. Целесообразен индивидуальный ремонт только для особо сложного крупногабаритного оборудования, имеющегося на предприятии в одном или нескольких экземплярах.

#### **3.2 Стендовый метод ремонта**

Стендовый ремонт осуществляется на стенде или специальной площадке. Рабочие места слесарей-ремонтников оснащаются соответствующим оборудованием, приборами, устройствами, обеспечивающими качественное выполнение работ с минимальными затратами времени и труда. На стендах осуществляется наладка и обкатка отремонтированных машин. Эффективность стендового ремонта обусловлена:

- сокращением простоев оборудования на рабочих мест из-за ремонта;
- улучшением качества выполняемых ремонтных работ; сокращением затрат труда на ремонт; сокращением себестоимости ремонта.

#### **3.3 Узловой метод ремонта**

Узловой ремонт делится на два самостоятельных комплекса, выполняемых относительно самостоятельными ремонтными подразделениями.

Первый комплекс, разборка машины на узлы и сборка ее из узлов, пусконаладочные работы, выполняется бригадой слесарей-ремонтников.

Второй комплекс, разборка ремонтных узлов на детали, их чистка, мойка, дефектовка, реставрация, сборка узлов, подгонка, контроль и обкатка, выполняется в специализированных мастерских узлового ремонта.

### **4 Оценка эффективности при выборе метода ремонта и его организации**

При внедрении стендового и узлового методов ремонта возможно введение единого ремонта, вследствие чего изменяется периодичность ремонта и нормативы трудоемкости и себестоимости ремонтных работ. Эффективность

узлового ремонта обуславливается теми же факторами, что и эффективность стендового ремонта.

Секционный ремонт применяется для крупногабаритного, сложного, состоящего из нескольких агрегатов оборудования, длительный останов которого по производственным причинам недопустим. При этом методе поочередно, используя нерабочие дни и смены, ремонтируют отдельные секции. Полный ремонт оборудования осуществляется длительное время, но без остановки и нарушения нормального ритма работы предприятия.

При рассмотренных методах ремонта слесари-ремонтники заняты только плановым ремонтом оборудования и практически оторваны от технического обслуживания и эксплуатации непосредственно в цехах, что не способствует их ответственности и заинтересованности за результат работы оборудования в период между ремонтами.

Недостатки традиционной организации труда при ремонте привели к созданию прогрессивной системы комплексного обслуживания и ремонта. Сущность системы состоит в передаче всего объема работ по ремонтному обслуживанию оборудования службе главного механика, а рабочие по межремонтному обслуживанию из производственных цехов передаются в ремонтные цехи (РМЦ). Производственные цехи полностью освобождаются от работ, связанных с ремонтом оборудования.

Для выполнения всех работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования в производственных цехах и службах механика и энергетика применяется бригадная и индивидуальная организация труда.

Количество создаваемых бригад в сфере технического обслуживания и ремонта оборудования и их численный состав зависят от объемов работ подфункциям технического обслуживания и ремонта.

Для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования на предприятиях рекомендуется создавать бригады комплексными или в зависимости от особенностей производства специализированными.

При любой форме организации бригад и независимо от их численного состава внутри бригады должна осуществляться специализация рабочих при одновременном соблюдении принципов взаимозаменяемости и совмещения профессий. Совмещение профессий в таких бригадах позволяет лучше маневрировать трудовыми ресурсами, уменьшает монотонность труда, повышает его производительность.

Численный, профессиональный и квалификационный состав бригады определяется исходя из количества закрепленного за ней оборудования, объемов и сложности работ по техническому обслуживанию и ремонту, нормативных документов по труду.

Индивидуальная организация труда применяется в случаях:

- когда рабочий обслуживает несколько самостоятельных бригад и не может быть включен в одну из них (например, рабочий, обслуживающий деталемоечную машину, сварщик, маляр ремонтно-механического отдела и др.,

при наличии в ремонтно-механическом отделе нескольких ремонтных бригад);

- когда объем выполняемых функций обеспечивает загрузку нескольких (или одного) специализированных рабочих (например, смазчик оборудования, шорник), а объединение в одной бригаде рабочих, выполняющих технологически разнородные операции, нецелесообразно;
- при выполнении особо сложных и особо точных работ, требующих персональной ответственности рабочего за их качество;
- и других случаях, когда бригадная организация труда по той или иной причине не может быть введена.

Совершенствованием организации ремонта является его индустриализация. Индустриализация ремонта возможна на базе его специализации, типизации и централизации.

Различают внутрипроизводственную, отраслевую и межотраслевую централизацию и специализацию ремонта машин.

Для организации внутрипроизводственной и отраслевой централизации и специализации ремонтных работ необходимо централизовать в отделах главного механика техническое руководство ремонтом.

Высшей формой централизации ремонта являются ремонты, проводимые предприятием-изготовителем, когда выполнение всех видов ремонта и технического обслуживания оборудования принимает на себя изготовитель оборудования.

## **5 Система планово-предупредительного ремонта оборудования**

Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии нужен систематический надзор и уход за ним, своевременный и качественный ремонт. Эти мероприятия должны не только восстанавливать первоначальную производительность машин, но и обеспечивать их длительную и бесперебойную работу, предупреждать преждевременный износ оборудования.

В легкой промышленности система планово-предупредительного ремонта (ППР) охватывает круг мероприятий, направленных на поддержание оборудования в рабочем состоянии. Система планово-предупредительного ремонта – это совокупность организационных и технических мероприятий предупредительного характера, направленных на поддержание оборудования в постоянной исправности при минимальных затратах времени и средств. Система ППР предусматривает:

- надзор и уход за оборудованием;
- периодические осмотры и проверку технического состояния оборудования;
- периодические ремонты (текущий, средний и капитальный).

Всем ремонтам предшествует период межремонтного обслуживания, основная задача которого – обеспечить квалифицированную эксплуатацию оборудования между ремонтами и повседневно контролировать соблюдение правил технической эксплуатации, одним из основных элементов которой

является надзор за оборудованием. Он состоит в систематическом наблюдении, уходе, в соблюдении правильного режима работы, в контроле за качеством ремонта, в выявлении причин аварий, в предупреждении простоев оборудования.

### **5.1 Основные положения системы планово-предупредительного ремонта**

Система ППР предусматривает:

- Проведение подготовительных работ к планово-предупредительному ремонту.
- Периодичность и сроки останова оборудования на ППР.
- Расчет количества ремонтов и простоя оборудования.

Система ППР включает следующие виды ремонтов:

Текущий ремонт и наладку машин, т. е. устранение отдельных неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации машин и мешающих нормальной работе.

Средний ремонт, т. е. выполнение всех работ текущего ремонта, а также замену отдельных деталей и узлов машины.

Капитальный ремонт, т. е. ремонт всех узлов, полную разборку, очистку, промывку и смазку.

Для правильной организации ППР необходима ремонтная база, которая обеспечивала бы все виды ремонта. В нее должны входить:

- слесарно-механический, трубопроводно-котельно-сварочный, кузнечно-термический, санитарно-технический, гальванический, антикоррозионный, электроремонтный и другие цеха;
- ремонтные мастерские (в основных технологических цехах); смазочное хозяйство с установкой для регенерации масел. База должна иметь хорошо разработанные инструктивные и нормативные материалы:
- инвентарные карты и паспорта на оборудование;
- альбомы чертежей и технические условия на изготовление деталей;
- типовые технологические карты на ремонт оборудования;
- установленные сроки и периодичность останова оборудования на ремонт;
- типовые нормы времени и расценки на ремонтные работы для оборудования каждого типа;
- нормы хранения и расхода быстроизнашивающихся деталей;
- инструкции по уходу за оборудованием, осмотру и проведению ремонтов и др.;
- сметы на ремонт оборудования.

Инвентарная карта оборудования содержит описание машины (по типу и количеству единиц) с краткой технической характеристикой и указанием завода-изготовителя, в ней указаны габарит оборудования, масса и другие данные. Инвентарная карта необходима для учета оборудования, ведущегося бухгалтерией, а также для технических расчетов, проводимых техническим и производственным отделами, отделами главного механика (ОГМ) и главного

энергетика (ОГЭ) и др.

Паспорт на оборудование составляют отдельно на каждую единицу оборудования. Он содержит полную техническую характеристику машин, т. е.:

- описание машины с чертежом общего вида и разрезами; кинематическую схему машины и ее описание;
- габаритный чертеж машины;
- схему и описание расположения опор; технологический расчет машины;
- схему смазки машины и нормы расхода масел; отдельные листы для записей.

Паспорт на оборудование облегчает инженерно-техническим работникам и рабочим правильно разобраться в устройстве оборудования.

Альбом чертежей и технические условия на изготовление деталей составляют для того, чтобы по ним изготовить достаточное для проведения ППР количество сменных деталей. В рабочих чертежах указывают особенности изготовления и обработки деталей; среду, в которой будет работать деталь и условия приемки.

Номенклатуру и расходные нормы быстроизнашивающихся деталей определяют опытным путем и проверяют по фактическому расходу деталей.

Типовые технологические карты на ремонт оборудования составляют для каждого вида ремонта (среднего и капитального), и они должны содержать основные требования, предъявляемые к ремонту:

- последовательность операций;
- перечень основных ремонтных работ вместе с разборкой и сборкой оборудования;
- указания по проведению ремонта, испытаниям и ревизиям;
- правила приемки оборудования из ремонта;
- перечень деталей и узлов, подлежащих замене;
- допуски на точность сборки основных узлов;
- наименование и количество материала, потребного для ремонта;
- перечень мероприятий по борьбе с коррозией оборудования;
- способы проверки качества выполнения ремонта.

В типовых технологических картах также указывают: время, необходимое для выполнения работ; состав и квалификацию членов бригады; инструмент, приспособления и оснастку, используемые в процессе ремонта.

### ***5.2 Периодичность и сроки останова оборудования на планово-предупредительный ремонт***

Система ППР предусматривает применительно к различным видам оборудования и условиям эксплуатации разную продолжительность ремонтных циклов, межремонтных и межосмотровых периодов.

Межремонтным циклом называют период работы оборудования (без простоев) между ремонтами. Например, для вновь установленного оборудования межремонтным циклом является период работы от начала ввода

его в эксплуатацию до первого капитального ремонта, для оборудования, находящегося в эксплуатации – период работы между двумя капитальными ремонтами. Длительность межремонтного цикла не является постоянной и может изменяться в зависимости от общего отработанного времени, количества проведенных ремонтов, условий эксплуатации и состояния оборудования.

В промежутке между двумя капитальными ремонтами проводят средний и текущий ремонты оборудования, каждому из них должно предшествовать межремонтное обслуживание.

Чередование этих видов ремонта и межремонтного обслуживания в определенной последовательности и через определенные промежутки времени называют структурой межремонтного цикла. Время между двумя очередными ремонтами данного вида называют периодичностью ремонта или межремонтным периодом. Структура межремонтного цикла зависит от условий работы оборудования и его конструктивных особенностей. Правильное определение периодичности ремонтов, межремонтных циклов и его структуры для каждого вида оборудования имеет большое технико-экономическое значение, так как этим определяются затраты на ремонтные работы, длительность простоев оборудования в ремонте и степень использования оборудования в работе.

Для планирования работы технологического оборудования, а также для составления графиков на ремонт оборудования необходимо правильно определить простой оборудования в ремонте, так как это существенно отражается на производительности.

### **5.3 Расчет количества ремонтов и простоя оборудования**

Для определения количества ремонтов на планируемый год надо установить календарное время работы оборудования и коэффициент использования оборудования по календарному времени.

Коэффициент использования оборудования по календарному времени определяют из соотношения

$$\hat{E}_a = \dot{O}_o / \dot{O}_e,$$

где  $T_\phi$  – фактическое время работы оборудования в часах;

$T_k$  – календарное время работы оборудования в часах за год.

Принимаем  $T_k = 8760$  ч.

Количество ремонтов в год по каждому виду ремонта и типу оборудования определяется:

для капитального ремонта по формуле:

$$\hat{E}_i = \frac{\hat{E}_a (\hat{A}_e + 8760)}{\dot{I}_o};$$

для капитального ремонта по формуле:

$$\tilde{N}_i = \frac{\hat{E}_a (\hat{A}_{\tilde{n}} + 8760)}{\dot{I}_{\tilde{n}}} - \hat{E}_i;$$

для текущего ремонта по формуле:

$$\dot{O}_i = \frac{\hat{E}_a (\hat{A}_\delta + 8760)}{\hat{I}_\delta} - (\hat{E}_i + \tilde{N}_i),$$

где  $K_g$  – коэффициент планируемого использования оборудования по календарному времени;

$B_k$  – длительность работы оборудования от даты последнего планового капитально ремонта для действующего оборудования или от даты ввода его в эксплуатацию, для нового оборудования до начала эксплуатации, ч;

$B_c$  – длительность работы оборудования от даты последнего планового среднего ремонта до начала планируемого года, ч;

$B_m$  – длительность работы оборудования от даты последнего планового текущего ремонта до начала планируемого года, ч;

$M_u$  – длительность межремонтного цикла, ч;

$M_c$  – длительность межремонтного периода среднего ремонта, ч;

$M_m$  – длительность межремонтного периода текущего ремонта, ч.

Длительность простоя машин в ремонте исчисляется с момента останова их для ремонта до момента сдачи в эксплуатацию. Она зависит от объема работ, т. е. от трудоемкости ремонта (выраженной в человеко-часах), состава ремонтной бригады, сменности при выполнении ремонта, метода проведения ремонта (узлового, стендового и др.), а также от организации ППР.

Следует различать длительность собственно ремонта, т. е. время, в течение которого ремонтная бригада занята ремонтом машины, и общий простой машины, т. е. время, затраченное на чистку, ремонт и сдачу. При правильной организации ремонта оборудования и ухода за ним межремонтный период увеличивается, а продолжительность ремонта и, следовательно, простой сокращается.

#### **5.4 Обеспечение запасными деталями и частями**

Своевременная заготовка быстроизнашивающихся деталей и узлов обеспечивает сокращение простоя оборудования в ремонте. Заготовка деталей осуществляется в соответствии с утвержденными нормами расхода быстроизнашивающихся деталей, а также с устанавливаемыми на материально-техническое снабжение нормами на оборотные средства. При хорошо организованном надзоре, уходе и ремонте оборудования запас сменных деталей может быть небольшим.

Для правильной организации парка запасных частей и установления требуемого запаса материалов для ремонта необходимо разработать:

1. Номенклатуру запасных частей, в которую включаются:

- быстроизнашивающиеся детали со сроком службы до 6 месяцев;
- детали со сроком службы, превышающим 6 месяцев;
- трудоемкие и крупные детали, требующие длительных сроков изготовления;
- все сменные детали (независимо от срока их службы) для уникального и

особо ответственного оборудования.

2. Номенклатуру материалов, необходимых для ремонта оборудования.

3. Норму хранения и расхода запасных деталей.

При определении количества запасных деталей необходимо использовать графики ремонтов, типовые технологические карты ремонтов, нормы расхода и хранения запасных деталей, ведомости учета дефектов и отчетные данные по расходу сменных деталей.

Норма запаса деталей подсчитывается по формуле:

$$D = \frac{\hat{I} \cdot \hat{I} \cdot \zeta \cdot \hat{E}}{\hat{O}},$$

где  $P$  – норма запаса (количества) деталей одного наименования;

$O$  – количество одинаковых деталей в машине;

$P$  – количество оборудования одного типа;

$Z$  – запас в месяцах (принимается от 3 до 6 месяцев);

$K$  – коэффициент понижения количества запасных частей в зависимости от установленного количества их на всех машинах по данной группе;

$T$  – срок службы запасных частей в месяцах.

Коэффициент  $K$ , в зависимости от количества одинаковых деталей в машинах однотипного оборудования, определяют по данным представленным в таблице 2.

Таблица 2

Одинаковые детали	5 – 10	20	30	40	55	70	80	100	125
к	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3

Во избежание излишнего накопления запасных деталей следует систематически проверять движение их на складе и в мастерских и в случае необходимости вносить коррективы в нормы хранения. На основании норм расхода деталей, заявок, поступающих из цехов, на детали для всех видов ремонта определяется общая годовая потребность в деталях и материалах. Часть деталей, снятых во время ремонта и пригодных к работе после восстановления, направляется в цеховые ремонтно-механические мастерские для несложной реставрации (проточки, выправки или расточки и др.), а большая доля изношенных деталей для проведения полного ремонта направляется в ремонтно-механический цех.

При определении количества деталей, подлежащих реставрации, необходимо исходить из технико-экономических показателей стоимости реставрации. Новые детали изготавливают в ремонтно-механическом цехе. Количество деталей, которое может изготовить этот цех, зависит от оснащенности его металлорежущим и другим оборудованием. План изготовления новых деталей в ремонтно-механическом цехе составляют на год. За 15 дней до начала месяца месячный план корректируют.

### **5.5 Межремонтное обслуживание**

Производительное использование оборудования возможно лишь при правильной его эксплуатации и бережном отношении к нему обслуживающего персонала, поэтому неотъемлемой частью межремонтного обслуживания оборудования являются организация квалифицированной эксплуатации его между ремонтами и повседневный контроль за соблюдением правил технической эксплуатации оборудования, транспортных средств и коммуникаций.

Межремонтное обслуживание оборудования осуществляется силами цехового механика совместно с обслуживающим персоналом цеха.

Для межремонтного обслуживания необходимо:

- обучить рабочих правилам технической эксплуатации;
- обеспечить обслуживающий персонал правилами и инструкциями по уходу за оборудованием;
- обеспечить рабочих необходимым набором инструментов, смазочных и обтирочных материалов;
- иметь на каждом рабочем месте инструкции по обслуживанию агрегатов и отдельных видов оборудования, из которого состоят агрегаты;
- обеспечить правильный учет работы оборудования и остановов его на ремонт с внесением всех установленных показателей в паспортную документацию.

В межремонтное обслуживание оборудования входят: смазка, обтирка, чистка, регулярный наружный осмотр оборудования; выявление наружных дефектов; проверка работы предохранительных устройств, трущихся частей и состояния масляных и охлаждающих систем, наличия и исправности ограждающих устройств; наблюдение за работой контрольно-измерительных приборов и автоматических устройств, за натяжением и состоянием ремней, тросов и цепей (особенно мест их соединения и крепления), а также за состоянием и подтяжкой ослабших болтовых, шпоночных, клиновых соединений и крепежных деталей; проверка действия тормозов и приспособлений для моментальной аварийной остановки машин. Межремонтным обслуживанием предусматривается обязательная, правильно организованная передача оборудования по сменам (сменными мастерами, бригадирами, машинистами, аппаратчиками, дежурными слесарями). Принимая оборудование, сменный мастер, бригадир, машинист, аппаратчик, дежурный слесарь лично проверяют состояние оборудования. Все замеченные неисправности в работе оборудования фиксируют в журналах приемки и сдачи смен и немедленно устраняют.

### **5.6 Текущий ремонт**

Оборудование, работающее в непрерывном цикле, останавливают для проведения текущего ремонта в установленные графиком сроки; работающее периодически, как правило, в нерабочую смену. При текущем ремонте

производят разборку отдельных узлов оборудования; тщательно проверяют состояние и действие крепежных деталей, особенно несущих переменную нагрузку (болтов, муфт, шпилек); регулируемых деталей (клиньев, затяжных втулок, подшипников), при этом проверяют зазоры в них, состояние масляной и охлаждающей систем, маслопроводов, масляных ванн и трансмиссий, зубчатых зацеплений, приводных ремней и цепей, фрикционов, сальников, различных уплотнений, трубопроводной арматуры, а также состояние изоляции и поверхностей, подверженных коррозии.

Обнаруженные во время ремонта дефекты немедленно устраняют, при этом выполняют следующие основные работы: замену мелких, быстроизнашивающихся деталей; зачистку поверхностей трущихся деталей от забоин и задиров; регулировку зазоров; притирку кранов, клапанов и смену их; замену набивок сальников и прокладок в трубопроводах; подтяжку крепежных деталей; проверку на точность, чистку трубопроводов.

На текущий ремонт составляют дефектную ведомость и график ремонта. Оборудование после текущего ремонта принимает начальник цеха, о чем делается отметка в журнале приемки и сдачи смен. Результаты проверки заносят в ремонтный журнал или прилагают к нему в виде отдельного документа.

### **5.7 Средний ремонт**

Средний ремонт производят, как правило, на месте установки агрегата, аппарата, машины. Его разрешается начинать только при наличии всех требующихся для замены частей и деталей, а также необходимых для ремонта материалов. В примерный перечень основных работ, выполняемых при среднем ремонте, входят:

- ремонт отдельных узлов с полной заменой их или с заменой части деталей, замена валов, цапф, крышек, цилиндров и их шлифовка и др.;
- перезаливка подшипников;
- замена тормозных лент, тросов, цепей; замена прокладок, гарнитуры, арматуры, труб, уплотнений и крепежных деталей; проточка клапанов с последующей притиркой их, замена поршневых колец; ремонт футеровок и антикоррозионных покрытий с частичной заменой;
- освидетельствование аппаратуры, работающей под давлением, и сдача ее инспекции Госгортехнадзора (производится в сроки, установленные инспекцией);
- исправление или замена износившейся арматуры и трубопроводов, регулировка предохранительных клапанов, ремонт прочей вспомогательной аппаратуры.

На средний ремонт составляют дефектную ведомость с приложением необходимых чертежей и графика ремонта, а на средний ремонт с периодичностью свыше одного года составляют также смету расходов, которую утверждает руководитель предприятия. Средний ремонт оборудования производит ремонтный персонал службы главного механика, подрядная

организация с привлечением цехового ремонтного персонала. Основное оборудование принимает из среднего ремонта начальник цеха, о чем составляется акт.

### **5.8 Капитальный ремонт**

Капитальный ремонт может производиться на месте установки оборудования или вне производственного цеха (со снятием его для ремонта). При капитальном ремонте производят полную разборку машины или аппарата, замену деталей и узлов и проверку работы всех механизмов с последующей сборкой. При капитальном ремонте оборудования, как правило, восстанавливают его первоначальную точность, мощность и производительность. В объем капитального ремонта входят:

- замена всех изношенных деталей и узлов или исправление их с доведением размеров до монтажных допусков;
- проверка осей, станин, заделка выработанных мест, обработка рабочих плоскостей, замена отдельных узлов; тщательная выверка и центровка машины; выверка (в случае необходимости) шин, станины или рамы под машиной или перезаливка их бетоном;
- замена футеровок, восстановление защитных покрытий;
- модернизация агрегата с учетом унификации запасных деталей.

На капитальный ремонт оборудования составляют дефектную ведомость и смету расходов с приложением необходимых чертежей, а также разрабатывают план организации работ с учетом нормативов длительности ремонта. Дефектную ведомость утверждает главный механик, а смету и план ремонта – руководитель предприятия. На подготовку и проведение капитального ремонта наиболее сложных машин и агрегатов рекомендуется составлять сетевые графики. Останов оборудования на капитальный ремонт допускается лишь при полном обеспечении ремонтных органов материалами, запасными частями и рабочей силой.

Капитально отремонтированное оборудование испытывается вхолостую, под нагрузкой и принимается в рабочем состоянии технической комиссией, назначенной руководителем предприятия, а на ведущее оборудование, определяющее программу цеха, завода – комиссией в составе главного механика предприятия, начальника и механика цеха, а также лица, ответственного за проведение ремонта. Акт приемки на ведущее оборудование утверждается главным инженером предприятия. Акт должен храниться в паспорте оборудования.

При проведении капитального ремонта, связанного с модернизацией оборудования, необходимо предварительно подготовить техническую документацию. Проекты модернизации основного технологического оборудования утверждает главный инженер предприятия. При капитальном ремонте для сокращения сроков его проведения желательно применять метод узлового ремонта. Для этого необходимо заблаговременно подготовить резервное оборудование или отдельные сменные узлы, наиболее трудоемкие в

ремонте.

Капитальный, а также средний ремонт (с периодичностью свыше одного года) крупного технологического оборудования рекомендуется производить по отдельным частям с обязательным производством одного ремонта каждой такой части в пределах межремонтного цикла. При этом суммарное время простоя при ремонте расчлененным методом не должно быть более предусмотренного нормативами. Капитальный ремонт основного технологического оборудования должен приурочиваться к целодневным простоям цеха, предприятия или к остановам, связанным с реконструкцией технологического потока или с капитальным ремонтом здания, в котором установлено оборудование. В отдельных случаях по согласованию с главным механиком предприятия средний и капитальный ремонты производят силами цехового ремонтного и обслуживающего персонала.

## **6 Организация ремонтных работ**

Форма организации ремонта может быть централизованной, децентрализованной и смешанной.

Наиболее экономична централизованная форма, предусматривающая проведение всех видов ремонтов силами отдела главного механика. Она позволяет успешно внедрять передовые методы ремонта, сосредоточивать квалифицированные кадры и материально-технические ресурсы под единым руководством и обеспечивать их лучшее использование.

Децентрализованная система предусматривает проведение всех видов ремонтов силами и средствами цеховых ремонтных баз под руководством цеховых механиков; отдел главного механика и главный механик осуществляют общее руководство работой, планирование и техническую подготовку.

Смешанная форма предусматривает проведение текущего и среднего ремонтов силами специализированных бригад, а капитального ремонта и модернизации – ремонтным персоналом отдела главного механика.

Подготовка оборудования к ремонту состоит в том, что оборудование перед сдачей в ремонт должно быть очищено от грязи и шлама, промыто и отключено от коммуникаций. Оборудование, связанное с производством взрыво- и пожароопасных, агрессивных или вредных для здоровья людей веществ, передается в ремонт обязательно нейтрализованным, пропаренным, провентилированным и отключенным от системы с помощью специальных заглушек. Указанные работы проводятся силами цеха-заказчика.

Подготовленное к ремонту оборудование руководитель ремонтных работ принимает от начальника цеха по акту. До начала ремонтных работ должно быть проверено отключение всех механизмов во избежание случайного включения оборудования в работу и должны быть вывешены щитки с предупредительными надписями.

В соответствии с характером ремонтируемого оборудования особое внимание должно быть уделено вопросам безопасного ведения ремонтных

работ (обеспечение рабочих мест проверенным грузоподъемным оборудованием, низковольтными или взрывобезопасными переносными лампами, неискрящим инструментом, изолирующими шланговыми противогазами, переносными вентиляторами, средствами пожаротушения), а также должен быть проведен инструктаж по технике безопасности. В случаях, когда оборудование вышло из строя вследствие аварии и направлено на ремонт, при сдаче его в ремонт предъявляют аварийный акт.

Приемка оборудования после капитального (среднего) ремонта производится по акту. Заполненные ремонтные журналы, акты приемки оборудования из ремонта и прочие документы на вновь установленные детали, а также на материалы, из которых они изготовлены, описание и техдокументация на произведенные конструктивные изменения оборудования, протоколы, журналы испытаний и технологической проверки оборудования прилагаются к паспортам оборудования или к акту приемки оборудования из ремонта.

### ***6.1 Организация управления ремонтной службой***

Управление ремонтным хозяйством на предприятии осуществляется ремонтной службой. В состав ремонтной службы входит отдел главного механика (ОГМ) с ремонтно-механическим цехом (заводом) и ремонтно-строительным участком (отделом, управлением), конструкторское бюро, заводские и цеховые ремонтные службы.

Основными функциями отдела главного механика являются:

- руководство в административном и техническом отношении непосредственно подчиненными ему подразделениями;
- организация эксплуатации и ремонта оборудования, подъемно-транспортных средств, зданий и сооружений;
- организация антикоррозионной защиты оборудования, зданий и сооружений, работающих в агрессивных средах;
- проведение всех подготовительных работ, связанных с осуществлением планово-предупредительного ремонта;
- контроль за соблюдением правил технической эксплуатации, за уходом и обслуживанием оборудования;
- методическое руководство заводскими и цеховыми ремонтными службами; разработка сметно-нормативной документации;
- учет действующего оборудования и контроль за перемещением оборудования по цехам предприятия;
- организация и пополнение парка запасных частей; организация смазочного хозяйства;
- планирование работы цехов, непосредственно подчиненных отделу главного механика;
- составление сводных отчетов по выполнению планов работ ремонтной службы для представления их в вышестоящие организации;

- анализ экономической деятельности ремонтной службы.

Основными функциями конструкторского бюро отдела главного механика являются:

- составление и ведение альбомов чертежей на запасные части; разработка технической документации по усовершенствованию отдельных узлов оборудования и его модернизации, а также по механизации тяжелых и трудоемких работ;
- организация работы технического архива; производство копировальных работ и работ по размножению чертежей и обеспечению ими цеховых ремонтных служб.

Основными функциями ремонтно-механического цеха (завода) являются:

- производство капитальных и средних ремонтов оборудования;
- изготовление запасных частей и сменных деталей для ремонта производственного и энергетического оборудования;
- централизованное восстановление и упрочнение деталей, требующее специальной технологической оснастки и обработки;
- централизованное выполнение станочных, сварочных, медницких, такелажных, котельных и других работ.

Основными функциями ремонтно-строительного участка (отдела, управления) являются:

- организация технического надзора за содержанием производственных зданий и сооружений;
- производство всех видов ремонта производственных зданий и сооружений;
- выполнение строительных работ, связанных с ремонтом технологического и сантехнического оборудования, коммуникаций, канализации, а также выполнение футеровочных, обмуровочных и других работ.

## **6.2 Порядок сдачи оборудования в ремонт**

На средний и капитальный ремонт машины останавливает мастер ремонтно-механического цеха по согласованию с начальником или мастером цеха в сроки, установленные графиком ремонта. Машины перед сдачей в ремонт должны быть освобождены цеховым персоналом от заправки полуфабрикатами, очищены и сданы на ходу в комплектном состоянии.

На оборудовании со сложной технологической заправкой и трудоемкой пусконаладкой машина должна иметь ту же заправку, на которой работала до ремонта.

В целях своевременной заготовки запасных частей для машин, подлежащих среднему и капитальному ремонту, во время осмотра мастер-ремонтник составляет ведомость дефектов. В случае, если машина к моменту ее останова на ремонт находится в хорошем техническом состоянии, начальник ремонтно-механического цеха совместно с начальником цеха составляют акт осмотра, который утверждает главный инженер.

Техническое состояние оборудования признается хорошим, когда оно по производительности и качеству изготавливаемой продукции отвечает действующим на предприятии нормативным показателям, имеет сопряжение в кинематических парах в соответствии с установленными допусками и проходит регулярно чистку, обмашку и смазку.

Сдача оборудования в средний и капитальный ремонт должна производиться с предварительной оценкой технического состояния оборудования, которая позволит выразить в сравнимых единицах качество эксплуатации оборудования.

Дефекты, возникающие во время эксплуатации оборудования, оцениваются баллами:

отсутствие масленок, трубочек в смазочных устройствах, смазочных колец, наличие забитых отверстий для смазки и другие дефекты смазки и смазочных устройств;

слабое крепление деталей;

отсутствие болтов, гаек, шайб и других крепежных деталей;

преждевременный износ деталей из-за неправильной эксплуатации;

неисправность ограждений и их отсутствие на машинах;

вибрация машины;

пыль и грязь па оборудовании;

неправильный натяг цепей, струи и других натяжных устройств.

Оценка качества эксплуатации оборудования определяется по сумме баллов:

- хорошее до 10 баллов;
- удовлетворительное до 20 баллов;
- неудовлетворительное свыше 20 баллов.

Средняя величина баллов, приходящаяся на единицу оборудования, сданного в ремонт ежемесячно отделом главного механика, сообщается главному инженеру для анализа работы производственных цехов и принятия мер.

Из капитального и среднего ремонтов оборудование принимают две стадии предварительно и окончательно.

Предварительно оборудование принимают путем внешнего осмотра во время испытания на холостом ходу. Оборудование обкатывают с обильной смазкой при минимальных оборотах и минимальной нагрузке. Испытание на холостом ходу завершается сверкой технических показателей оборудования с паспортными данными.

Окончательная приемка оборудования из ремонта производится под нагрузкой по истечении 10 смен после капитального ремонта и 3-х смен после среднего.

Результаты испытаний под нагрузкой заносятся в акт выдачи оборудования из ремонта.

Ответственность за эксплуатацию оборудования за период от предварительной до окончательной приемки из ремонта несет цеховой

персонал. Акт приемки оборудования из ремонта оформляют немедленно после окончательной приемки, в которой дается оценка состояния машины после ремонта.

Качество ремонта оценивается по техническому состоянию оборудования с учетом значений его функциональных (качество полуфабриката или изделия), энергетических (потребная мощность привода) параметров и параметров эффективности (производительность). Оценка качества ремонта производится по двухбалльной шкале «отлично» или «хорошо».

Оборудование принимается из ремонта с оценкой «отлично», если:

– качество вырабатываемого полуфабриката (изделия) соответствует паспортным данным или установленным нормативам;

– производительность после ремонта соответствует паспортной или утвержденным технологическим режимам для указанных видов продукции;

– фактическая потребная мощность привода на холостом ходу соответствует номинальной (нормативной);

– эргономические показатели соответствуют паспортным данным или санитарным нормам;

– работа оборудования соответствует требованиям «Правил техники безопасности» и стандартов «Системы безопасности труда» (ССБТ).

Оборудование принимается из ремонта с оценкой «хорошо», если хотя бы один (или одновременно все) параметры соответствуют следующим условиям:

- качество вырабатываемого полуфабриката (изделия) близко к установленным нормам;

- производительность после ремонта ниже утвержденных технологических режимов для данных видов продукции в пределах до 10 %;

- фактическая потребная мощность привода выше номинальной в пределах до 10 %;

- эргономические показатели отклоняются от паспортных данных или санитарных норм в пределах допустимого.

Оборудование возвращается на доработку, если:

- качество вырабатываемого полуфабриката (изделия) не соответствует паспортным данным или установленным нормативам;

- производительность оборудования после ремонта ниже паспортной или утвержденных нормативов более 10 %;

- фактическая потребляемая мощность выше номинальной более 10 %;

- эргономические показатели не соответствуют паспортным данным или санитарным нормам;

- работа оборудования не соответствует требованиям «Правил техники безопасности» и стандартов «Системы безопасности труда»;

- работа системы принудительной смазки неэффективна.

После устранения дефектов в процессе доработки оборудование вновь предъявляется комиссии. Оценка качества ремонта производится приемной комиссией, в состав которой входят представители цеховой службы и службы

главного механика. Оборудование принимается из ремонта только оценкой «отлично» или «хорошо».

### **6.3 Внеплановые работы, связанные с ликвидацией аварии**

Аварией считается поломка или повреждение оборудования, ведущее к прекращению производства, к резкому уменьшению количества выпускаемой продукции, снижению качества, а также к несчастному случаю.

Наличие аварий и аварийного ремонта является следствием неудовлетворительной эксплуатации оборудования либо некачественно проведенного ремонта.

На аварию начальник цеха совместно с начальником ремонтно-механического цеха составляют акт с указанием, по чьей вине произошла авария. Акт передается главному инженеру для принятия мер. Аварии ликвидируются силами ремонтно-механических служб.

### **6.4 Инженерное обеспечение в ремонтном производстве**

Инженерное обеспечение предусматривает: совершенствование существующих и внедрение прогрессивных методов ремонта технологического оборудования; совершенствование существующей и внедрение прогрессивной технологии ремонта и восстановления запасных частей за счет нанесения на рабочие поверхности деталей пластических масс, гальванических и других покрытий; применения прогрессивных способов сварки и наплавки; упрочнения рабочих поверхностей деталей методом термической и химико-технической обработки; применения антифрикционных сплавов и цветных металлов; использования запасных частей, изготовленных из синтетических и других материалов, антифрикционного чугуна, а также полученных методом порошковой металлургии, в качестве заменителей дефицитных металлов;

изучение причин выхода из строя запасных частей и разработку мероприятий по повышению их надежности и долговечности.

По мере оснащения предприятий новой техникой, совершенствования организации производства и труда в основных цехах предприятий, изменения режима их работы и т. д. должны меняться организация производства и труда в подразделениях, осуществляющих ремонт и техническое обслуживание оборудования.

## **7 Основы проектирования ремонтно-механического цеха**

Ремонтно-механический цех является структурным подразделением отдела главного механика. В функции ремонтно-механического цеха входит: проведение капитального и среднего второго ремонтов; изготовление запасных частей, не поставляемых предприятию централизованно, и нестандартизированного оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов; выполнение работ по новой технике; модернизация технологического оборудования; восстановление деталей и сборочных единиц основного технологического, транспортирующего и

энергетического оборудования и т. д.

В состав ремонтно-механического цеха входят следующие производственные участки (мастерские): слесарно-механический, сварочный, термический, сантехнический, трубопроводный, жестяницкий, ремонтный, моечный, пластмассовый и пр. Кроме того, ремонтно-механический цех имеет кладовые деталей и заготовок, инструментальную кладовую и пр.

Основой для расчетов объема и трудоемкости производственной программы является трудоемкость среднего и капитального ремонтов оборудования основных и вспомогательных цехов.

Трудоемкость ремонтов определяется по соответствующим нормативам систем планово-предупредительного ремонта. Для нахождения общей трудоемкости среднего и капитального ремонтов оборудования составляют сводную ведомость (таблица 3).

Таблица 3 – Сводная ведомость определения трудоемкости капитальных и средних ремонтов оборудования

Наименование оборудования	Количество оборудования на предприятии	Число ремонтов в год		Норма времени на выполнение ремонта, чел.-ч		Трудоемкость ремонта, чел.-ч		Общая трудоемкость капитального и среднего ремонтов
		капитальных	средних	капитального	среднего	капитального	среднего	

Определение объемов остальных видов работ уточненным методом практически невозможно. Из опыта работы предприятий можно принять следующее соотношение объемов остальных работ в процентах от общей трудоемкости среднего и капитального ремонтов:

Изготовление деталей машин для эксплуатационных и ремонтных целей и восстановление изношенных деталей – 20 – 25 %.

Замена вышедших из строя трубопроводов и вентиляционных устройств и монтаж новых – 5 – 8 %. Работы, связанные с техникой безопасности, – 3 – 4 %. Работы, связанные с механизацией, модернизацией, изготовлением нестандартизированного оборудования, реализацией рационализаторских предложений и изобретений, – 24 – 30 %, внеплановые работы – 5 – 10 %.

Из опыта работы ремонтно-механических цехов швейных предприятий можно принять следующее соотношение слесарных и станочных работ от общего объема: слесарные – 63 – 67 %, станочные – 30 – 34 % от общего объема.

Помимо слесарных и станочных работ, следует учитывать сварочные, кузнечные, медницкие (паяльные, лудильные) и др. На сварочные работы можно предусмотреть 2,3 %, на кузнечные – 0,9 %, на работы по нанесению покрытий (медницкие) – 0,25 % от общей трудоемкости работ в ремонтно-механическом цехе. Количество станочного оборудования  $A_{ст}$  определяется

расчетным путем по формуле:

$$\dot{A}_{\bar{n}\delta} = \frac{\dot{\delta} \sum N_{\bar{n}\delta}}{F_{\bar{a}} n \eta},$$

где  $T \sum N_{cm}$  – годовая трудоемкость станочных работ, ч;

$F_{\delta}$  – действительный (расчетный) годовой фонд работы станка, ч;

$n$  – число смен работы ремонтно-механического цеха;

$\eta$  – коэффициент загрузки станков в ремонтно-механическом цехе, средняя величина которого может быть принята равной 0,75 – 0,8.

Общее расчетное число станков распределяется по видам: 55 – 60 % – токарные; 6 – 8 % – поперечно-строгальные; 12 – 14 % – фрезерные; 3 – 5 % – зубофрезерные; 8 – 10 % – шлифовальные и 6 – 8 % – сверлильные.

Число станочников  $H_{cm}$  подсчитывается по формуле

$$\dot{I}_{\bar{n}\delta} = \frac{\dot{\delta} \sum N_{\bar{n}\delta}}{F_{\bar{a}, \delta}},$$

где  $T \sum N_{cm}$  – трудоемкость станочных работ в год, ч;

$F_{\delta, p}$  – действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочего, ч.

Число слесарей  $H_{cl}$  подсчитывается по формуле

$$\dot{I}_{\bar{n}\bar{e}} = \frac{\dot{\delta} \sum N_{\bar{n}\bar{e}}}{F_{\bar{a}, \delta}},$$

где  $T \sum N_{cl}$  – трудоемкость станочных работ в год, ч.

Квалификационный состав рабочих-станочников ремонтно-механического цеха определяют, исходя из видов станочного оборудования, на котором должны работать прикрепленные рабочие. Это относится к токарным, фрезерным, строгальным и шлифовальным станкам; для сверлильных станков, например, постоянные рабочие не нужны, так как на них в случае необходимости работают слесари.

Для правильной оценки результатов хозяйственной деятельности ремонтно-механического цеха необходимо в первую очередь выявить степень экономической эффективности работы цеха. Она представляет собой отношение полученного от его деятельности экономического эффекта к произведенным им затратам.

Экономическая эффективность  $E_{p,ц}$  определяется по формуле

$$\dot{A}_{\delta, \bar{e}} = \frac{\dot{A}_{\delta, \bar{e}}}{W_{\delta, \bar{e}}},$$

где  $A_{p,ц}$  – экономический эффект, полученный цехом, руб.;

$W_{p,ц}$  – затраты, произведенные цехом, руб.

Экономический эффект, полученный ремонтно-механическим цехом  $E_{p,ц}$ , может измеряться объемом отремонтированных машин  $Q$  или полученным размером прибыли  $\Pi$ .

В качестве затрат ремонтно-механического цеха  $W_{p,ц}$  при измерении

эффективности его деятельности принимают:

- затраты труда работников данного ремонтно-механического цеха  $T_m$ ;
- все денежные затраты этого цеха, т. е. себестоимость всех отремонтированных машин,  $C$ ;
- средства, вложенные в этот цех, т. е. сумму его производственных основных фондов и нормируемых оборотных средств,  $F$ .

## **8 Износ деталей оборудования, методы выявления дефектов деталей**

### **8.1 Трение и износ деталей машин**

Проблеме износа деталей посвящено большое количество исследовательских работ. Важное значение для изучения причин, вызывающих износ, имеют работы Б. И. Костецкого, М. М. Хрущева, И. В. Крагельского и др. Установлено, что износ является основной причиной выхода из строя машин и механизмов в процессе эксплуатации. Под износом принято понимать изменение размеров и геометрической формы деталей машин в результате действия сил трения и повышенных нагрузок, вследствие усталости металла и высокой температуры окружающей среды, а также из-за коррозии металла.

#### **Виды трения**

Известно, что фактор износа оказывает отрицательное влияние на коэффициент полезного действия современных машин, производящих сложные операции, а главное, на качество выполнения этих операций. Установлено, что до 30 % мировых энергоресурсов в различной форме расходуется на трение, поэтому в настоящее время проблемам трения, износа и смазки уделяется большое внимание. Теория и практика исследования трения, смазки, износа поверхностей деталей машин при их относительном движении называется трибоникой (от греческого слова «трибос» трение).

Трибоника – это наука, изучающая теоретические и экспериментальные закономерности, управляющие процессами трения, смазки и износа контактирующих поверхностей при их относительном движении. Трибоника базируется на знаниях физики, химии, механики, термодинамики, материаловедения и других дисциплин. Техническим приложением трибоники является триботехника.

В машинах и механизмах различают два основных вида трения:

- по наличию и характеру движения;
- по наличию разделяющего слоя смазки.

По наличию и характеру движения соприкасающихся поверхностей различают трение скольжения, при котором одни и те же зоны одной детали приходят в соприкосновение все с новыми и новыми зонами другой детали, и трение качения, при котором следующие одна за другой зоны одной детали приходят в соприкосновение со следующими одна за другой зонами другой детали, причем мгновенная ось вращения одной детали относительно другой проходит через одну из зон касания. Иногда один вид трения сопровождается другим.

Внешнее трение – явление, характеризующее сопротивление относительному перемещению, возникающему между двумя телами в местах соприкосновения поверхностей по касательным к ним.

Различают трение покоя и движения. Трение покоя – это трение двух тел при предварительном смещении, а трение движения – трение двух тел, находящихся в относительном движении.

По характеру относительного движения трущихся поверхностей трение бывает трех видов:

- скольжения;
- качения;
- качения с проскальзыванием.

Трение скольжения – это трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел в точках касания различны (например, пара вал – подшипник скольжения).

Трение качения – это трение движения двух соприкасающихся тел, при котором их скорости в точках касания одинаковы по величине и направлению (например, подшипники качения).

Трение качения с проскальзыванием – трение движения двух соприкасающихся тел при одновременном качении и скольжении (например, сцепленные шестерни).

По наличию разделяющего слоя смазки и по характеру смазки трущихся поверхностей различают следующие виды трения:

- чистое трение (трение без смазки), возникающее между соприкасающимися поверхностями деталей при полном отсутствии на них посторонних примесей (жидкостей и газа в адсорбированном состоянии). Этот вид трения может встретиться только в вакууме, поэтому на практике сталкиваться с ним не приходится;

- сухое трение, возникающее при отсутствии смазки и загрязнений между трущимися поверхностями деталей (между дисками сцепления фрикционных приводов швейных машин, накладками тормозных колодок и тормозными шкивами, ремнями и приводными шкивами);

- граничное трение, возникающее на трущихся деталях, разделенных слоем смазки незначительной толщины (0,1 мк и менее). Этот слой обладает свойствами, зависящими от свойств масла, природы и состояния трущихся поверхностей;

- жидкостное трение, при котором поверхности трущихся деталей полностью разделены толстым устойчивым слоем масла;

- полужидкостное трение – смешанное трение, одновременно жидкостное и граничное или жидкостное и сухое;

- жидкостное трение – сопротивление относительному перемещению, возникающее между двумя телами, разделенными слоем смазочной жидкости, в котором проявляются ее объемные свойства.

Иногда форму трения, являющуюся промежуточной между жидкостным и

граничным видами, называют полужидкостным трением.

Таким образом, смазанные поверхности трущихся деталей могут работать при различных видах трения. Тот или иной вид трения зависит от режима работы трущейся пары. Режим работы характеризуется главным образом удельной нагрузкой на трущиеся поверхности, скоростью относительного движения трущейся пары и вязкостью масла. Применительно, например, к работе пары вал – подшипник характеристика режима  $a$  выражается следующей зависимостью:

$$a = mn/p,$$

где  $m$  – вязкость масла,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $n$  – частота вращения вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $p$  – удельная нагрузка между валом и подшипником, МПа.

Наименьший износ деталей и наименьший расход мощности наблюдаются при жидкостном трении (например, между валом и подшипником), причинами возникновения которого являются: повышенная частота вращения вала, высокая степень чистоты и гладкости трущихся поверхностей, оптимальная величина зазора, точная пригонка деталей, устойчивость вала и подшипника, повышенная вязкость и чистота масла, неистощимость масляного слоя, оптимальное давление вала на подшипник.

При наличии указанных условий происходит самозатягивание масла в зазор между трущимися поверхностями, благодаря чему они разобщаются. Если эти условия отсутствуют, жидкостное трение можно получить путем подачи смазки под давлением.

### **Виды износа деталей**

Износ принято подразделять на естественный, аварийный и моральный.

Естественный износ – это разрушение и изменение структуры наружных слоев твердого тела под действием сил трения, высокой температуры, атмосферных условий и т. д.

Аварийный износ приводит к выходу из строя детали или механизма ранее предполагаемого срока. Он вызывается недостатками конструкции, низким качеством материала детали, нарушением правил эксплуатации и ухода за машиной, плохим качеством изготовления деталей, неправильной сборкой, недоброкачественным ремонтом, коррозией, усталостью металла, стихийными бедствиями.

Моральный износ вызывается появлением машин более совершенной конструкции, имеющих большие производительность, экономичность, удобство в эксплуатации.

Наиболее распространенной причиной, вызывающей естественный износ, являются силы трения. Износ и трение, неразрывно связанные друг с другом явления. Во всех случаях износ трущихся поверхностей деталей представляет весьма сложное явление, зависящее от многих факторов, еще не полностью изученных.

По наличию и характеру движения соприкасающихся поверхностей различают трение скольжения, при котором одни и те же зоны одной детали приходят в соприкосновение все с новыми и новыми зонами другой детали, и

трение качения, при котором следующие одна за другой зоны одной детали приходят в соприкосновение со следующими одна за другой зонами другой детали, причем мгновенная ось вращения одной детали относительно другой проходит через одну из зон касания.

Коррозионно-механический износ это результат одновременного химического и механического воздействия на трущиеся пары.

Кроме перечисленных видов износа встречаются дефекты деталей, вызванные деформацией смятия, которая является характерным видом разрушения шлицевых, шпоночных и резьбовых соединений.

У многих деталей возникают и развиваются неисправности из-за отложений, появляющихся на их поверхностях. Это явление связано с наличием примесей в масле, топливе, воздухе и воде (нагара, накипи, смолы и др.). Это вызывает изменение формы и размеров деталей, что приводит к ухудшению работоспособности узла или машины.

Неисправности в работе машин часто вызываются потерей жесткости, что нарушает герметичность в соединениях и приводит, например, к подтеканию масла, воды, топлива, пропуску воздуха и газа и т. д.

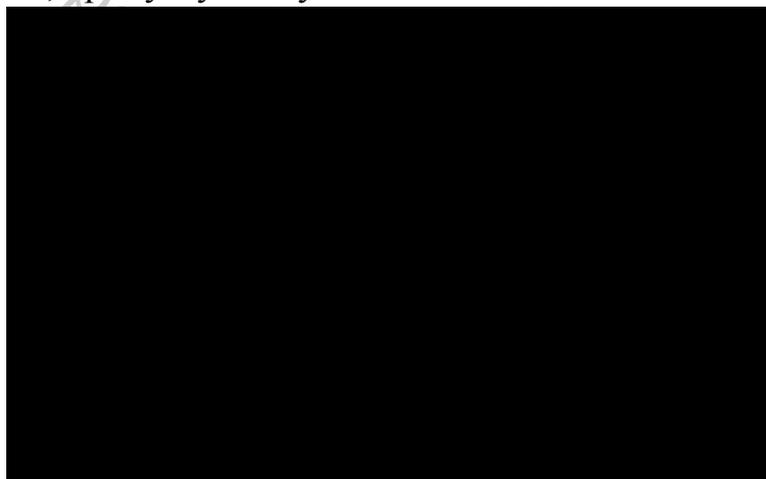


Рисунок 2 – Периоды эксплуатации и стадии интенсивности износа машин

На рисунке 2 изображены три основные стадии износа деталей машин, которые соответствуют трем основным периодам эксплуатации. I период эксплуатации машины, когда новые детали прирабатываются, наблюдается повышенный их износ, затем на смену ему приходит период установившегося процесса (II), когда скорость изнашивания становится минимальной, и, наконец, наступает период прогрессивно возрастающего (аварийного) износа (III), который может привести к тому, что деталь полностью выйдет из строя.

Нарушение соосности, параллельности, перпендикулярности, изменение расстояний между осями деталей вызывают дополнительные усилия и напряжения, что приводит к разрушению и поломке деталей.

Путем тщательной отделки трущихся поверхностей, правильной сборки деталей, использования приработочных средств добиваются сокращения первого периода. Применение износостойких материалов, качественное изготовление и сборка деталей, а также тщательный уход за ними максимально

удлиняют второй период. Регулярное наблюдение и контроль за работой машины предотвращает переход трущихся деталей в аварийное состояние.

Различают следующие основные виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое.

Механическое изнашивание происходит в результате механических воздействий: абразива, производящего царапание или микрорезание; пластического деформирования и оттеснения отдельных участков контактирующих поверхностей; хрупкого разрушения поверхностного слоя (например, вследствие наклепывания в процессе трения); повторно производимого деформирования, вызывающего усталостное разрушение поверхностных слоев.

Молекулярно-механическое изнашивание возникает вследствие адгезионного схватывания (молекулярного сцепления) на отдельных участках трущихся поверхностей, последующего механического разрушения образовавшихся связей и переноса частиц с одной поверхности на сопряженную.

Коррозионно-механическое изнашивание происходит в результате образования продуктов химического взаимодействия металла с агрессивными агентами среды и их механического удаления при трении. Этот вид изнашивания иначе еще называется коррозионным, или окислительным. К нему относится также и фреттинг-коррозия, возникающая вследствие окисления металла и его абразивного изнашивания этими окислами при весьма малых относительных перемещениях сопряженных поверхностей (например, в неподвижных соединениях).

Детали оборудования, работающего на предприятиях текстильной и легкой промышленности, подвергаются больше всего абразивному изнашиванию (особенно те из них, которые плохо защищены от попадания пыли).

Выявлены следующие основные закономерности абразивного изнашивания: линейный износ за одинаковый путь трения увеличивается прямо пропорционально удельной нагрузке, при которой работает трущаяся пара; износ мало зависит от скорости скольжения; износ увеличивается прямо пропорционально пути трения; сопротивление абразивному изнашиванию повышается с увеличением твердости материала.

Изнашивание при хрупком разрушении и от усталости происходит постепенно, по мере того, как поверхностный слой детали в процессе работы, деформируясь и накапливаясь, приобретает повышенную твердость и хрупкость. На границе между наклепанным слоем и нижележащим возникают значительные внутренние напряжения и происходит отделение (отслаивание) деформированного хрупкого металла. Появление хрупкого слоя объясняется и другими причинами: вследствие сильного местного нагрева и быстрого охлаждения в тонких поверхностных слоях происходят структурные превращения (образование, например, на стальных и чугунных деталях белых нетравящихся полосок, отличающихся высокой твердостью); поверхностные слои деталей из гетерогенных (структурно-неоднородных) сплавов

обогащаются твердыми структурными составляющими в результате интенсивного изнашивания пластичной основы сплава.

В парах качения после достаточно длительной работы изнашивание проявляется в виде выкрашивания и образования оспин, покрывающих контактирующие участки. Выкрашивание – это результат усталости материала, возникающей под действием высоких циклических нагрузок. Сначала образуются маленькие повреждения, которые, постепенно накапливаясь и развиваясь, приобретают форму трещины. При наличии масла последнее втягивается в трещины и распирает их, в результате чего происходит ослабление и выкалывание отдельных частиц металла. Такой вид изнашивания называют усталостным. Имеются сведения о том, что усталостное изнашивание наблюдается и при работе металлических пар в условиях трения-скольжения и высоких местных нагрузок.

Изнашивание при заедании проявляется в форме молекулярного схватывания отдельных участков трущихся тел в местах их наибольшего сближения и тесного контактирования, отрыва частиц с одной поверхности и переноса их на другую. В этом случае происходит вырывание частиц с поверхности одной детали и налипание или наволакивание их на другую, появляются риски и задиры. Наиболее тяжелое проявление этого вида изнашивания связано с задирами, резким возрастанием силы трения и сильным повреждением трущихся поверхностей

Молекулярное схватывание возникает, когда две химически чистые (ювенильные) поверхности приведены в тесное соприкосновение и сжаты с определенным усилием. В практических условиях это реализуется в случае, если отдельные контактирующие участки поверхностей пластически деформируются. Следовательно, все, что способствует пластическому деформированию, способствует схватыванию, а значит, и адгезионному изнашиванию, и наоборот. С явлением схватывания деталей машин борются путем применения смазки с противозадирными свойствами, а также путем подбора трущихся пар, обладающих высокой и равной твердостью.

Коррозионно-механическое изнашивание происходит при трении пары, вступившей в химическое взаимодействие со средой, в сочетании с механическими воздействиями.

Окислительное изнашивание – одна из самых распространенных разновидностей коррозионно-механического изнашивания. Это процесс постепенного разрушения поверхностей деталей при трении, вызываемый взаимодействием активных пластически деформированных слоев металла с кислородом воздуха или смазкой, адсорбирующейся на поверхностях.

Кислород воздуха вступает во взаимодействие с трущейся металлической поверхностью и образует на ней окисные пленки. Эти пленки препятствуют прямому металлическому контактированию, а значит, и молекулярному схватыванию. В зависимости от свойств окисные пленки могут оказывать различные действия. Так, мягкие и пластичные пленки разглаживаются по поверхности и постепенно механически истираются. Пленки твердые и хрупкие

растрескиваются и выкалываются. Осколки такой пленки могут действовать подобно абразивным частицам и царапать трущиеся поверхности. Частицы окисной пленки удаляются со смазкой, а на металлических контактных поверхностях пленка непрерывно восстанавливается.

Изнашивание трущихся деталей в различных агрессивных средах тоже относится к коррозионно-механическому виду изнашивания. К этому же виду относят и те случаи, когда детали изнашиваются в условиях смазки маслами, содержащими различные активные противозадирные присадки.

Фреттинг-коррозия – это разновидность изнашивания деталей машин, возникающая при контакте различных металлов без смазки или в условиях граничной смазки при средних и больших нормальных давлениях и малых колебательных перемещениях. Наиболее распространен этот вид изнашивания в плотных посадках, шлицевых и шпоночных соединениях, шарнирных и болтовых соединениях и т. д. При фреттинг-коррозии на контактных поверхностях проявляются следы резко выраженного схватывания/сочетания явлений схватывания и окисления, сильного окисления поверхности слоев металла.

Если трущиеся поверхности смазаны, они тоже изнашиваются (конечно, в меньшей степени, чем несмазанные). Изнашиваются они, даже когда имеется жидкостное трение. Это происходит при каждом пуске и останове трущейся пары, когда нарушаются условия получения жидкостного трения.

Кроме того, разрушению смазанных поверхностей способствует переменная нагрузка, действующая в неразорванном масляном слое и вызывающая усталость наружных слоев трущихся деталей.

Наконец, само масло, уменьшая трение, одновременно способствует ослаблению и разрушению неровностей (бугорков) на трущихся поверхностях (эффект П. А. Ребиндера): проникая в микроскопические трещинки, всегда имеющиеся на поверхности детали, оно распирает их под большим давлением (до 100 МПа), и трещинки как бы подтачивают основания бугорков; со временем эти бугорки откалываются. Одновременно масло размягчает и окисляет наружные слои трущихся деталей, что тоже способствует их разрушению.

Частицы металла, отделившиеся от трущихся поверхностей, и другие загрязнения (пух, пыль), оказавшиеся в масляном слое, способствуют еще большему изнашиванию деталей. По мере того как увеличивается износ деталей, увеличивается и зазор между ними. А чем больше зазор, тем больше снижается несущая способность масляного слоя. В конце концов, эта способность настолько падает, что полностью нарушается жидкостное трение, и тогда износ нарастает с повышенной скоростью.

При граничном трении детали изнашиваются вследствие того, что граничный слой периодически разрывается одновременно во многих местах, особенно при больших давлениях и температурах. Тем не менее, во всех случаях работы смазанных деталей граничная пленка играет роль защитного слоя, который предохраняет металлические поверхности от непосредственного

контакта в тот критический момент, когда жидкий слой не в состоянии разобшить эти поверхности.

Детали, работающие при трении качения (например, шариковые и роликовые подшипники, эксцентрики, ролики и т. п.) или в комбинированном трении, выходят из строя вследствие своеобразного износа; их рабочие поверхности шелушатся, покрываются мелкими оспинами, выкрашиваются. Исследования показали, что основной причиной такого разрушения является усталость наружных слоев рабочих поверхностей. Особенно заметно проскальзывание зубьев в зубчатых передачах, поэтому рабочие поверхности зубьев шестерен не только шелушатся и покрываются оспинами, но одновременно также истираются. Смазка, введенная в подшипники качения, между зубьями шестерен и т. п., оказывает такое же двойное действие, как и при износе скользящих деталей.

При некоторых условиях работы трущейся пары возникает эффект безыносности (избирательный перенос), открытый Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским. Этот эффект представляет собой вид трения, при котором в процессе работы в зоне контакта самопроизвольно (спонтанно) образуется тонкая полужидкая металлическая пленка, снижающая коэффициент трения и предохраняющая трущиеся поверхности от изнашивания. Эту пленку называют сервоитной (от латинских слов «серво» — обеспечение, «вита» — жизнь). Так, в паре трения бронза-сталь образуется тонкая медная пленка в результате анодного растворения бронзы, при этом легирующие элементы переходят в смазку, а поверхности трения обогащаются медью. После того как обе поверхности покроются медью, растворение прекращается и наступает установившийся режим безыносного трения.

В случае же трения таких пар, как сталь-сталь, или пар из других железоуглеродистых материалов трущиеся поверхности покрываются (плакируются) тонким слоем меди из смазочного материала с наполнителем в виде тонкого медного или другого пластичного металла (олово, свинец или их окислы). Такой перенос металла и образование пластичного слоя называют плакированием, а смазку металлоплакирующей.

Многие детали машин текстильной и легкой промышленности сильно изнашиваются при трении их о волокнистые, кожевенные и другие материалы. Установлено, что в этом случае кроме чисто механического воздействия названных материалов (главным образом абразивного) некоторое влияние могут оказывать также физические (электростатические разряды при переработке химических волокон) и химические процессы (коррозионные под влиянием препарации, а также при мокрых видах переработки).

Рабочие органы текстильных машин имеют прямой контакт с перерабатываемым материалом (волокно, ровница, пряжа и др.). К этим органам относятся: иглы гарнитуры всех видов, колки, пильчатые ленты, нажимные валики вытяжных приборов ленточных, ровничных и прядильных машин, бегунки и др. Большая часть деталей, истираемая скользящей нитью, предназначена для направления ее движения (нитенаправители,

нитепроводники) или создания необходимого натяжения (нитенатяжители).

В зависимости от назначения эти детали изготавливают из металла, пластмасс, резины, минерало- и металлокерамики.

Выявлено, что чем больше твердость материала проводящей детали, тем выше ее износостойкость. В таблице 4 для примера приведены сведения об относительной износостойкости различных материалов для нитепроводников при скольжении лавсановой нити (по данным Костромского технологического института).

Таблица 4

Изнашиваемый материал	Микро- твердость, HV	Относительная износостойкость
Латунь отожженная	80	1
Латунь марки Л59 нормализованная	103	1,92
Чугун ферритного класса	153	4,76
Сталь марки 20 нормализованная	198	16,23
Сталь марки У8А нормализованная	254	38,7
Алюминий анодированный	490	41,6
Сталь марки У7 закаленная	520	60,3
Сталь марки 40 закаленная	540	113
Халцедон (минерал)	980	978
Сталь с поверхностным легированием	1100	1525
Сталь с матовым хромированием	1100	1550
Металлокерамика (металлопорошковый материал) марки Т15К6	1628	4960
Корунд белый	1850	19 800
Корунд темный (уплотненный черепок)	2400	30 700
Минералокерамика (металлопорошковый материал) марки С-8	3300 – 4000	106 000

#### **Предельный износ деталей**

Надежность в работе швейного оборудования при максимальной их нагрузке зависит главным образом от степени износа деталей, т. е. от изменения размеров и формы деталей. Эти изменения в процессе эксплуатации достигают значительной величины, уменьшают производительность оборудования, а иногда приводят к его поломкам.

Наблюдение и изучение влияния износа деталей на срок службы и работоспособность машины показывают, что чрезмерный износ деталей приводит к повышению шума и вибраций, к заеданию и заклиниванию сопряженных деталей. Эксплуатация таких механизмов становится невозможной; их необходимо ремонтировать или заменять. Пригодность деталей к дальнейшему их использованию определяется внешним осмотром или обмером. При этом измеряют зазор между трущимися поверхностями, проверяют правильность геометрической формы деталей.

В шарнирных соединениях детали свободно перемещаются одна

относительно другой, так как имеется гарантированный зазор между сопряженными поверхностями или скользящая посадка, при которой зазор равен нулю. В жестких неразъемных соединениях относительного перемещения деталей нет, что достигается неподвижной посадкой-натягом.

Детали соединения поступают в ремонт с различной степенью износа, поэтому необходимо учитывать целесообразность их восстановления. Частое восстановление деталей понижает их прочность и увеличивает стоимость ремонта.

В условиях эксплуатации и ремонта оборудования принято различать допускаемый и предельный зазоры.

При допускаемом зазоре соединение может работать в течение времени между двумя очередными ремонтами.

При предельном зазоре размеры сопряженных деталей вследствие износа достигают такого значения, когда дальнейшая работа соединения невозможна без ремонта или замены деталей.

В швейной промышленности отсутствуют технически и экономически обоснованные зазоры сопряженных деталей, что отрицательно сказывается на ремонтной службе.

Естественный механический износ сопряженных деталей можно представить в виде кривой (рис. 3).

Участок  $T_{пр}$  кривой соответствует периоду приработки трущихся поверхностей. В этот период заводы-изготовители рекомендуют эксплуатировать машины на пониженной скорости, чаще смазывать и промывать трущиеся поверхности.

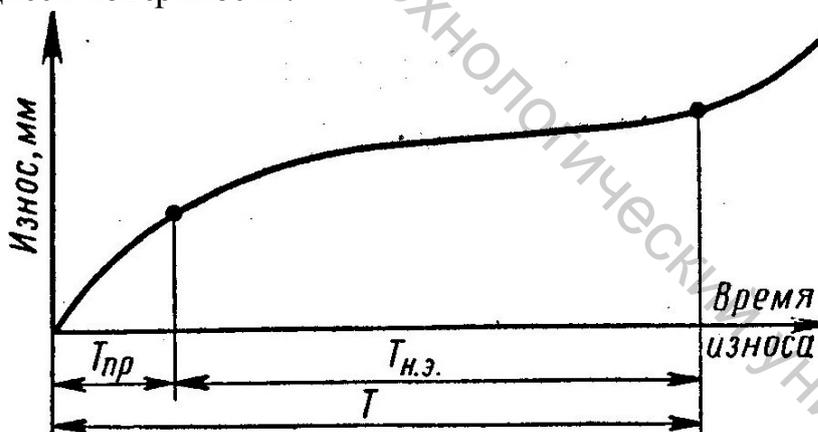


Рисунок 3 – Кривая естественного механического износа деталей

Участок  $T_{н.э.}$  соответствует периоду нормальной эксплуатации сопряженных поверхностей. Время нормальной эксплуатации можно увеличить правильным подбором трущихся материалов, соблюдением оптимальных зазоров с целью обеспечения необходимого режима смазки, защитой от пыли, грязи, правильным выбором метода обработки трущихся поверхностей.

Участок кривой, следующий за участком нормальной работы, соответствует периоду интенсивного износа и разрушения деталей.

В процессе приработки трущихся поверхностей, наиболее выступающие

гребешки, оставшиеся после механической обработки, либо срезаются, либо деформируются (рис. 4). Приработка деталей завершается, когда ширина обрабатываемых площадок контакта становится больше ширины оснований впадин.

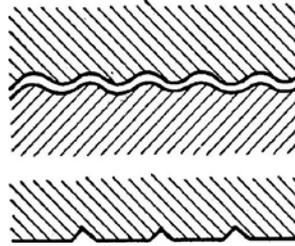


Рисунок 4 – Вид поверхностей до приработки и после приработки

Диаграмма износа сопряженных деталей, имеющих начальный зазор, равный  $S_{нач}$ , показана на рис. 5. Кривая AA2 характеризует изменение диаметра подшипника, а кривая BB2 – диаметра вала. Отрезок между точками A1B1 соответствует величине зазора после окончания периода приработки  $T_{пр}$ , а между точками A2B2 – величине предельного зазора  $S_{пред}$ . Период нормальной эксплуатации составляет  $T_{н.э.}$ .

Срок службы детали равен

$$\dot{O} = \dot{O}_{i\delta} + \dot{O}_{i.y.}$$

Скорость изнашивания детали равна

$$i_y \equiv \frac{v}{O} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $v$  – износ, установленный на основании обмера детали или из опыта эксплуатации.

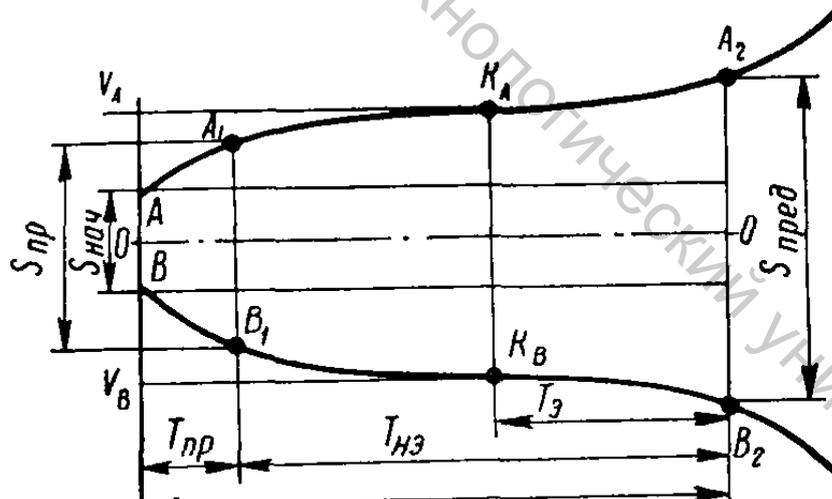


Рисунок 5 – Диаграмма износа сопряженных поверхностей

Износ деталей в любой момент работы определяют так:

$$V_n = i_{э} T_{п.}$$

Предельный износ детали равен

$$V_{пред} = V_{пр} + i_{э} T_{н.э.}$$

Установить предельный износ деталей различных швейных машин очень сложно, так как все детали работают в различных условиях. Поэтому при определении предельного износа в каждом конкретном случае нужно учитывать особенности конструкции трущихся деталей, функциональное назначение детали, законы движения и взаимодействия деталей, а также влияние их износа на работу узла, механизма или машины.

При исследовании износа деталей швейных машин 4 и 22 А кл. ПМЗ установлено, что 40 – 50 % забракованных деталей челночных комплектов имеют износ, составляющий 30 – 50 % от предельного износа.

Если поверхность детали упрочнена азотированием, поверхностной закалкой ТВЧ или хромированием, то допускаемым износом принято считать глубину слоя упрочнения или толщину покрытия.

Практика показывает, что предельный износ основных деталей челночного комплекта швейных машин равен 0,04 – 0,08 мм на сторону. Предельный износ цапф валов и винтов, пальцев кривошипов, эксцентриков, крейцкопфов, шатунов-вилков, стержней игл, кулис и других деталей швейных машин равен 0,08 – 0,15 мм на сторону в зависимости от режима работы и точности обработки. Предельный износ шеек валов для подшипников качения должен быть равен 0,03 – 0,04 мм.

В условиях жидкостного трения наивыгоднейший начальный зазор между подшипником и шейкой вала после восстановления деталей определяют так:

$$S_{i \rightarrow a} = 0,476d \sqrt{\frac{n\eta}{PC}},$$

где  $d$  – диаметр цапф вала, мм;

$n$  – скорость, об/мин;

$\eta$  – абсолютная вязкость масла, кг\*с/м<sup>2</sup>;

$P$  – удельная нагрузка на вал, кг/м<sup>2</sup>;

$C$  – соотношение между размерами подшипника, равное  $(d + l) / l$ ;

$l$  – длина подшипника.

При обработке деталей зазор сопряжения определен двумя значениями:

$$S_{\max} \leq 1,75 S_{i \rightarrow a} - 2 \sum h$$

$$S_{\min} \geq 0,7 S_{i \rightarrow a} - 2 \sum h,$$

где  $\sum h$  – сумма неровностей приработанных поверхностей вала и подшипника, равная 0,005 – 0,01 мм.

Если закономерность износа шейки вала и подшипника можно выразить в виде кривых, то по кривым можно установить и срок службы деталей до очередного ремонта. С этой целью измеряют измерительным инструментом износ шейки вала и износ подшипника, откладывают полученные величины по оси ординат (в одном масштабе) и отмечают точками  $V_B$  и  $V_A$  (см. рис. 4). Точки проецируют на кривые износа вала и подшипника и получают точки  $K_A$  и  $K_B$ , которые соединяют прямой линией. По полученному графическим путем отрезку времени  $T$ , можно судить о пригодности сопряжения для дальнейшего

использования. Пригодность любой детали швейной машины к дальнейшему использованию при очередном ремонте можно установить по неиспользованному сроку службы:

$$T_{i_{\text{нн}}} = \frac{V_{\text{max}} - V}{i_y} = \frac{V_{\text{max}} - i_y \Delta}{i_y} \geq \beta \Delta,$$

где  $\beta$  – коэффициент запаса, равный 1,05 – 1,1;

$T$  – время между двумя очередными ремонтами данного вида.

К наиболее быстроизнашивающимся деталям швейных машин, транспортных устройств, аппаратов для формования и соединения деталей термопластическим клеем, передвижных раскройных дисковых машин можно отнести шестерни. В процессе работы в результате действия сил трения изменяется рабочий профиль и длина зубьев шестерни. Поломка зубьев шестерен происходит от периодического воздействия изгибающих моментов; осповидное разрушение на поверхности зуба – под действием контактных напряжений.

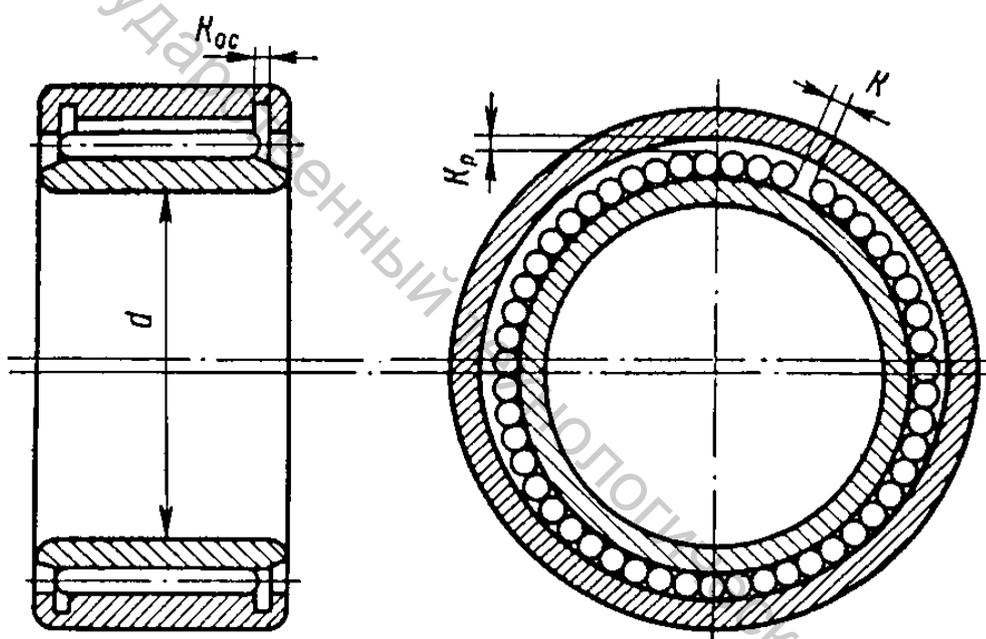


Рисунок 6 – Схема игольчатого подшипника

Срок службы шестерен зависит от условий работы (скорость, удельное давление), материала шестерен, числа зубьев, их термической и механической обработки, системы и качества смазки и др. Неправильная сборка (перекос, несоблюдение зазора) и неточность изготовления приводят к ненормальному износу зубьев шестерен. Например, в результате сильного износа зубьев шестерен механизма челнока при работе возникают большой шум, пропуски стежков и другие неполадки, которые можно устранить либо заменой шестерен новыми, либо их восстановлением.

Предельный износ зубьев шестерен швейных машин не должен превышать  $0,1 m - 0,2 m$ , где  $m$  – модуль зуба в мм.

Выбор способа восстановления шестерен определяется величиной и видом износа, назначением машины, классом точности шестерен и наличием

производственных возможностей. В игольчатом подшипнике верхней головки шатуна механизма иглы машины 97 кл. ОЗШМ и других машин осевой зазор  $K_{ос}$  допускается равным 0,2 – 0,4 мм, а окружной зазор – 0,5 – 1,5 мм (рис. 6).

Примерные значения радиального зазора  $K_p$  в игольчатых подшипниках при внутреннем диаметре  $d$  представлены в таблице 5.

Таблица 5

$d$ , мм	$K_p$ , мм
10 – 18	0,018 – 0,035
18 – 30	0,023 – 0,045

Прилегание шеек валов к внутренним поверхностям втулок должно быть равномерным. Шейка вала должна прилегать к внутренней поверхности втулки на участке дуги, соответствующей углу 120 – 150°.

Предельный износ паза по ширине в шлицевых отверстиях равен 0,1 – 0,2 мм, а износ шпоночного паза по ширине не должен превышать 20 % от первоначального размера.

Диски фрикционных приводов должны соприкасаться на поверхности, составляющей не менее 65 % от их рабочей поверхности.

#### **Методы выявления дефектов деталей**

С целью выявления дефектов деталей применяют следующие методы.

1. Визуальный метод, которым пользуются при выявлении таких дефектов, как изломы, трещины, прогибы, скручивание, люфт в шпоночных пазах, в шарнирных резьбовых и заклепочных соединениях, в зубчатых колесах. Эти дефекты выявляют внешним осмотром невооруженным глазом или при помощи лупы, микроскопа. При этом опытный механик-ремонтник может установить степень износа узла или механизма в целом. Однако бракуют детали на основании их проверки с помощью инструментов.

2. Инструментальным методом определяют такие дефекты, как шум, нагрев трущихся деталей, их пористость, скрытые раковины и трещины, измененные размеры, овальность, конусность. С этой целью применяют звукозаписывающие приборы, термомпары с гальванометрами, магнитные и люминесцентные дефектоскопы, щупы, микрометры, индикаторы, штихмассы и др.

При определении износа деталей челночного комплекта измеряют паз швейного крючка и сопряженного с ним ободка шпулержателя, толщину накладной пластинки швейного крючка. Это основные быстроизнашивающиеся детали, износ которых приводит к повышенной обрывности ниток, пропуску стежков, увеличению шума. Обычно измеряют диаметр и ширину паза и ободка в трех местах, что позволяет установить степень неравномерности износа.

Инструментальный метод выявления дефектов позволяет правильно комплектовать узлы и механизмы при использовании деталей, имеющих незначительный износ, и новых деталей.

Например, шпулержатель швейной машины, имеющий износ ниже предельного, можно скомплектовать с новым швейным крючком и т. д. Такая

комплектровка узлов возможна после тщательных измерений деталей и позволяет увеличить срок службы деталей не менее чем в 2 – 3 раза, добиваясь работы деталей до предельного износа.

3. Пробу керосином для выявления дефектов деталей применяют в тех случаях, когда деталь имеет трещину, которую трудно обнаружить невооруженным глазом. Дефектную деталь опускают на 15 – 20 мин в керосин, затем тщательно вытирают и посыпают тонким слоем мела. Мел темнеет в тех местах, где имеются трещины.

### **8.2 Влияние смазки на трение и износ деталей**

Смазка между трущимися поверхностями деталей предотвращает непосредственный контакт деталей, уменьшает их трение и износ. Принято различать жидкую, консистентную, воздушную и твердую смазки.

Качество смазки определяется способностью смазочной прослойки длительно сохраняться при большой скорости и давлении трущихся поверхностей. Например, режим смазки подшипника скольжения характеризуется следующим параметром:

$$\lambda = \frac{\eta n}{P},$$

где  $\eta$  – вязкость масла, кг с/м<sup>2</sup>;

$n$  – число оборотов вала, об/мин;

$P$  – удельное давление, кг/см<sup>2</sup>.

При жидкостном трении износ трущихся поверхностей происходит при повышенном давлении, высокой скорости и температуре, а также при периодических пусках и остановках машины. В результате действия указанных факторов жидкостное трение переходит в граничное, а иногда разрушается граничный слой, образуется металлический контакт, что приводит к интенсивному износу и заклиниванию деталей. Следовательно, при нарушении жидкостного трения трущиеся поверхности предохраняются от прямого контакта поверхностей только граничным слоем. Повышение температуры трущихся поверхностей является главным фактором, нарушающим жидкостное и граничное трение.

Износ трущихся поверхностей происходит не только в указанных случаях, но и в результате диспергирования металла, когда мельчайшие металлические частицы отделяются от поверхности детали. Установлено, что диспергирование металла увеличивается при введении в смазку активных присадок с целью повышения смазочных свойств граничного слоя.

Консистентная смазка применяется при граничном трении, так как обладает большей пластичностью и большим сопротивлением выдавливанию, чем жидкая. Например, при наличии больших контактных давлений в подшипниках качения консистентная смазка предохраняет детали от износа и коррозии значительно лучше, чем жидкая.

При работе машин на больших скоростях повышается температура нагрева трущихся деталей, что приводит к разрушению масляного слоя и сильному

износу деталей. В этих случаях используют воздушную смазку. Вязкость воздуха в 50 раз меньше вязкости воды и в 6000 раз меньше вязкости минерального масла, поэтому потери мощности на трение и нагревание при воздушной смазке ничтожно малы.

В узлах, несущих большую нагрузку и работающих при высокой температуре, когда нельзя использовать жидкую или консистентную смазку, лучше применять сухие твердые смазывающие материалы. Наиболее распространенными твердыми смазывающими материалами являются коллоидный графит и дисульфид молибдена, которые, имея легкую подвижность одних слоев относительно других, уменьшают сопротивление движению. Например, швейные машинные иглы, покрытые дисульфидом молибдена, при работе машины нагреваются в 2 – 3 раза меньше, чем непокрытые.

Введение твердых смазок в состав деталей из пластмасс способствует значительному снижению коэффициента трения пластмассы и одновременно повышает ее износостойкость, теплостойкость и предел текучести.

## **9 Смазочные материалы**

Смазочные материалы делят на жидкие (масла), консистентные, твердые и газообразные.

Основными являются масла и консистентные смазки, получаемые из нефти. Такие масла и смазки называются минеральными. Для специальных целей, в частности для смазывания деталей и узлов, работающих при очень высоких или очень низких температурах, применяют синтетические масла.

### **9.1 Минеральные масла**

Исходным сырьем для получения минеральных масел является мазут. Мазут представляет собой продукт первичной переработки нефти, в процессе которой из нее удаляются бензин, керосин и другие фракции. Вначале из мазута отгоняются дистилляты, т. е. более легкие фракции. Из дистиллята получают мало- или средневязкие масла и гудрон, из которого извлекают тяжелые и высоковязкие масла (остаточные масла). Полученные продукты подвергают очистке с целью удаления из них различных веществ, отрицательно влияющих на работу смазываемых узлов, механизмов и машин, например, сернистых, азотистых и непредельных соединений.

#### **Основные свойства смазочных масел**

Способность масла отделять трущиеся поверхности друг от друга и уменьшать их трение и износ зависит от его механических и физико-химических свойств.

**Вязкость.** Вязкость, или внутреннее трение, характеризует способность жидкости противодействовать внешним силам, стремящимся сместить ее частицы одну относительно другой.

Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

Динамическая вязкость есть истинная, или абсолютная, вязкость. Она измеряется в пуазах.

Кинематической вязкостью называют отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при данной температуре.

Единицей кинематической вязкости является стокс. В стандартах на масла пользуются сантистоксом (сотая доля стока). В технике все еще пользуются понятием условной вязкости (ВУ), выраженной в градусах Энглера.

Под условной вязкостью понимают отношение времени истечения из калиброванного отверстия определенного количества масла ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при 20 °С.

Вязкость смазочных масел определяют при помощи вискозиметров. Для определения кинематической вязкости служит набор капиллярных вискозиметров (ГОСТ 33 – 66), а для определения условной – вискозиметр типа ВУ-Энглера (ГОСТ 6258 – 52).

Вязкость масла не является устойчивой характеристикой. Она зависит от ряда факторов и, в первую очередь, от температуры масла и его давления.

Повышение температуры вызывает падение вязкости, и наоборот. Повышенные температуры в узлах трения могут возникнуть при перегрузках, перекосах трущихся деталей или же тогда, когда смазываемые детали работают в машинах, подогреваемых извне.

При понижении температуры вязкость масла возрастает. По этой причине наблюдается потеря мощности при пуске машин; например, после их ночного простоя в зимнее время усиливается сопротивление движению масла при прокачивании его по маслопроводу, затрудняется слив масла из резервуаров, цистерн, картеров и других емкостей.

Зависимость вязкости масла от температуры имеет нелинейный характер и изменяется для масел из различного сырья, разных способов получения и составов. Вязкостно-температурные свойства оценивают по так называемому температурному коэффициенту вязкости (ТКВ).

### **Температура застывания**

Одной из характеристик масла является температура застывания – температура, при которой масло, налитое в пробирку, а затем охлажденное, настолько загустевает, что при наклоне пробирки под углом 45° верхний мениск масла остается неподвижным в течение 1 мин.

С повышением давления вязкость масла растет. Заметное увеличение вязкости отмечается лишь в зоне больших давлений и для масел с высокой начальной вязкостью.

Изменение вязкости масла в зависимости от температуры и давления по-разному влияет на работу смазываемых узлов. Так, если с повышением температуры вязкость падает, то при этом существенно снижается несущая способность масляного слоя и увеличивается опасность разрыва пленки и заедания. Повышение вязкости масла с увеличением давления, наоборот, придает масляному слою более высокую несущую способность, обеспечивает надежное разобщение трущихся поверхностей и предохраняет их от прямого контактирования и заедания.

### **Температура вспышки и воспламенения масла**

Температура вспышки – это температура, при которой смесь, образованная парами нагреваемого масла и воздухом, вспыхивает при поднесении к ней пламени и тут же гаснет.

Температурой воспламенения называют более высокую температуру, при которой вспыхивающее при поднесении пламени масло продолжает гореть не менее 5 с. Зная температуру вспышки и вязкость масла, можно судить о его фракционном составе и наличии примесей легкоиспаряющихся углеводородов, что характеризует испаряемость и огнеопасность масла.

Температуру вспышки определяют на приборах в виде открытой чашки (по Бренкену, ГОСТ 4333 – 48), либо в виде закрытого сосуда (по Мартене-Пенскому, ГОСТ 6356 – 52). Прибор закрытого типа применяют главным образом для определения температуры вспышки трансформаторных масел.

### **Стабильность масла**

Устойчивость масла к старению, т. е. способность его сохранять физико-химические и эксплуатационные свойства во времени, называют стабильностью.

Главная причина, вызывающая старение смазочного масла, – окисление его кислородом воздуха. Окисленное масло имеет повышенное кислотное число (см. стр. 23) и повышенную вязкость.

Скорость окисления масла зависит от его химического состава, рабочей температуры, площади соприкосновения масла с воздухом и наличия катализатора процесса окисления.

Углеводороды, составляющие основу смазочных масел, окисляются по-разному: более других устойчивы к окислению ароматические углеводороды, несколько хуже нефтяные и еще меньше парафиновые углеводороды.

Неочищенные или малоочищенные масла малостабильны. Недостаточно стабильны и масла глубокой очистки.

Чем выше рабочая температура масла, тем больше скорость его окисления. Установлено, например, что при повышении температуры на каждые 10 °С окисление масла происходит вдвое быстрее. Скорость окисления возрастает при увеличении поверхности масла, соприкасающейся с кислородом воздуха. Так, при смазывании деталей путем разбрызгивания масло окисляется интенсивнее, чем при циркуляционной системе смазки.

Наиболее активными катализаторами процесса окисления являются металлы (медь, свинец, железо и его окислы), из которых сделаны смазываемые поверхности, стенки маслопроводов и др. Катализаторами служат также продукты износа и коррозии, попавшие в масло.

### **Коррозионная активность масел**

Минеральные смазочные масла уменьшают трение, но не могут надежно защитить поверхности деталей от коррозии. Более того, в определенных условиях масла сами становятся коррозионно-активными.

Как отмечалось, при окислении масла образуются растворимые в воде низкомолекулярные органические кислоты и высокомолекулярные, не

растворимые в воде. Под влиянием низкомолекулярных кислот происходит коррозия как черных металлов, так и подшипниковых сплавов, а под действием высокомолекулярных – коррозия только цветных металлов, входящих в состав подшипниковых сплавов.

Более других чувствительны к коррозии свинец и кадмий, являющиеся компонентами современных твердых подшипниковых сплавов. Кислоты, не растворимые в воде, вызывают коррозию только в присутствии окислителя. Чаще всего окислителем служит кислород воздуха, растворенный в масле. Предполагают, что эти кислоты реагируют не с металлами, а с их окислами.

Иногда коррозия вызывается активными сернистыми соединениями, содержащимися в масле, обогащенном присадками. И, наконец, при плохой очистке в масле остаются минеральные кислоты или щелочи, которые также могут быть причиной коррозии.

Сернистые соединения оказывают вредное действие и на различные уплотнители из резины и кожи. Уплотнители становятся твердыми, хрупкими, начинают выкрашиваться и теряют, таким образом, свои служебные свойства.

Присутствие воды в масле также заметно ухудшает его эксплуатационные свойства, особенно при образовании стойких водомасляных эмульсий. В этом случае изменяется вязкость масла, оно становится неоднородным, вода способствует коррозии смазываемых деталей.

Стандартными показателями, по которым судят о коррозионной активности масла, являются кислотное число, содержание водорастворимых кислот, щелочей, воды и серы.

Кислотным числом называют количество миллиграммов едкого калия (КОН), необходимого для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г масла (методика определения кислотного числа описана в ГОСТ 5985 – 59).

Присутствие водорастворимых кислот и щелочей в масле определяют в соответствии с ГОСТ 6307 – 60 по реакции водной вытяжки из масла. Согласно стандартам в масле не должны содержаться водорастворимые кислоты или щелочи.

Определение количества воды в масле (по ГОСТ 2477 – 65) основано на отгоне воды из смеси масла с растворителем.

Содержание серы в масле определяют путем сжигания навески испытуемого масла в токе воздуха с последующим улавливанием образовавшихся сернистого и серного ангидридов раствором перекиси водорода с серной кислотой (по ГОСТ 1437 – 56).

### **Механические примеси масла**

К механическим примесям относят все вещества, находящиеся в масле в виде осадка или во взвешенном состоянии (пыль, песок, грязь и пр.). Наличие механических примесей в масле вызывает быстрый износ смазываемых поверхностей.

Для большинства промышленных масел стандартами допускается присутствие механических примесей в количестве не более 0,005 %. Однако даже при таком содержании механические примеси, имеющие вид волоконца и

нитей, засоряют фильтры и маслопроводные трубки, что нередко является причиной выхода из строя смазываемых деталей.

Методика определения содержания механических примесей дана в ГОСТ 6370 – 59.

### **Ассортимент смазочных масел**

Индустриальные масла по вязкости делят на легкие, средние и тяжелые. Вязкость легких масел находится в пределах 4 – 10 сст. при 50 °С. Их применяют для смазывания узлов и механизмов, работающих при больших скоростях и малых удельных нагрузках. Этими же маслами смазывают мелкие электродвигатели и контрольно-измерительные приборы. Средние индустриальные масла имеют вязкость от 10 до 58 сст. при 50 °С. Их применяют для смазывания механизмов, работающих при средних или больших нагрузках и небольших скоростях.

Вязкость тяжелых индустриальных масел составляет 9 – 28 сст. при 100 °С. Их применяют для смазывания тяжело-нагруженных узлов и деталей, работающих при высоких температурах. Области применения основных индустриальных масел в текстильной промышленности описаны ниже.

Велосит применяют для смазывания легких и быстроходных веретен прядильных и крутильных машин.

Масло индустриальное 12 используют для смазывания веретен тонких и тазово-тонких ровничных машин хлопчатобумажного производства. При необходимости масло индустриальное 12 заменяют смесью, состоящей из велосита (35 %) и масла индустриального 20 (65 %).

Масло индустриальное 20В применяют для смазывания веретен толстых, перегонных и тазово-перегонных ровничных машин хлопчатобумажного производства, веретен ровничных и колпачковых веретен прядильных машин шерстяного производства. Этим же маслом смазывают также и различные счетчики, установленные на текстильных машинах. Масло индустриальное 20В можно заменить смесью, состоящей из 55 % велосита и 45 % масла индустриального 45 или же маслом индустриальным 20.

Масло индустриальное 20 предназначено для заливки в масляные ванны различных узлов на сравнительно длительный срок. К таким узлам относятся, например, гребенные коробки чесальных машин хлопчатобумажного и шерстяного производства, коробки веретен уточно-перемоточных машин, подшипники скольжения с кольцевой смазкой электродвигателей мощностью до 10 кет. В качестве заменителя этого масла применяют масло турбинное Л или смесь, состоящую из 55 % велосита и 45 % масла индустриального 45.

Масло индустриальное 30 используют для смазывания узлов трения таких машин, как чесальные, ленточные, прядильные, тростильные, ворсальные, стригальные, а также для заливки подшипников скольжения электродвигателей мощностью от 10 до 100 кет. Заменителями масла индустриального 30 служит смесь, состоящая из 50 % масла индустриального 20 и 50 % масла индустриального 45, или же турбинное масло УТ. Масло индустриальное 45В применяют для смазывания узлов трения машин сортировочно-трепального

цеха хлопчатобумажного производства, шлифовальных машин и многих машин отделочного производства. Этим маслом не заливают масляные ванны смазываемых узлов из-за его недостаточной стабильности. Заменителями этого масла служат масла индустриальное 45 и индустриальное 50.

Масла индустриальное 45 и индустриальное 50 предназначены для заливки в масляные ванны, циркуляционные смазочные системы, силовые редукторы, коробки скоростей. Близко к ним – масло веретенное АУ (ГОСТ 1642 – 50).

Масло цилиндрическое 11 служит для смазывания тяжело-нагруженных деталей, таких, как червячные передачи и зубчатые колеса силовых редукторов или детали, работающие при повышенных температурах (подшипники скольжения сушильных барабанов шлифовальных машин, сушил и др.). В необходимых случаях это масло заменяют маслом АК-Ю.

За последние годы появились машины, отличающиеся очень высокой точностью и высокой скоростью работы основных деталей и узлов. К таким машинам относятся, например, ткацкие автоматические станки марки СТБ. Для заливки многочисленных масляных ванн этого станка и смазывания узлов трения применяют специальные масла, например ВНИИНП-406 (МРТУ 12Н № 141 – 64).

Кроме перечисленных масел для смазывания узлов и механизмов текстильных машин применяют также некоторые дизельные, автотракторные, трансмиссионные и другие масла (например, в ткацких станках типа СТБ, Р-5 и др.).

Одно смазочное масло можно заменять другим. Масло-заменитель должно иметь вязкость, близкую к вязкости заменяемого масла (допустимая разница – 2° условной вязкости). При отсутствии масла требуемой вязкости применяют масло, полученное путем смешения нескольких. Соотношение масел в смеси определяют с помощью номограммы.

## **9.2 Консистентные смазки**

Консистентные смазки являются сложными коллоидными системами. Они представляют собой пластичные (мазеподобные) смазочные материалы, полученные путем загущения жидкого минерального масла мылами (соли жирных кислот) или твердыми углеводородами (парафин, церезин).

Наиболее распространены смазки, в которых в качестве загустителей использованы кальциевые и натриевые мыла.

В состав кальциевых смазок (солидолов) входит также вода. При отсутствии воды может произойти распад этих смазок. Натриевые смазки являются безводными. В присутствии воды они переходят в эмульсию. Кальциевые смазки применяют для смазывания деталей, работающих во влажной среде, а натриевые – для смазывания деталей, работающих в сухой среде.

Указанные смазки отличаются друг от друга и температурой плавления, о которой судят по температуре каплепадения. Кальциевые смазки плавятся при температуре ниже 100 °С, а натриевые – при температуре выше 100 °С.

Наряду с указанными применяют также кальциево-натриевые консистентные смазки. Эти смазки очень стабильны и успешно используются в условиях повышенных температур (выше 120 °С) и влажности.

По назначению консистентные смазки делят на антифрикционные и консервационные (защитные). Антифрикционные смазки предназначены так же, как и смазочные масла, для уменьшения трения и износа трущихся деталей. Применяются они чаще всего для смазывания труднодоступных частей машин, особенно тихоходных, работающих при высоких нагрузках, а также при частых пусках и остановках под нагрузкой.

Консервационные смазки предназначены, главным образом, защищать изделия от атмосферной коррозии при их хранении.

### **Основные свойства консистентных смазок**

Качество консистентной смазки определяется ее механическими и физико-химическими свойствами.

Вязкостью, или внутренним трением, называют способность консистентной смазки оказывать сопротивление скольжению слоев при течении. От вязкости зависят многие эксплуатационные свойства смазки: прокачиваемость в трубопроводах, возможность заправки в узлы трения солидолонагнетателями и применения в централизованных системах смазки машин. Вязкостными свойствами смазок непосредственно определяются пусковые характеристики узлов трения, заполненных консистентной смазкой.

Вязкость консистентных смазок не может быть выражена одной константой, подобной коэффициенту вязкости смазочного масла.

Для оценки вязкостных свойств смазки пользуются ее вязкостно-температурной характеристикой. С этой целью применяют вискозиметры нескольких типов. Стандартами предусмотрены определения вязкости на автоматическом капиллярном вискозиметре АКВ-2 или АКВ-4 (ГОСТ 7163 – 63) и пластовискозиметре ПВП-1 (ГОСТ 9127 – 59).

### **Пенетрация**

Число пенетрации характеризует консистентность смазок. По этому показателю можно судить о прокачиваемости смазки по мазепроводу, что очень важно при выборе смазки для централизованных смазочных систем.

Пенетрацию определяют на пенетрометре по глубине внедрения (погружения) в испытуемую смазку стандартного конуса в течение 5 с. Чем больше число пенетрации, тем мягче смазка. Методика дана в ГОСТ 5346 – 50.

### **Температура каплепадения**

Температурой каплепадения называют температуру, при которой из смазки, нагреваемой в особых условиях, отделяется и падает первая капля. Если температура смазки на 15 – 20 ° ниже температуры каплепадения, то смазка не будет расплавляться и вытекать из узла трения. Температуру каплепадения следует рассматривать как ориентировочную константу, дающую представление лишь о верхнем температурном пределе работоспособности смазки. Температуру каплепадения экспериментально определяют по ГОСТ 6793 – 53.

### **Корродирующее действие**

Консистентные смазки, выполняя функции антифрикционного материала, могут одновременно вызывать коррозию металлических деталей. Коррозия смазываемых металлических поверхностей происходит под влиянием продуктов окисления смазок или органических кислот и щелочей, находящихся в составе смазки в количествах, превосходящих допустимые нормы.

Проверку корродирующего действия смазки производят на металлических (медных, стальных или латунных) пластинках при повышенных температурах по методике, изложенной в ГОСТ 5757 – 67. При этом фиксируется изменение цвета пластинки под действием консистентной смазки за установленное время пребывания в термостате.

Корродирующее действие консистентной смазки при повышенной влажности проверяют по методике, изложенной в ГОСТ 4699 – 53.

Чтобы судить о коррозионной активности смазки, важно также знать, содержит ли она свободные органические кислоты и щелочи, а также воду. Присутствие этих кислот и щелочей определяют по ГОСТ 6707 – 57, воды – по ГОСТ 1044 – 51.

Содержание в консистентных смазках, загущенных мылами, свободных органических кислот выражают кислотным числом или в процентах. Если кислотное число не превышает 0,02 мг КОН на 1 г смазки или содержание свободных органических кислот не более 0,01 %, то считают, что в смазке они отсутствуют.

Присутствие свободной воды в смазках, особенно в натриевых, структурно с ними не связанной и выделяющейся в виде капель, не допускается. В кальциевых смазках вода является обязательным компонентом, но количество ее не должно превышать 3 %, а в натриевых – не более 0,5 %. В смазках же защитных (консервационных) воды не должно быть.

Методика определения содержания воды заключается в отгонке воды из смеси консистентной смазки с растворителем. Растворителем служит лигроин тракторный или бензин.

### **Механические примеси**

Применение консистентной смазки, содержащей механические примеси (особенно абразивные), может вызвать быстрый износ смазываемых деталей.

Примеси могут попасть в смазку при вскрытии бочки, небрежном хранении, при использовании грязной тары, посуды и пр. Кроме того, загрязнение примесями может произойти в процессе изготовления смазки, если используется некачественное сырье (например, известь, содержащая песок и другие мелкие абразивные нерастворившиеся частицы).

Для определения содержания механических примесей применяют два метода.

Первый метод (ГОСТ 6479 – 53) заключается: 1) в разложении консистентной смазки 10 %-ной соляной кислотой и последующем растворении полученного продукта в петролейном эфире и спирто-бензольной смеси; 2) в обработке осадка на фильтре растворителем и дистиллированной водой; 3) в

определении веса нерастворившегося остатка.

Второй метод (ГОСТ 1036 – 50) заключается: 1) в экстрагировании консистентной смазки спирто-бензольной смесью; 2) в обработке осадка на фильтре горячей дистиллированной водой; 3) в определении веса нерастворившегося остатка.

Если содержание механических примесей в смазке не превышает 0,025 %, считают, что они отсутствуют.

#### **Ассортимент консистентных смазок**

Консистентные смазки (мази) делятся на низкоплавкие, среднеплавкие и тугоплавкие.

Низкоплавкие мази имеют температуру каплепадения до 65 °С.

Смазка УНЗ (пушечная, ГОСТ 3005 – 51) – универсальная защитная. Её получают на основе масла цилиндрического 11, загущенного петролатумом, церезином и едким натром. Она имеет вид мажеобразной массы от светлого до темно-коричневого цвета.

Служит для защиты от коррозии металлических поверхностей, не защищенных другими покрытиями, и для смазывания механизмов в летнее время.

Смазка УН (вазелин технический ГОСТ 782 – 59) является также универсальной. Ее получают путем загущения минерального масла петролатумом. По внешнему виду это однородная мазь без комков от светлого до темно-коричневого цвета. Смазка предназначена для механизмов, работающих при малых нагрузках и температуре не выше 50 °С, а также для защиты от коррозии металлических поверхностей.

Смазка приборная АФ-70 (смазка УНМА, ГОСТ 2967 – 52) получена путем загущения масла (МВП) свинцовым мылом с добавкой церезина. Имеет вид вазелиновой массы от светло-желтого до коричневого цвета. Ее применяют для смазывания механизмов и приборов при повышенных требованиях к прочности смазочной пленки.

Среднеплавкие мази имеют температуру каплепадения до 100 °С.

Универсальные среднеплавкие смазки выпускают трех марок: УС-1 (пресс-солидол), УС-2 (солидол Л) и УС-3 (солидол Т). Согласно ГОСТ 1033 – 51, их изготавливают из очищенных или выщелоченных минеральных масел различной вязкости, защищенных кальциевыми мылами. Эти смазки имеют вид однородной мази от светло-желтого до темно-коричневого цвета.

Смазку УС-1 применяют в централизованных смазочных системах, используемых для обслуживания узлов трения при средних удельных давлениях и в условиях повышенной влажности.

Смазка УС-2 предназначена для смазывания трущихся деталей различных машин и электродвигателей при рабочей температуре не выше 55 – 60 °С, средней скорости и нагрузке.

Смазку УС-3 применяют для смазывания отдельных трущихся и нагреваемых поверхностей, работающих с высокой нагрузкой при малых и средних скоростях в условиях высокой влажности при температуре не выше 80 °С.

Универсальные среднеплавкие синтетические смазки (ГОСТ 4366 – 6) выпускают трех марок УСс-1, УСс-2 и УСс-3. Изготавливают их из индустриального масла, загущенного кальциевыми мылами синтетических жирных кислот. По внешнему виду это однородная мазь без комков от светло-желтого до темно-коричневого цвета.

Смазка УСА (графитная ГОСТ 3333 – 55) – однородная маслянистая мазь черного цвета, смесь кальциевого мыла, масла цилиндрического 11 и графита. Она предназначена для смазывания открытых тяжело-нагруженных узлов трения.

Тугоплавкие смазки имеют температуру каплепадения выше 100 °С.

Универсальную тугоплавкую водостойкую смазку 1 – 13 (ГОСТ 1631 – 61) получают путем загущения минерального масла натриево-кальциевым и мылами касторового масла. Она имеет вид однородной мази без комков от светло-желтого до темно-коричневого цвета. Предназначена для смазывания шарикоподшипников и других узлов трения, работающих при средних и повышенных нагрузках и температуре не более 110 °С в условиях повышенной влажности.

Смазки УТ (консталин жировой, ГОСТ 1957 – 52) получают загущением очищенного или выщелоченного минерального масла натриевыми мылами жирных кислот. Они имеют вид однородной мази без комков от светло-желтого до темно-коричневого цвета. Эти смазки применяют для смазывания подшипников и других трущихся поверхностей при температуре не выше 120 °С (для смазки УТ-1) и не выше 135 °С (для смазки УТ-2).

Универсальные тугоплавкие синтетические смазки УТС (консталин синтетический, ГОСТ 5703 – 65) получают загущением минерального масла натриевыми мылами синтетических жирных кислот. Они имеют вид однородной мази темно-коричневого цвета. Эти смазки применяют для тех же целей, что и смазки УТ-1 и УТ-2.

Кроме, указанных, имеются и смазки специального назначения. К ним, например, относится текстильная смазка (ИТ, ГОСТ 4952 – 49), применяемая для смазывания колец крутильных машин. Ее получают загущением глубокоочищенного парфюмерного масла натриевыми мылами саломаса.

Из консистентных смазочных материалов в текстильной промышленности наибольшее применение находят солидолы.

### **9.3 Водяная смазка**

Многие подшипники хорошо работают лишь при смазке водой. К ним относятся подшипники, изготовленные из текстолита, древесно-слоистых пластиков, пластифицированной древесины. Гуммированные (облицованные резиной) подшипники также могут работать только при водяной смазке.

### **9.4 Воздушная смазка**

Воздух успешно используется для смазывания очень быстроходных, слабонагруженных небольших подшипников.

Так, воздух начинают применять для смазки опор веретен

центрифугальных машин. Указанный тип подшипников должен быть строго сцентрирован с вращающимся валом и иметь крайне малые зазоры. При таких условиях использование жидких смазок очень затруднено. Преимущество воздушной смазки заключается в том, что с повышением температуры и давления вязкость воздуха увеличивается, в результате чего несущая способность воздушного слоя между валом и подшипником также повышается.

В подшипники воздух подается под некоторым избыточным давлением. Благодаря большой скорости вращения и малой нагрузке происходит отделение вала от подшипника; вал всплывает на воздушном слое и располагается по отношению к опоре почти центрично. Ввиду очень малой вязкости воздуха сопротивление движению вала оказывается значительно меньше, чем при жидкой смазке.

### *9.5 Твердые смазки*

Из твердых смазок для смазывания трущихся деталей наибольшее применение находят дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) и графитные препараты.

Дисульфид молибдена. Это вещество относится к группе твердых смазочных материалов, имеющих слоистое строение.

При очень малой скорости скольжения коэффициент трения металлических поверхностей, смазанных порошком  $\text{MoS}_2$ , оказывается весьма низким и соизмеримым с величиной коэффициента трения, получаемой при жидкостном трении. С повышением удельного давления величина коэффициента трения падает. Объясняется это тем, что благодаря пластинчатой структуре при повышении удельной нагрузки не возрастает, как обычно, фактическая площадь контакта. С увеличением касательной силы на поверхности трения усиливаются расслоение пластинок  $\text{MoS}_2$  и ориентация в направлении движения.

Различают следующие виды смазочных материалов на основе дисульфида молибдена: порошки и пасты; консистентные смазки; жидкости; лаки; специальные составы.

Порошки  $\text{MoS}_2$  применяют для натирания трущихся поверхностей. Такие поверхности отличаются очень низким сопротивлением относительно перемещению. Дисульфид молибдена в виде порошка широко применяют также в качестве компонента пластмасс, синтетического каучука и некоторых других материалов, улучшают их антизадирные свойства при трении всухую. С этой целью в состав пластмассы или резиновой смеси добавляют 2–5 % порошка  $\text{MoS}_2$ .

Пасты дисульфида молибдена делают на основе маловязкого нефтяного масла, силикона или полигликоля. Пасты на маловязком нефтяном масле используют в парах скольжения, работающих в условиях скудной смазки и при нормальной температуре. Применение  $\text{MoS}_2$  предупреждает заедание и усиленное истирание деталей.

Консистентные смазки с дисульфидом молибдена употребляют в тех случаях, когда смазочный слой на поверхностях трения должен непрерывно

возобновляться, поскольку при покрытии пастой MoS<sub>2</sub> образуется лишь тонкая пленка, способная защитить поверхность от задираания только в течение ограниченного срока, например, во время приработки.

В отдельных процессах и машинах текстильного производства используются также и некоторые другие свойства дисульфид-молибденовых смазок. Так, например, в процессе карбонизации стойкость смазки к действию кислот; в крашении – жаро- и паростойчивость; в крашении и белении – водоотталкивающая способность; в сушильных установках – высокая теплостойкость.

Графитные препараты. Графит так же, как и дисульфид молибдена, является одним из самых распространенных твердых смазочных материалов. Коэффициент трения графита составляет 0,1 – 0,15.

Высокие антифрикционные свойства графита объясняются его слоистым (пластинчатым) строением. Графит состоит из тонких пластинок, легко скользящих друг по другу, но в то же время обладающих высоким сопротивлением сжатию. Связи между этими пластинами слабы по сравнению со связями между атомами самих пластин.

Графит имеет следующие преимущества по сравнению с MoS<sub>2</sub>: меньшая дефицитность, лучшая возможность очистки графита от примесей, большая долговечность при малых удельных давлениях и, наконец, большая стойкость к окислению при повышенных температурах.

Графит в чистом виде редко применяют как смазочный материал. Его чаще используют в различных металлокерамических композициях, в которых он выполняет функции смазки. Широкое распространение имеет коллоидный графит, используемый для изготовления водных или масляных препаратов, вводимых затем в масло в количестве 1 – 2 %. Такое масло называют графитированным. В химически нейтральном масле коллоидный графит находится во взвешенном состоянии. При избытке в масле кислот или щелочей графит выпадает в виде хлопьевидного осадка.

В процессе смазывания графитированным маслом металлические поверхности выглаживаются не за счет истирания неровностей, а благодаря заполнению впадин графитной массой, смешанной с маслом. При этом получается так называемая графоидная поверхность, обладающая рядом ценных свойств: к такой поверхности смазочное масло прилипает в 7 – 10 раз лучше, чем к чистой металлической; в несколько раз повышается коэффициент надежности работы узла (в частности, подшипника); в случае смазочного голода заедание не наступает в течение длительного времени.

### ***9.6 Способы и системы смазки***

Существуют два способа смазывания трущихся поверхностей – индивидуальный и централизованный. При индивидуальном способе каждая трущаяся пара имеет отдельное устройство, близко расположенное к месту смазывания. При централизованном способе несколько отдельно расположенных трущихся пар (смазочных точек) смазываются одним

многоточечным устройством.

Смазывание деталей машин производят периодически или непрерывно. При этом смазочный материал могут подавать без принудительного давления (за счет силы тяжести масла или капиллярных сил и под принудительным давлением (от насоса или другого приспособления). Подача смазочного материала под давлением позволяет ему проникнуть в очень узкие зазоры между деталями и в различных направлениях по смазочным каналам.

Масло, прошедшее между смазываемыми поверхностями трущихся деталей, в одних случаях не возвращается к этим же местам, а в других – автоматически возвращается, притом неоднократно. В соответствии с этим системы смазки называются проточной и циркуляционной. Бывают и смешанные системы: смазывание производят с использованием проточной и циркуляционной систем.

На рис. 7, 8 и 9 приведены классификации способов подачи жидкой и консистентной смазки. В этих классификациях указаны основные смазочные устройства.

Кроме устройств для подачи смазки в состав смазочных систем могут входить также устройства для распределения и дозировки смазки, контроля ее состояния и наличия, для очистки (фильтрации) смазочных материалов от посторонних примесей, предохранения смазки от вытекания из зоны трения, попадания в нее пыли, грязи и т. п. Способ подачи смазочного материала выбирают в зависимости от режима смазки, ее надежности, трудоемкости обслуживания узлов трения и расхода смазочных материалов.

Выбор системы смазки зависит от габаритных размеров машины, числа мест смазывания (смазочных точек) и расположения их в машине; соотношения между числом подвижных и неподвижных сопряжений в машине; доступности и удобства индивидуального смазывания узлов; возможности наблюдения за наличием смазочного материала в узлах трения и др.

Немаловажное значение при выборе системы смазки имеет назначение и стоимость смазываемой машины. Для распространенных и дешевых машин (например, ткацких станков) важными показателями являются простота устройства и обслуживания смазочной системы, малый расход смазочных материалов и низкая ее стоимость. Для сложных, агрегированных, уникальных и дорогих машин (например, разрыхлительно-трепального агрегата, станка СТБ) важнейшим показателем является безотказная и высокая надежность работы, обеспечивающая соблюдение заданного режима смазки.

В текстильных машинах применяют проточную централизованную систему смазывания без принудительного давления в сочетании с индивидуальной. Более совершенной является централизованная циркуляционная система под принудительным давлением. Ее используют значительно реже, главным образом в сложных дорогих и уникальных машинах.

Витебский государственный технологический университет

Витебский государственный технологический университет

Витебский государственный технологический университет

Наибольшее применение находят смешанные системы: ответственные узлы смазывают централизованно, а отдельные детали и узлы – индивидуально.

В текстильной промышленности в последнее время все большее распространение имеют машины с очень быстроходными узлами (центрифугальные веретена, электроверетена и др.). Для этих и подобных узлов обычные способы смазывания малоэффективны. Лучшие результаты получают при использовании аэрозольной смазки (смазка масляным туманом), т. е. масляно-воздушной смесью, в которой распыленные частицы масла находятся в воздухе во взвешенном состоянии

### 9.7 Зарубежная классификация масел

#### Индустриальные масла

Среди классификаций на масла наиболее полно разработаны стандарты серии МС ИСО 6749 «Смазочные материалы, индустриальные масла и родственные продукты (Класс I). Классификации групп».

Классификация включает 17 групп продуктов, на которые делится этот класс в соответствии с областью применения (табл. 6).

Таблица 6 – Деление на группы согласно области применения

Группа	Применение
A	Открытые общие системы
B	Освобождение от формы
C	Зубчатые передачи
D	Компрессоры (включая охлаждение)
E	Двигатели внутреннего сгорания
F	Шпиндели, подшипники и связанные с ними сцепления
G	Ползуны
H	Гидравлические системы
M	Металлообработка
N	Электроизоляция
P	Пневматические инструменты
Q	Теплопередача
R	Временная защита от коррозии
T	Термообработка. Турбины (этот класс охватывает газовые и паровые турбины)
X	Применения, требующие смазки
Y	Прочее применение
Z	Цилиндры для паровых машин

Использование международной классификации, построенной по принципу применения смазочных материалов, позволяет сгруппировать смазочные материалы, выпускаемые в различных странах под различными фирменными наименованиями, в классы по области применения, что значительно облегчает решение задачи по подбору смазочных материалов для оборудования.

Взаимозаменяемость смазочных материалов, производимых в разных странах и предназначенных для разной техники, устанавливают путем комплексной оценки их функциональных свойств на лабораторных приборах и установках, стендах с модельными и натурными узлами трения, полноразмерных двигателях, в реальных машинах и механизмах в условиях эксплуатации.

Принципы и критерии оценки этих свойств, а также оборудование, используемое при проведении испытаний всех видов, в разных странах, в основном, одинаковы. Однако конкретные – лабораторные, стендовые, моторные и эксплуатационные методы могут заметно отличаться. Кроме того, среди специалистов даже одной страны может не быть единой точки зрения по поводу приводимой классификации методов, т. е. эта классификация в значительной степени условна.

## **10 Восстановление работоспособности деталей и узлов**

В зависимости от масштабов производства применяют следующие организационные формы восстановления деталей: подефектную, групповую, маршрутно-групповую и маршрутную.

Подефектная технология состоит в устранении каждого дефекта в отдельности. Комплектование деталей в партии осуществляют только по наименованиям.

При групповой технологии детали классифицируют по конструктивным и технологическим особенностям с последующим объединением их в технологические группы.

Групповая технология базируется на следующих принципах: общность геометрических форм изношенных деталей; общность деталей по материалу; точности обработки и термической обработке; наличие у деталей каждой группы однотипных дефектов; возможность применения однотипных способов устранения дефектов; возможность осуществления технологического процесса восстановления деталей, входящих в группу на однотипном оборудовании.

Формирование групп деталей проводят на участке дефектации, откуда эти группы направляют на восстановление.

При восстановлении деталей по маршрутной технологии одноименные детали восстанавливают партиями, скомплектованными по наличию общих сочетаний дефектов. Маршрутная технология основана на взаимосвязи дефектов, минимальном перемещении деталей, наименьшей разнице в трудоемкости устранения дефектов, объединении различных дефектов, которые могут быть устранены на общих рабочих местах одинаковыми технологическими способами. Эту технологию целесообразно применять на крупных предприятиях по восстановлению деталей узкой номенклатуры с большими программами.

Маршрутно-групповую технологию применяют при восстановлении деталей широкой номенклатуры с использованием преимуществ маршрутной технологии. В этом случае детали комплектуют на участке дефектации в

технологические маршруты по сочетанию дефектов и конструктивно-технологическим признакам. В соответствии с маршрутом детали запускают в производство партиями.

Применение групповой, маршрутной и маршрутно-групповой технологий позволяет улучшить качество восстановления деталей за счет выбора наиболее целесообразного способа восстановления, как правило, на высокопроизводительном, точном, механизированном и автоматизированном оборудовании.

При восстановлении отдельных деталей основной задачей является придание их изношенным поверхностям первоначальных параметров. Основными технологическими приемами при этом являются наплавка и напыление металлопокрытий, осаждение металла, формоизменение, диффузия, структурные изменения, нанесение полимерных материалов.

Способ восстановления детали выбирают при последовательном сопоставлении требуемых параметров (по ремонтному чертежу детали) с достигаемыми в процессе восстановления.

При отборе в приведенной последовательности устанавливают: возможность применения способа для конструктивно-технологической группы с определенными размерными характеристиками; возможность применения покрытия для материала основной детали и сочетаемость наносимого покрытия с материалом сопрягаемой детали; возможность обеспечения заданной толщины покрытия для компенсации износа и необходимого припуска на последующую обработку; необходимость и возможность предварительной обработки; вид механической и финишной обработки и достигаемую точность и шероховатость; достигаемую твердость поверхности после нанесения покрытия, необходимость термической обработки и ее вид; достигаемую износостойкость при работе с сопрягаемой деталью; сплошность покрытия; прочность сцепления; снижение сопротивления усталости; стабильность получения заданных показателей.

При восстановлении работоспособности сопряжений и посадок бывает целесообразно изменить первоначальные размеры деталей.

При восстановлении посадки с изменением первоначальных размеров основную, наиболее ценную детали сопряжения обрабатывают до выведения следов износа и получения правильной геометрической формы. Вторую, сопрягаемую с ней, более простую деталь изготавливают заново или наращивают и при обработке подгоняют к размеру первой детали до получения необходимой посадки. Этот способ не обеспечивает взаимозаменяемости деталей и поэтому получил название восстановления под индивидуальный размер. Способ находит применение в условиях единичного ремонта.

Восстановление детали под ремонтный размер – наиболее прогрессивный и широко применяемый способ. Сущность его заключается в том, что основную, наиболее сложную, деталь обрабатывают не до произвольного (индивидуального), а до заранее установленного размера. Сопрягаемую с ней деталь изготавливают под этот же размер с сохранением допусков новой детали.

В связи с тем, что ремонтные размеры заранее установлены и известны, вторую деталь можно изготовить независимо от первой и даже на другом предприятии. В этом случае на ремонтных чертежах деталей указывают категорийные ремонтные размеры.

Многие детали при ремонте машин восстанавливают способом постановки дополнительного элемента. Сущность этого способа состоит в том, что изношенные или поврежденные части деталей удаляют, а на их место устанавливают вновь изготовленные и обрабатывают деталь под номинальный размер. Этот способ осуществляют с применением нескольких характерных приемов: отверстия и валы восстанавливают постановкой втулок, гильз или колец; детали сложной конфигурации ремонтируют удалением дефектного и установкой нового элемента детали (зубчатого венца, шлицевой втулки, шлицевого конца вала и др.); плоские поверхности восстанавливают постановкой планок или накладок.

### **10.1 Контроль качества восстановления**

Качество восстановления деталей оценивают степенью соответствия полученных физико-механических свойств и геометрических параметров заданными техническими условиями на восстановление детали и ремонтным чертежом аналогичным свойствам и параметрам.

При восстановлении деталей выполняют летучий, промежуточный и окончательный контроль. Летучий контроль проводят выборочно как на отдельных операциях технологического процесса, так и на готовых деталях. Промежуточный контроль выполняют пооперационно и по сгруппированным операциям. Проверку, как правило, осуществляют непосредственные исполнители работ, а также мастера, бригадиры, руководители подразделений. Периодически промежуточный контроль проводят работники ОТК предприятия. Окончательный контроль всех восстановленных деталей проводят работники ОТК предприятия.

При контроле шейки валов и отверстия измеряют в нескольких плоскостях и сечениях. Шлицевые части валов и шлицевые ступицы контролируют по наружному и внутреннему диаметрам шлицев, толщине каждого зуба (ширине впадины) универсальными средствами измерения, комплексными калибрами или новыми сопрягаемыми деталями. Резьбовые части валов и отверстия проверяют калибром-кольцом и калибром-пробкой на всей длине резьбы, взаимное расположение поверхностей – специальными приборами и приспособлениями с индикаторами.

При сварке и наплавке проверяют качество швов, толщину наплавленного металла, обрабатываемость, плотность наплавленного металла и его твердость, а также режим наплавки. Наплывы, подрезы, трещины, кратеры, непровары, поры, раковины, шлаковые включения выявляют при осмотре невооруженным глазом и через лупу. Ответственные детали после предварительной обработки подвергают магнитной или ультрафиолетовой дефектоскопии.

Герметичность контролируют керосином или воздухом при определенном

давлении, а при необходимости – гидравлическим методом на специальных стендах. Твердость наплавленного металла определяют с использованием твердомеров.

Гальванические покрытия контролируют по внешнему виду осажденного металла. При осмотре может быть использована лупа. При контроле выявляют трещины, поры, отслоение осадка от основного металла, дендритные наросты, пятна, пригар. Прочность сцепления осадка с основным металлом проверяют методом нанесения на поверхность осадка острым шабером перекрещивающихся царапин глубиной до основного металла и через лупу осматривают места царапин. Отслоение осадка в этих местах свидетельствует о плохой сцепляемости. Твердость гальванических покрытий контролируют на приборе типа ПМТ-3 или с помощью твердомера Виккерса.

Для обеспечения высокой надежности контрольно-измерительных операций все измерительные приборы и инструмент должны периодически подвергаться проверке через установленные промежутки времени, гарантирующие поддержание их точности в заданных пределах. Все приборы и инструмент должны быть обеспечены инструктивной документацией по правилам пользования.

## ***10.2 Классификация способов восстановления***

В производственных условиях разработаны и реализованы десятки различных способов восстановления деталей. Выбор наиболее приемлемого способа состоит в техническом, экономическом и организационном анализе требований к восстановленным деталям с учетом условий работы их в сопряжениях, производственной программы, оснащенности предприятий, обеспеченности материалами, энергией, рабочей силой и других конкретных мероприятий.

### **Сварка**

Сварка стальных деталей. Технологические процессы сварки и наплавки занимают ведущее место при ремонте изделий, поскольку с их помощью восстанавливают почти 70 % всех деталей.

Большое разнообразие форм и размеров деталей обуславливает необходимость применения в ремонтном производстве разных видов сварки.

Ручную дуговую сварку выполняют, как правило, металлическими электродами при питании дуги постоянным или переменным током. Электрическая дуга постоянного тока более стабильна, кроме того, эту сварку можно проводить при прямой или обратной полярности, присоединяя в первом случае к детали плюс источника энергии, а к электроду – минус, а в другом случае – наоборот.

Обратная полярность позволяет уменьшить глубину проплавления детали, поскольку на положительном электроде выделяется тепла на 20 % больше, нежели на отрицательном. Поэтому детали толщиной менее 3 мм необходимо сваривать постоянным током обратной полярности, чтобы избежать прожогов.

При восстановлении деталей дуговой сваркой возникают следующие

нежелательные последствия: окисляется металл, поглощается азот, выгорают легирующие добавки, происходят объемные и структурные превращения, что приводит к короблению деталей, нарушению термической обработки и снижению твердости. Окисление металла понижает механические свойства и пластичность наплавленных или сваренных участков. Поглощение азота за счет образования нитрида железа, марганца и других элементов увеличивает прочность сварного шва, однако резко уменьшает его пластичность.

Для уменьшения отрицательного влияния рассмотренных явлений на восстанавливаемые детали сварку или наплавку выполняют электродами с обмазкой. При выборе электродов необходимо учитывать их назначение. Если электроды применяют для сварки разрушенных деталей, их выбирают исходя из условий максимального приближения качества и свойств материала шва к металлу восстанавливаемой детали, чтобы твердость была одинаковой на всех участках. При наплавке изношенных поверхностей основным критерием является твердость наплавленного слоя и износостойкость.

Электроды для сварки обозначают буквой «Э» и двумя цифрами, например Э-42. Цифры после буквы свидетельствуют о прочности шва на разрыв. Электроды для наплавки обозначают двумя буквами «ЭН» и цифрами, показывающими гарантированную твердость наплавленного слоя. Наплавочные электроды специального назначения обозначают тремя буквами. Например, электрод типа ЭНР-62 расшифровывается так: электрод для наплавки режущего инструмента обеспечивает твердость слоя HRQ 63.

Каждому типу электрода может соответствовать несколько марок обмазки. Обмазки электродов по составу подразделяют: на руднокислые – Р, рутиловые – Т, фтористо-кальциевые – Ф, органические – О. Наибольшее распространение в ремонтной практике получили группы Р, Т и Ф. К группе Р относятся электроды ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-8; к группе Т – ЦМ-9, ОЗС-6, АНО-3; к группе Ф – УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65. Для наплавки интенсивно изнашивающихся деталей машин применяют порошкообразные твердые сплавы (У35Х717, вокар, ВИСХОМ-9, боридную смесь), литые твердые сплавы (стеллиты: В2К, В3К, В3К-ЦЭ и стеллитоподобные сплавы – сормаиты: 1 и 2), порошковые электроды.

Вокар – механическая смесь измельченного вольфрама с углеродом. Твердость наплавленной поверхности составляет HRQ 57 – 64 при высокой износостойкости. Боридная смесь БХ состоит из 50 % (массовая доля) борид хрома и 50 % железного порошка. Твердость первого наплавленного слоя HRQ 83 – 85.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей и размещения сварного шва в пространстве. При потолочной сварке применяют электроды диаметром около 4 мм, при вертикальной – до 5 мм. При сварке деталей толщиной до 4 мм диаметр электрода должен равняться толщине деталей. На рисунке 10 представлен график выбора диаметра электрода в зависимости от толщины свариваемых поверхностей.

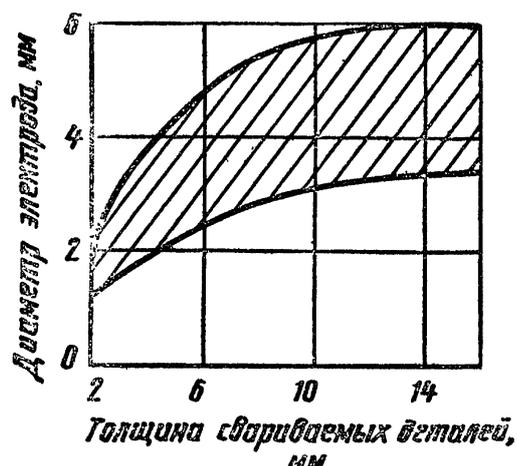


Рисунок 10 – Зависимость диаметра электрода от толщины свариваемых деталей

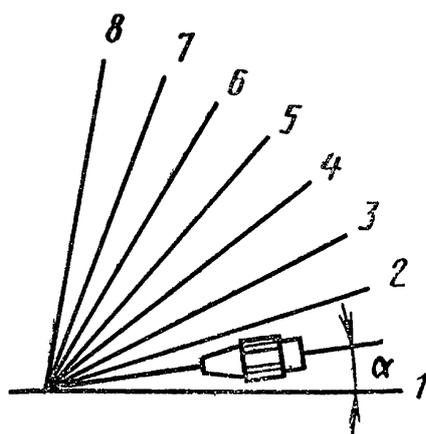
Газовую сварку и наплавку осуществляют, как правило, ацетиленокислородным нейтральным пламенем. В отдельных случаях применяют восстановительное пламя, а при резании металлов – окислительное пламя.

Ацетилен при организации ремонтных работ получают с помощью ацетиленовых генераторов. Кислород (ГОСТ 5583 – 78) сохраняют и транспортируют в стальных баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа. Использовать кислород из баллона можно до остаточного давления 0,05 – 0,1 МПа.

Химический состав и физико-механические свойства материала присадочных прутков должны быть близки к составу и свойствам материала восстанавливаемой детали, но с большим содержанием легко окисляющихся компонентов. Марку присадочной проволоки и ее диаметр выбирают по ГОСТ 2246 – 70.

Техника выполнения газовой сварки и режимы процесса в значительной степени влияют на качество сварного соединения. При ручной сварке пламя направляют на свариваемые кромки так, чтобы они находились в восстановительной зоне на расстоянии 2 – 6 мм от конца ядра. Конец присадочной проволоки также держат в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

Положение горелки (угол наклона ее мундштука к поверхности свариваемого металла) зависит от толщины соединяемых кромок изделия и теплопроводности металла. Чем толще металл и чем больше его теплопроводность, тем угол наклона мундштука горелки должен быть больше. Это способствует более концентрированному нагреву металла вследствие подведения большего количества теплоты. Углы  $\alpha$  наклона мундштука горелки в зависимости от толщины  $s$  металла при сварке низкоуглеродистой стали приведены на рис. 11. В начале сварки для быстрого и лучшего прогрева металла устанавливают наибольший угол наклона, затем в процессе сварки этот угол уменьшают до нормы, а в конце сварки постепенно уменьшают, чтобы лучше заполнить кратер и предупредить пережог металла.



Номер кривой	1	2	3	4	5	6	7	8
$s$ , мм	до 1	1 – 3	3 – 5	5 – 7	7 – 10	10 – 12	12 – 15	Св. 15
$\alpha$ , град.	10	20	30	40	50	60	70	80

Рисунок 11 – Углы наклона мундштука горелки в зависимости от толщины свариваемого металла

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый. При правом способе (рис. 12 а) процесс сварки ведется слева направо. Горелка перемещается впереди присадочного прутка, а пламя направлено на формирующийся шов. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварного шва. Такой способ позволяет получить швы высокого качества. При левом способе (рис. 12 б) процесс сварки выполняют справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки и подготавливает их, подготавливая к сварке.

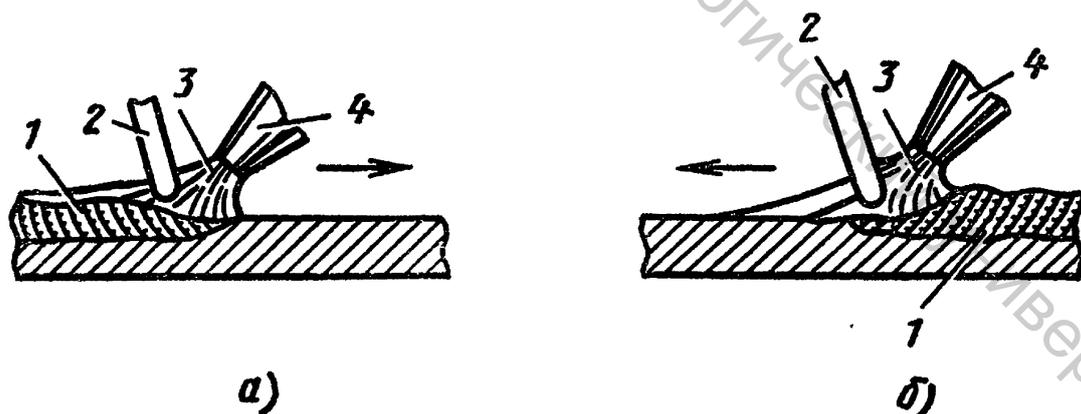


Рисунок 12 – Основные способы газовой сварки:

1 – формирующий шов, 2 – присадочный пруток; 3 – пламя горелки; 4 – горелка

Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия, а позади – наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень ее использования. Однако при левом способе

внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и может получить его равномерным по высоте и ширине. Это особенно важно при сварке тонких листов. Поэтому тонкий металл сваривают левым способом. Кроме того, при левом способе пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность его пережога.

Выбор способа сварки зависит также от пространственного положения шва. При сварке швов в «нижнем положении» выбор способа сварки, как указывалось ранее, зависит от толщины металла. Сварку вертикальных швов снизу вверх выполняют левым способом (рис. 13 а). Сварку на вертикальных поверхностях горизонтальными швами выполняют левым способом, направляя пламя горелки на заваренный шов (рис. 13 б). Для предупреждения вытекания расплавленного металла сварочную ванну формируют с небольшим перекосом. Потолочные швы (рис. 13 в) легче сваривать правым способом, так как в этом случае газовый поток пламени направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны.

В процессе сварки мундштук горелки и присадочный пруток совершают одновременно два движения: одно – вдоль оси свариваемого шва и второе – колебательные движения поперек оси шва. При этом конец присадочного прутка движется в направлении, обратном движению мундштука.

Для получения сварного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения ее по свариваемому шву.

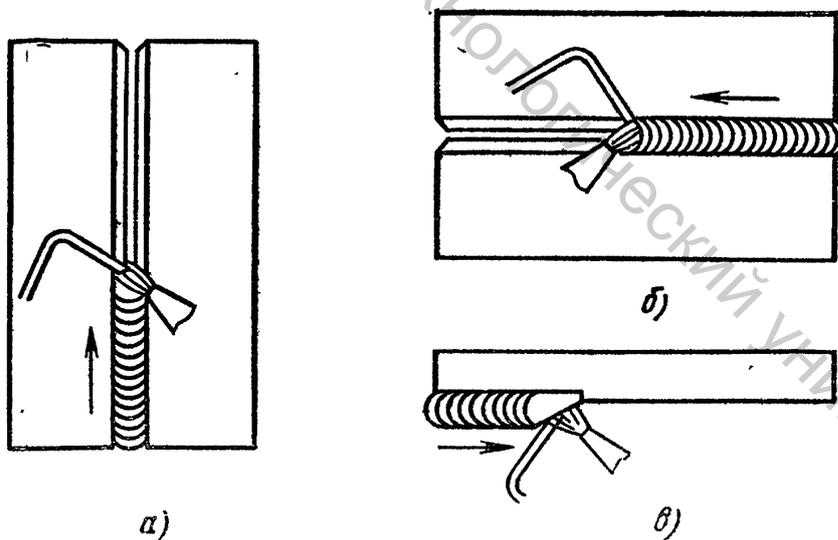


Рисунок 13 – Схемы горизонтального и вертикального способов сварки

Подготовка кромок состоит в очистке их от масла, окалина и других загрязнений, разделке под сварку и прихвате короткими швами.

Свариваемые кромки зачищают на ширину 20 – 30 мм с каждой стороны шва. Для этой цели можно использовать пламя сварочной горелки. При нагреве окалина отстает от металла, а краска и масло выгорают. Затем поверхность

свариваемых деталей зачищают стальной щеткой до металлического блеска. При необходимости (например, при сварке алюминия) свариваемые кромки травят в кислоте и затем промывают и сушат.

Разделка кромок под сварку зависит от типа сварного соединения, а тип соединения – от взаимного расположения свариваемых деталей.

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространенным типом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок (рис. 14 а) без присадочного материала или встык без разделки кромок и без зазора (рис. 14 б), но с присадочным материалом. Металл толщиной 2 – 5 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними (рис. 14 в). При сварке металла толщиной более 5 мм применяют разделку кромок (рис. 14 г). Угол скоса выбирают в пределах  $70 - 90^\circ$ ; при этих углах получают хороший провар вершины шва.

Угловые соединения (рис. 14 д) также часто применяют при сварке металлов малой толщины. Такие соединения сваривают без присадочного металла. Шов получается за счет расплавления кромок свариваемых деталей.

Нахлесточные (рис. 14 е) и тавровые (рис. 14 ж) соединения рекомендуются при сварке металлических деталей толщиной менее 3 мм, так как при больших толщинах неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформацию и даже трещины в шве и основном металле.

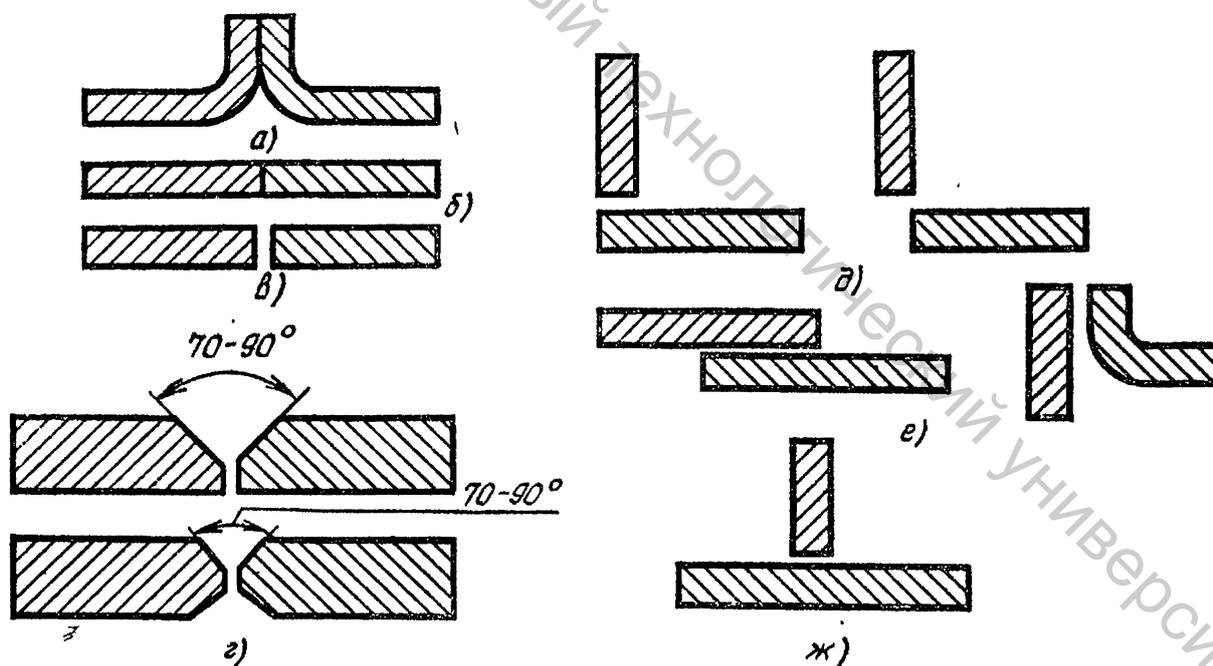


Рисунок 14 – Виды соединений при газовой сварке

Скос кромок выполняют ручным или пневматическим зубилом, а также на кромкострогальных или фрезерных станках. Экономичным способом подготовки кромок является ручная или механизированная кислородная резка, образующиеся при резке шлаки и окалину удаляют зубилом и металлической щеткой.

Чтобы не допустить изменения положения свариваемых деталей и зазора между кромками в течение всего процесса сварки, изделие закрепляют в приспособлениях или с помощью прихваток. Длина прихваток, их число и расстояние между ними зависят от толщины металла, длины и конфигурации свариваемого шва. При сварке тонкого металла и при коротких швах длина прихваток составляет 5 – 7 мм, а расстояние между прихватками 70 – 100 мм. При сварке толстого металла и значительной длине швов прихватки делают длиной 20 – 30 мм, а расстояние между ними – 300 – 500 мм.

Основные параметры режима сварки выбирают в зависимости от свариваемого металла, его толщины и типа изделия. Определяют необходимую мощность пламени, вид пламени, марку и диаметр присадочной проволоки, технологию сварки. Швы накладывают одно- и многослойные. При толщине металла до 6 – 8 мм применяют однослойные швы, до 10 мм – в два слоя, более 10 мм – в три слоя и более.

Толщина слоя при многослойной сварке зависит от размеров шва, толщины металла и составляет 3–7 мм. Перед наложением очередного слоя поверхность предыдущего слоя должна быть хорошо очищена металлической щеткой. Сварку выполняют короткими участками. При этом стыки валиков в слоях не должны совпадать. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при однослойной. В процессе сварки при наплавке очередного слоя происходит отжиг нижележащих слоев. Все эти условия позволяют получить сварной шов высокого качества, что очень важно при сварке ответственных конструкций. Однако производительность сварки в этом случае низкая, а расход горючего газа большой.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Присадочным материалом служит сварочная проволока по ГОСТ 2246 – 70. Ответственные конструкции из низкоуглеродистой стали сваривают, применяя низкоуглеродистую проволоку. Наилучшие результаты дают проволоки марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Сварные швы, образованные с применением этой проволоки, имеют высокие механические свойства. Удельная мощность пламени – 100 – 150 л/(ч\*мм).

### **10.3 Наплавка**

Наплавка по сравнению с другими способами восстановления дает возможность получать на поверхности деталей слой необходимой толщины и нужного химического состава, высокой твердости и износостойкости.

В общем объеме работ по восстановлению деталей на ремонтных предприятиях различные способы восстановления составляют, наплавка подслоем флюса 32 %; вибродуговая наплавка 12 %; наплавка в среде углекислого газа 20 %; наплавка порошковой проволокой без флюсовой или газовой защиты 10 %; плазменная наплавка 1,5 %; электроконтактное напекание 6 %; гальванические способы 5 %; электромеханическая обработка 1 %; электрошлаковая наплавка 1,5 %; заливка деталей жидким металлом 2 %; восстановление деталей полимерами 5 %; другие способы 5 %.

### 10.4 Автоматическая наплавка под слоем флюса

При такой наплавке в зону горения дуги (рис. 15) подают сыпучий флюс, состоящий из отдельных мелких крупиц (зерен). Под воздействием высокой температуры часть флюса плавится, образуя вокруг дуги эластичную оболочку, которая надежно защищает расплавленный металл от действия кислорода и азота. После того как дуга переместилась, жидкий металл твердеет вместе с флюсом, образуя на наплавленной поверхности ломкую шлаковую корку. Флюс, который не расплавился, может быть снова использован. Наплавку под слоем флюса применяют для восстановления многих деталей тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин.

Автоматическая наплавка эффективна в тех случаях, когда нужно наплавить слой толщиной более 3 мм (например, при выполнении наплавки на деталях ходовой части тракторов и сельскохозяйственных машин – катках, цапфах, роликах, осях и т. д.), глубокое проплавление нежелательно, так как оно увеличивает деформацию.

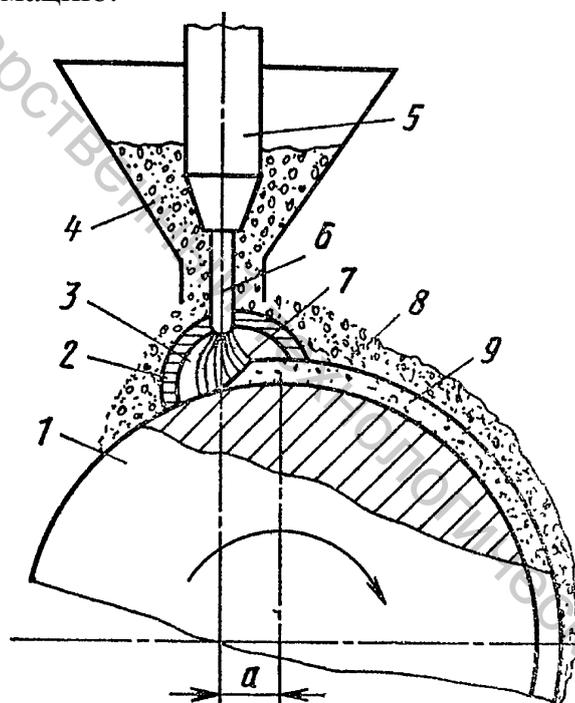


Рисунок 15 – Схема автоматической наплавки: 1 – наплавляемая деталь; 2 – оболочка жидкого флюса; 3 – эластичная оболочка; 4 – бункер с флюсом; 5 – мундштук; 6 – электрод; 7 – электрическая дуга; 8 – шлаковая корка; 9 – наплавленный металл; а – смещение с зенита детали

Главным фактором, влияющим на глубину проплавления, является сила тока:

$$h = K \sqrt[3]{\frac{I^4}{v_f U^2}},$$

где  $h$  – глубина проплавления, мм;  $K$  – коэффициент;  $I$  – сила тока, А;  $V_H$  – скорость наплавки, мм/мин;  $U$  – напряжение, В.

Влияние на глубину проплавления оказывает относительное размещение электрода и детали. В практике применяют наплавку углом вперед, при которой глубина проплавления меньше, чем при наплавлении углом назад. Глубина проплавления также уменьшается с увеличением вылета электрода.

Для наплавки под слоем флюса применяют устанавливаемые на токарных станках или специальных установках головки типов А-580, О КС-1031 Б, ОКС-1252М.

Качество наплавленного металла и его износостойкость зависят от марки электродной проволоки, флюса и режима наплавки.

Для наплавки низкоуглеродистых и низколегированных сталей используют проволоку из низкоуглеродистых (Св-08, Св-08А), марганцовистых (Св-08Г, Св-08ГА) и кремний-марганцовистых (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС) сталей.

Стали с большим содержанием углерода наплавляют проволокой Нп-65Г, Нп-80, Нп-30ХГСА, Нп-40Х13 (ГОСТ 10543 – 82).

Флюсы подразделяют на плавные, керамические и флюсы-смеси.

Плавные флюсы АН-348А, АН-60, ОСУ-45, АН-20, АН-28 содержат стабилизирующие и шлакообразующие элементы, но в состав этих флюсов не входят легирующие добавки, что не способствует повышению прочности и износостойкости наплавленного металла.

Керамические флюсы АНК-18, АНК-19, ЖСН-1, кроме стабилизирующих и шлакообразующих элементов, содержат легирующие добавки – ферросплавы, которые при наплавке малоуглеродистой проволокой обеспечивают высокую твердость и износостойкость наплавленного металла.

Флюсы-смеси состоят из флюса АН-348А с добавлением феррохрома, ферромарганца и графита. Смесь расстилают слоем 15 – 20 мм на листе, сушат 15 – 25 мин при температуре 100 – 120 °С, а затем просеивают через сито № 16 и высушивают при температуре 150 – 200 °С в течение 3 – 4 ч. Смешивая агломерат с флюсом в необходимом соотношении, получают легирующий флюс, применение которого позволяет получать наплавленный слой однородного химического состава, высокой твердости и износостойкости.

При наплавке могут возникнуть такие дефекты: неравномерность ширины и высоты наплавленного валика из-за износа мундштука или подающих роликов; чрезмерного вылета электрода; наплыв металла вследствие чрезмерной силы сварочного тока или недостаточного смещения электродов из зенита; поры в наплавленном металле из-за повышенной влажности флюса (его необходимо просушить в течение 1 – 1,5 ч при температуре 250 – 300 °С); неустойчивая дуга как следствие ненадежного контакта.

### ***10.5 Наплавка порошковой проволокой***

Хорошие результаты при наплавке дает использование порошковой проволоки, в состав которой входят феррохром, ферротитан, ферромарганец, графитовый и железный порошки. Наплавку выполняют под слоем флюса или в среде защитного газа, но при введении в проволоку соответствующих компонентов возможна наплавка и без флюсовой или газовой защиты.

Порошковую проволоку изготавливают на специальных станках методом волочения. Исходным материалом служит лента из низкоуглеродистой стали и порошок, содержащий необходимые элементы.

Используют два типа порошковой проволоки для наплавки под флюсом и для наплавки открытой дугой без дополнительной защиты. Разбрызгивание электродного материала во время наплавки порошковой проволокой уменьшается при применении постоянного тока низкого напряжения (20 – 21 В) от источника питания с жесткой внешней характеристикой.

Порошковые проволоки марок ПП-АН122 (30X5Г2МО) и ПП-АН128 (35X4Г2СМ) при наплавке открытой дугой имеют по физико-механическим свойствам наплавленного металла и технологичности некоторые преимущества перед другими материалами: можно увеличить силу тока, т. е. производительность процесса в 2 раза и более; отпадает операция отделения шлаковой корки от детали после наплавки; микроструктура металла при наплавке на сталь 45 (материал коленчатых валов) трооститно-мартенситная, твердость 51,5 – 57 НРСа; износостойкость в 1,6 – 2 раза больше, чем у стали 45, закаленной токами высокой частоты (ТВЧ).

Для наплавки порошковой проволокой используют токарные станки с головками А-580М, ОКС-1252М, А-765, А-1197, а также специальные станки УД-139, УД-140, УД-143, УД-144, УД-209, УД-233, У-651, У-653, ОКС-11200, ОКС-11236, ОКС-11238, ОКС-14408.

Источниками питания дуги являются преобразователи ПСГ-500, выпрямители ВДУ-504, ВДУ-301, ВДУ-1001, ВС-600, В ДМ-1001. Использование порошковой проволоки позволяет снизить расход сварочной проволоки. Так, для получения 1 кг наплавленного металла расходуется 1,6 кг электродов, а при наплавке порошковой проволокой открытой дугой и под слоем флюса – 1,15 – 1,25 кг.

Для большинства марок порошковой проволоки коэффициент наплавки составляет 13 – 15 г/(А\*ч), т. е. значение коэффициента значительно выше, чем при наплавке обычными электродами. Наплавку порошковой проволокой и лентой выполняют при постоянном токе обратной полярности. Диаметр электродной проволоки зависит от толщины наплавленного металла с припуском на механическую обработку 0,8 – 1,5 мм на сторону. Силу тока выбирают в зависимости от скорости наплавки и диаметра проволоки.

Наплавка в среде углекислого газа. Этот способ в значительной степени отличается от других способов восстановления деталей – не нужно ни флюсов, ни электродных покрытий. Дуга между электродом и наплавляемым изделием горит в струе газа, вытесняющего воздух из плавильного пространства и защищающего расплавленный металл от воздействия кислорода и азота.

Автоматическая наплавка в среде углекислого газа имеет следующие преимущества: при наплавке отсутствуют вредные выделения и шлаковые корки; открытая дуга дает возможность наблюдать и корректировать процесс, проводить наплавку при любом пространственном положении наплавляемой плоскости, механизировать наплавку, выполняемую на мелких деталях (валах

диаметром 10 мм и более).

Для наплавки применяют следующее оборудование: наплавочные головки АБС, А-384, А-409, А-580, ОКС-1252М; источники питания ВС-200, ВСУ-300, ВС-400, ПСГ-350, АД-7,5/30; подогреватели газа; осушитель, заполненный силикагелем КСМ крупностью 2,8 – 7 мм; редукторы-расходомеры ДРЗ-1-5-7, или ротаметры РС-3, РС-3А, РКС-65, или кислородный редуктор РК-53Б.

При наплавке используют материалы: электродную проволоку Св-12ГС, Св-0,8ГС, Св-0,8Г2С, Св-12Х13, Св-06Х19Н9Т, Св-18ХМА, Нп-3ОХГСА; порошковую проволоку ПП-Р18Т, ПП-Р19Т, ПП-4Х28Г и др., подаваемую из кассеты в плавильную зону через мундштук с наконечником.

Углекислый газ из баллона по рукаву через сопло, внутри которого находится наконечник, подается между концом электродной проволоки и наплавляемым изделием к дуге, окружает дугу со всех сторон и вытесняет воздух из плавильного пространства.

Наплавку в среде углекислого газа выполняют на постоянном токе обратной полярности. Тип и марку электрода выбирают в зависимости от материала восстанавливаемой детали и требуемых физико-механических свойств наплавленного металла. Скорость подачи проволоки зависит от силы тока, устанавливаемой с таким расчетом, чтобы в процессе наплавки не было коротких замыканий и обрывов дуги. Скорость наплавки устанавливают в зависимости от толщины наплавляемого металла и качества формирования наплавленного слоя. Наплавку валиков осуществляют с шагом 2,5 – 3,5 мм. Каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий не менее чем на 1/3 его ширины.

Твердость наплавленного металла в зависимости от марки и типа электродной проволоки 200 – 300 НВ.

Расход углекислого газа зависит от диаметра электродной проволоки. На расход газа оказывают также влияние скорость наплавки, конфигурация изделия и наличие движения воздуха.

Вибродуговая наплавка – разновидность дуговой наплавки металлическим электродом. Процесс наплавки осуществляется при вибрации электрода с подачей охлаждающей жидкости на наплавленную поверхность. На рис. 16 дана принципиальная схема вибродуговой установки с электромеханическим вибратором.

На суппорте токарного станка закрепляют наплавочную головку (ОКС-6569 или ОКС-1252). Для питания дуги используют источники постоянного тока с жесткой внешней характеристикой (генераторы АД-500/250, выпрямители ВС-300 и ВС-600, преобразователи ПД-305 и ПСГ-500).

К наплавляемой поверхности детали, которая вращается в центрах токарного станка, роликами подающего механизма из кассеты через вибрирующий мундштук подается электродная проволока. Из-за колебаний мундштука, вызываемых эксцентриковым механизмом, проволока периодически прикасается к поверхности детали и расплавляется под действием импульсных электрических разрядов, поступающих от генератора.

Под действием вибратора мундштук вместе с проволокой вибрирует с частотой 110 Гц и амплитудой колебания до 4 мм (практически 1,8 – 3,2 мм).

Вибрация электрода во время наплавки обеспечивает стабильность процесса за счет частых возбуждений дуговых разрядов и способствует подаче электродной проволоки небольшими порциями, что обеспечивает лучшее формирование наплавленных валиков. Благодаря вибрациям процесс наплавки может быть осуществлен при низком напряжении (12 – 18 В).

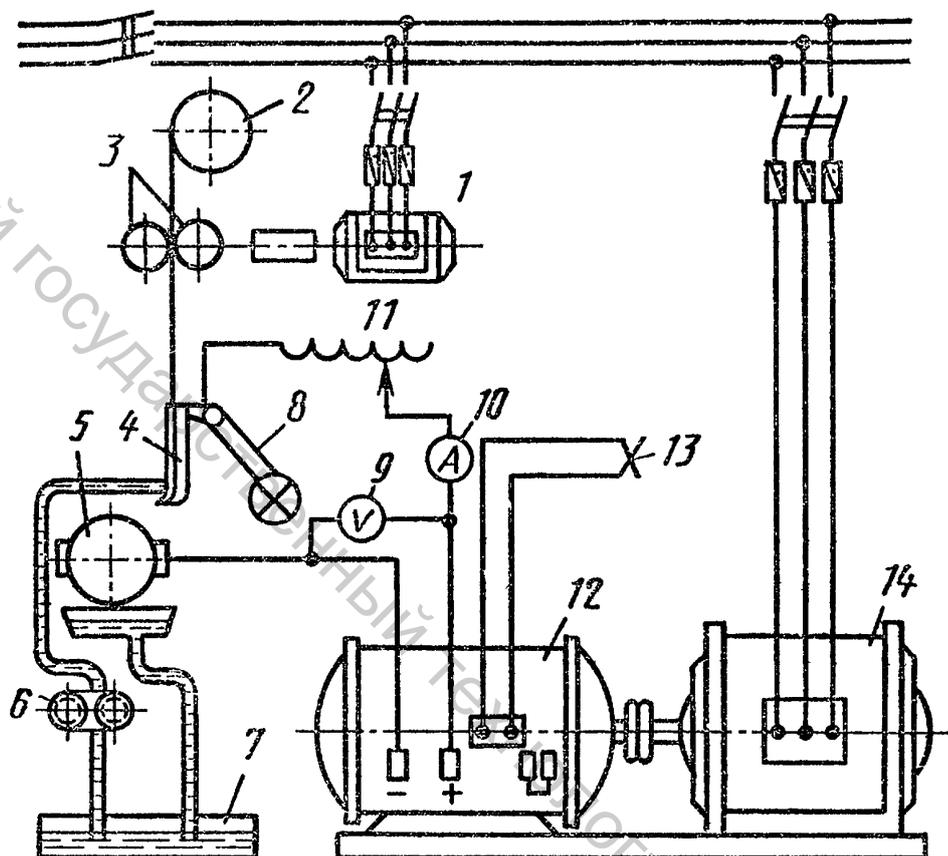


Рисунок 16 – Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки: 1 – двигатель механизма привода подачи проволоки; 2 – кассета для проволоки; 3 – ролики подачи проволоки; 4 – мундштук головки; 5 – наплавляемая деталь; 6 – насос подачи жидкости в зону наплавки; 7 – емкость для жидкости с отстойником; 8 – шатун механического вибратора; 9 – вольтметр; 10 – амперметр; 11 – катушка индуктивности (дрессель); 12 – генератор; 13 – реостат генератора; 14 – электродвигатель

Охлаждающая жидкость (4 – 6 %-ный раствор кальцинированной соды в воде) защищает металл от окисления. Качество соединения наплавленного металла с основным зависит от нескольких факторов. Основными из них являются полярность тока, шаг наплавки (подача суппорта станка на один оборот детали), угол подвода электрода к детали, качество очистки и подготовки поверхности, подлежащей, наплавлению, толщина слоя наплавки и др.

Структура и твердость наплавленного слоя зависят от химического состава электродной проволоки и количества охлаждающей жидкости. При наплавке

проволокой Нп-80 (с содержанием углерода 0,75 – 0,85 %) валик в охлаждающей жидкости закаляется до высокой твердости и частично отпускается, образуя этим неоднородную структуру от мартенсита закалки до троостосорбита отпуска с твердостью 26 – 55 HRC. При наплавке низкоуглеродистой проволокой Св-08 получают твердость поверхности наплавки 14 – 19 HRC. Основным показателем прочности наплавленной детали является сопротивление усталости, которое в основном зависит от трех параметров: количества охлаждающей жидкости, подаваемой в зону наплавки, шага и скорости наплавки.

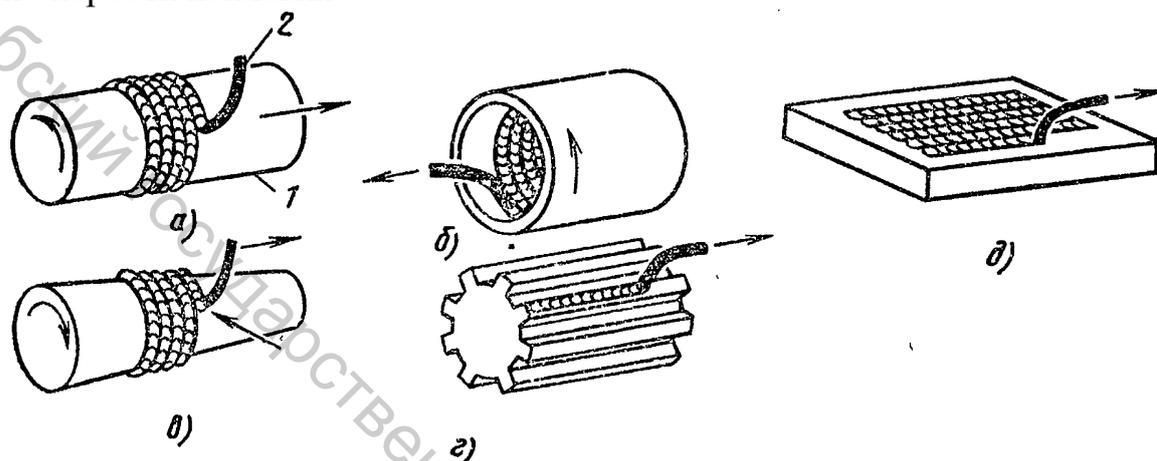


Рисунок 17 – Схемы вибродуговой наплавки изношенных наружных (а) и внутренних (б) цилиндрических поверхностей, наружных конических поверхностей (в), шлицев (г) и плоских поверхностей (д):

1 – деталь; 2 – электрод

Технология вибродуговой наплавки предусматривает восстановление деталей с цилиндрическими, коническими наружными и внутренними поверхностями, а также с плоскими поверхностями (рис. 17).

Для наплавки внутренних цилиндрических поверхностей головку размещают на станке так, чтобы плоскость мундштука совмещалась с осью детали. Деталь приводят во вращательное движение, а головку – в поступательное.

Конические наружные поверхности наплавляют проволокой, подводимой со стороны. Необходимое поперечное перемещение головки осуществляют вручную.

Для наплавки плоских поверхностей детали устанавливают в горизонтальной плоскости и закрепляют неподвижно, а головку перемещают параллельно оси детали.

Толщина однослойной наплавки в зависимости от режимов колеблется от 0,5 до 3 мм. При многослойной наплавке можно получить слои любой толщины. Подготовка поверхностей для наплавки состоит в очистке их от грязи и ржавчины. Все отверстия и пазы, которые необходимо сохранить, заполняют медными или графитовыми вставками так, чтобы они выступали над поверхностью на величину, превышающую толщину наплавленного слоя, что позволяет легче удалить их после наплавки. Центры деталей проверяют и

исправляют.

Скорость наплавки (м/мин) определяют по частоте вращения детали, равной

$$n = 250 \frac{d^2 V_i \eta}{s D h},$$

где  $n$  – частота вращения детали, об/мин;  $d$  – диаметр электродной проволоки;  $V_n$  – скорость подачи проволоки, м/мин;  $s$  – шаг наплавки, мм/об, детали;  $D$  – диаметр детали, мм;  $h$  – толщина наплавляемого слоя, мм;  $\eta$  – коэффициент наплавки (0,85 – 0,9).

Вибродуговая наплавка под слоем флюса имеет ряд преимуществ: дает возможность наплавлять металл только на изношенную часть, что уменьшает трудоемкость последующей механической обработки; получать наплавленный слой без пор и трещин; деформация детали минимальная и не превышает полей допусков посадочных мест; минимальная зона термического влияния.

Недостатком вибродуговой наплавки является уменьшение до 40 % сопротивления усталости наплавленных деталей. Этот показатель можно улучшить термообработкой. При нагреве наплавленной детали до 150 – 200 °С усадка уменьшается на 15 – 20 % и на столько же повышается сопротивление усталости; при нагреве до 800 – 900 °С (нормализация) – на 35 – 45 %. Нормализация с последующей закалкой токами высокой частоты повышает сопротивление усталости до 80 % (по сравнению с сопротивлением усталости новой детали).

Наиболее простым и доступным способом уменьшения напряжений и повышения сопротивления усталости является поверхностное упрочнение путем обкатки роликами после финишной механической обработки детали.

### **10.6 Дуговая наплавка с газопламенной защитой**

Большими технологическими возможностями при восстановлении деталей широкой номенклатуры в условиях ремонтного производства обладает дуговая наплавка с газопламенной защитой. Способ позволяет наплавлять на детали плотные слои, применяя доступные и относительно дешевые углеродистые проволоки. Металл, наплавленный высокоуглеродистыми проволоками на стальные детали, хорошо воспринимает закалку. Можно также наплавлять стальной низкоуглеродистой проволокой на чугунные детали. Наплавленный слой в этом случае обладает хорошей обрабатываемостью.

Особенностью способа является то, что защитные газы в сварочную зону подаются двумя концентричными (рис. 18) потоками: в наружном потоке – природный газ (ГОСТ 5542 – 78) или пропан-бутановую смесь (ГОСТ 20447 – 80) и во внутреннем потоке – кислород (ГОСТ 5583 – 78). При этом природный газ и продукты его сгорания защищают сварочную зону от проникновения азота из воздуха. Однако углеводородный газ вызывает при сварке обильную пористость. Вредное влияние газа на плотность наплавленного металла подавляется кислородом, который подается узким внутренним потоком в зону

дуги. При выходе из горелки газ сгорает, образуя пламя. Таким образом, дуга горит в факеле газокислородного пламени.

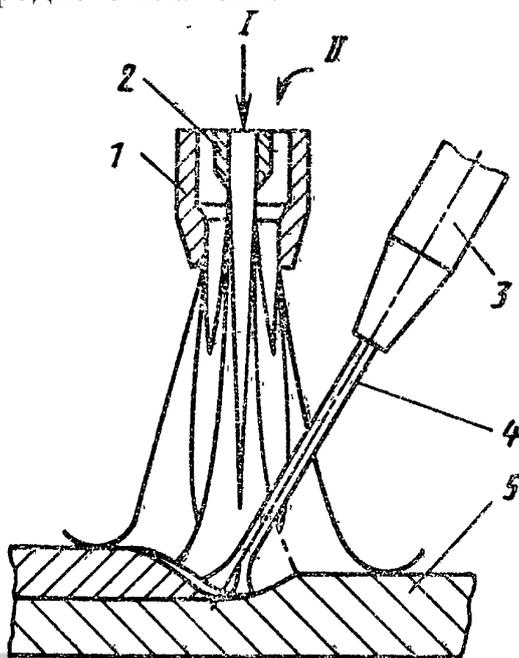


Рисунок 18 – Схема наплавки с газопламенной защитой:

1 – сопло для природного газа; 2 – сопло для кислорода; 3 – мундштук; 4 – проволока; 5 – деталь; I и II – подача соответственно кислорода и природного газа (пропан-бутана)

Для наплавки с газопламенной защитой применяется двухсопловая горелка конструкции ВНИИВИД и УФ ЦОКПТБ ВНПО «Ремдеталь». Газовую горелку крепят к мундштуку таким образом, чтобы ось ее совпадала с концом электрода на расстоянии от наконечника, равном вылету электрода.

Для защиты от перегрева в процессе наплавки газовая горелка и головка мундштука снабжены рубашками водяного охлаждения, которые включаются последовательно в систему питания водой.

Наплавку выполняют на наплавочных установках УД-209, У-653 или созданной на базе токарного станка, а также наплавочного станков. Для создания газопламенной защиты установку оснащают горелкой, системой питания горелки газами и системой охлаждения горелки и наплавляемой детали. Для питания дуги применяют источники с пологопадающей или жесткой характеристикой: ВС-600, ВДУ-505, ВДУ-50, ВДУ-601, ПСГ-500 и др. «Плюс» источника питания подключают к горелке.

Плотные слои на стальные и чугунные детали наплавляют различными стальными, сварочными и наплавочными проволоками, такими, как, например Св-08, Св-08ГА, Св-08Г2С, Нп-3ОХГСА, или углеродистыми и низколегированными проволоками, например из стали 08кп, 10, 20, 45, 65Г, 80 и др. Присутствие раскислителей в составе проволоки не обязательно. Наиболее целесообразно большинство стальных деталей наплавлять пружинной проволокой II класса (ГОСТ 9378 – 75). Могут применяться и другие проволоки, содержащие до 0,7 % углерода и легированные до 1 %

марганца.

Для наплавки чугуновых деталей применяют сварочные проволоки Св-08 и Св-08А или низкоуглеродистые проволоки из сталей 08кп и 10. Можно применять другие проволоки, близкие по составам к указанным ранее.

Принудительное охлаждение детали позволяет сохранять удовлетворительное формирование слоя при наплавке с использованием тока большей силы, чем при наплавке в углекислом газе. Благодаря этому по сравнению с наплавкой в среде углекислого газа можно наплавлять детали меньшего диаметра, не опасаясь их перегрева, применять проволоки больших диаметров и более производительнее вести процесс. Совмещая процесс наплавки с интенсивным охлаждением наплавленного металла струей охлаждающей жидкости (четырёхпроцентным раствором кальцинированной соды или водой), при наплавке пружинной проволокой II класса можно получить наплавленные слои с твердостью 56 – 64 HRQ.

### **10.7 Контактная приварка ленты и проволоки**

Суть процесса восстановления контактной приваркой состоит в приваривании мощными импульсами тока к поверхности деталей стальной ленты, порошка или проволоки.

Для уменьшения нагрева детали и улучшения заделки привариваемого слоя в зону сварки подают охлаждающую жидкость. На рис. 19 показана схема приварки металлической ленты к поверхности вала. Способ восстановления деталей контактным электроимпульсным покрытием широко применяют для восстановления посадочных мест под подшипники в корпусных деталях и валах, а также резьбовых частей валов. Для восстановления и упрочнения деталей перспективной является приварка к изношенным поверхностям порошковых твердых сплавов.

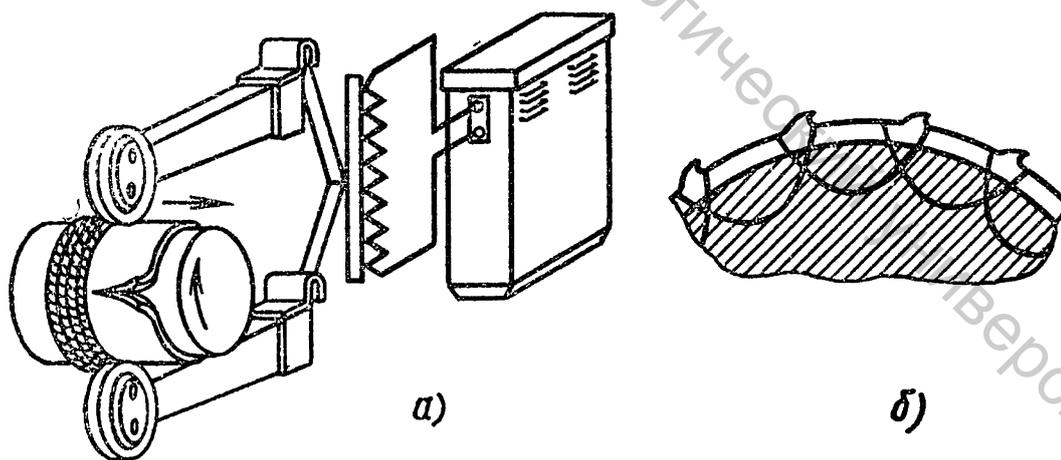


Рисунок 19 – Схема приварки металлической ленты к поверхности вала:  
а – источник импульсов; б – перекрытие импульсов

При контактной сварке металл прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и отпадает необходимость в применении флюсов и защитных газов.

## 10.8 Электрошлаковая наплавка

Для изготовления биметаллических деталей с износостойким слоем значительной толщины (более 10 мм) применяют электрошлаковую наплавку. В этом процессе используют теплоту, выделяющуюся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак. Электрошлаковая наплавка обеспечивает наибольшую производительность по сравнению со всеми другими способами наплавки. С помощью легированных присадок получают наплавленный слой нужного химического состава.

Наплавку можно выполнять на плоских поверхностях, а также на поверхностях тел вращения. Особенность электрошлаковой наплавки состоит в том, что можно получать гладкие, ровные поверхности наплавленного слоя. Это дает возможность использовать детали без последующей механической обработки.

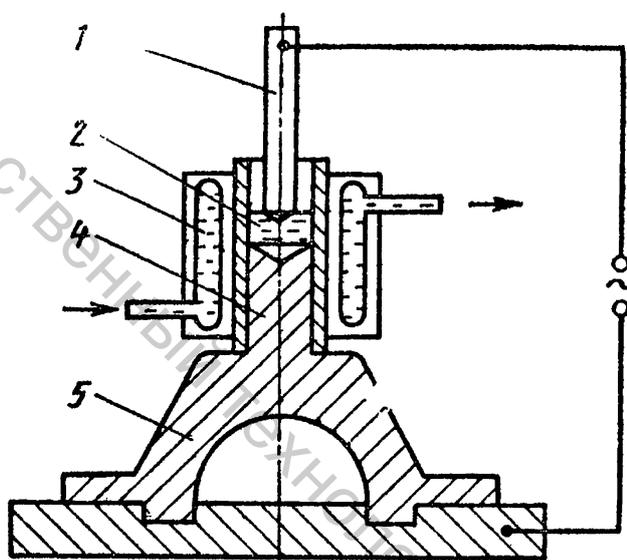


Рисунок 20 – Принципиальная схема восстановления детали электрошлаковым способом

При электрошлаковой наплавке почти полностью отсутствуют потери на газообразование и разбрызгивание. Качество наплавленного металла высокое – отсутствуют поры, трещины и другие дефекты.

Наплавку чаще всего выполняют на вертикально расположенных поверхностях при принудительном формировании наплавленного слоя медными, керамическими и графитовыми водоохлаждаемыми формами.

В начале процесса в зазор между деталью и водоохлаждаемой формой заливают расплавленный флюс и возбуждают дугу между электродной проволокой и деталью. После образования шлаковой ванны достаточной глубины дуга потухает, и ток проходит через расплавленный шлак – начинается электрошлаковый процесс. Расход флюса при этом способе в 15 – 20 раз меньше, чем при электродуговом. Сварочную проволоку, электродные ленты, пластины или стержни большого сечения, а также высоколегированную проволоку и порошки можно применять как присадочный материал.

Восстанавливаемую деталь 5 помещают на плите, к которой присоединен токоподвод (рис. 20). На основу детали в месте удаленной изношенной части устанавливают медный водоохлаждаемый кристаллизатор 3, внутренняя конфигурация которого соответствует восстанавливаемому элементу. Расходуемый электрод 1 плавится под действием теплоты, выделяющейся в жидком электропроводном флюсе 2. В кристаллизаторе под слоем флюса происходит непрерывное наплавление металла и формирование восстанавливаемой части 4 детали.

Восстановленные электрошлаковым методом детали подвергаются соответствующей термической и механической обработке.

### 10.9 Металлизация

Металлизация – один из распространенных способов получения металлических покрытий поверхностей нанесением на эти поверхности расплавленного металла. Сущность процесса состоит в следующем: металл, расплавленный дугой (при электрометаллизации) или ацетилено-кислородным пламенем (при газовой металлизации) и распыленный струей сжатого воздуха (давление до 0,6 МПа), покрывает поверхность восстанавливаемой детали.

Процесс дуговой металлизации осуществляют специальным аппаратом – металлизатором. Аппарат (рис. 21) действует следующим образом. С помощью протяжных роликов по направляющим кончикам непрерывно подаются две проволоки У, к которым подведен электрический ток. Возникающая между проволоками электрическая дуга расплавляет металл. Одновременно по воздушному соплу в зону дуги поступает сжатый газ под давлением 0,6 МПа. Большая скорость движения частиц металла (120 – 300 м/с) и незначительное время полета, исчисляемое тысячными долями секунды, обуславливают в момент удара о деталь ее пластическую деформацию, заполнение частицами неровностей и пор поверхности детали, сцепление частиц между собой и с поверхностью, в результате чего образуется сплошное покрытие. Последовательным наслаиванием расплавленного металла можно получить покрытие, толщина слоя которого может быть от нескольких микрон до 10 мм и более (обычно 1 – 1,5 мм для тугоплавких и 2,5 – 3 мм для легкоплавких металлов).

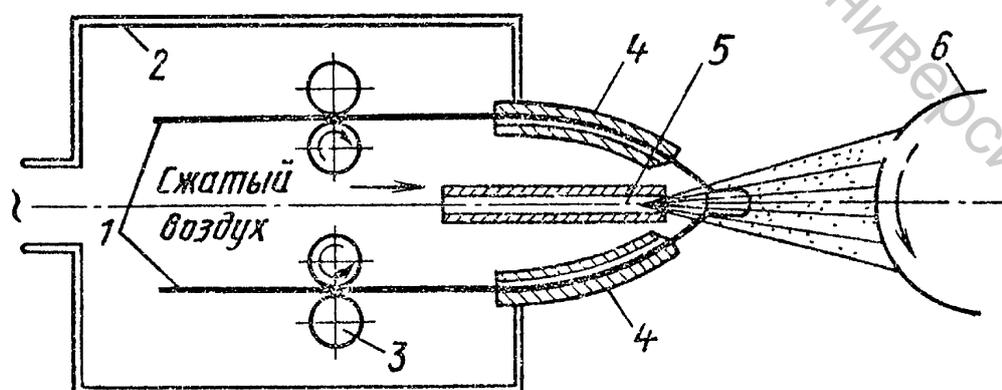


Рисунок 21 – Схема работы металлизатора: 1 – электродная проволока; 2 – провода от трансформатора; 3 – ролики; 4 – направляющие; 5 – сопло; 6 – деталь

При ремонте оборудования с помощью металлизации восстанавливают размеры изношенных деталей оборудования (шеек валов, шеек осей конвейеров и тележек и т. д.), уменьшают внутренние размеры изношенных посадочных отверстий под подшипники, втулки и другие детали; наносят на подшипники и втулки антифрикционные покрытия из псевдосплавов, образуемых в результате одновременного распыления двух или трех разных металлов. Такие покрытия из недефицитных металлов отличаются высокими антифрикционными свойствами, их используют взамен специальных баббитов и бронз. Из-за пористости напыленного слоя металла в него впитывается некоторое количество масла. Это улучшает условия смазывания и обеспечивает длительную работу этих деталей без смазки, но и без заеданий.

При ремонте оборудования наибольшее распространение получила дуговая металлизация.

Небольшие объемы работ по металлизации выполняют переносными (ручными) дуговыми электрометаллизаторами ЭМ-3 А; значительные по объему работы – станочными электрометаллизаторами ЭМ-6 и высокочастотными металлизаторами МВЧ-1, МВЧ-2. Покрытия на поверхностях деталей из разнородных металлов получают с помощью многофазных металлизаторов УМА-1.

При восстановлении поверхностей деталей под неподвижные посадки применяют малоуглеродистую проволоку из стали 08, 10, 15, 20. Для получения износостойких покрытий на деталях, работающих в подвижных соединениях, применяют проволоку из высокоуглеродистых сталей У7, У7А, У8, У10.

В ручных электрометаллизаторах (ЭМ-3А) применяют высокоуглеродистую проволоку диаметром более 2,5 мм, предварительно отожженную при температуре 760 °С в электропечи. Образовавшаяся окалина на проволоке должна быть удалена пескоструйной обработкой. При нанесении слоя покрытия на поверхность детали ее нагрев до 50 – 70 °С не вызывает никаких структурных изменений в металле детали, т. е. его механические свойства сохраняются, благодаря чему можно наносить слой покрытия на любые материалы: металл, пластмассу, дерево, резину и т. п. Металлизация обеспечивает высокую твердость напыленного слоя, что способствует увеличению сроков службы восстанавливаемых деталей. Напыляют самые разнообразные металлы. Например, для напыления может быть использована биметаллическая проволока из алюминия и свинца, что позволяет не только заменять дорогостоящие оловянистые баббиты и бронзы, но и значительно увеличить срок службы восстановленной детали.

Однако, применяя металлизацию, необходимо учитывать, что металлизированный слой, нанесенный на поверхность детали, не повышает ее прочности. Поэтому применять металлизацию для восстановления деталей с ослабленным сечением не следует. При восстановлении деталей, находящихся под действием динамических нагрузок, а также деталей, работающих при трении без смазочных материалов, необходимо знать, что сцепляемость напыленного слоя с основным металлом детали недостаточна.

Получение качественных покрытий возможно лишь при строгом соблюдении режимов и тщательной подготовке поверхностей деталей, подвергающихся металлизации.

При подготовке поверхности деталей к металлизации отдельные операции выполняют в такой последовательности: очищают детали от загрязнений, пленок, окислов, жировых пятен, влаги и продуктов коррозии; выполняют предварительную обработку резанием поверхности для придания ей правильной геометрической формы; получают на поверхностях деталей шероховатость, необходимую для удержания нанесенного слоя металла; обеспечивают защиту смежных поверхностей деталей, не подлежащих металлизации.

Поверхности деталей, подлежащих металлизации, очищают от загрязнений в моечных машинах, щетками, промывают в бензине или растворителях, нагревают в печах пламенем газовой горелки или паяльной лампы. Обработкой резанием исправляют геометрическую форму детали и доводят размеры детали до размеров, при которых возможно нанесение покрытий заданной толщины. На концах цилиндрических поверхностей оставляют буртики и протачивают замки в виде кольцевых канавок, предохраняющие покрытие от разрушения.

Подготовка плоских деталей под покрытия состоит в нарезании «рваных» канавок на строгальных станках или создании грубой шероховатой поверхности электрическими способами. На поверхностях небольших плоских деталей нарезают на токарных или карусельных станках «рваные» канавки в виде архимедовой спирали. На строгальных станках отрезными резцами с закругленным лезвием можно нарезать параллельные канавки и прокатать вершины канавок. Прикатанные поверхности подвергают пескоструйной обработке. Канавки должны располагаться перпендикулярно к направлению действия нагрузки.

При толщине покрытия более 0,5 мм подготовка детали состоит в нарезании канавок в форме ласточкина хвоста с шагом 2 – 3 мм или в установке шпилек (в шахматном порядке) с насечкой промежутков зубилом.

У деталей сложной формы для заделки трещин, раковин и плоских деталей применяют пескоструйную обработку сухим кварцевым песком с размером частиц 1,5 – 2 мм.

В отдельных случаях шероховатые поверхности получают, наматывая на деталь очищенную от окалины проволоку диаметром 0,5 – 1,6 мм с шагом, равным двум – пяти диаметрам проволоки. Намотанную проволоку закрепляют сваркой, после чего проводят пескоструйную обработку.

Работы по восстановлению изношенных деталей металлизацией связаны с загрязнением окружающего воздуха пылью и парами распыляемого металла, действием газового пламени или электрической дуги, а также шумами, издаваемыми аппаратами. В соответствии с требованиями охраны труда при использовании металлизационной установки в цехе или закрытом помещении должна быть установлена вентиляция. Кроме того, помещение для металлизационной установки предприятия должно быть оборудовано в зимнее

время системой приточной вентиляции с подогревом воздуха, подаваемого в помещение. Для защиты глаз от действия ультрафиолетовых лучей необходимо пользоваться очками с темными стеклами.

### **10.10 Газопламенное нанесение порошковых материалов**

Методы нанесения порошковых покрытий. Основа процесса газопламенного нанесения – пластификация порошка в высокотемпературном источнике тепла (ацетиленокислородном пламени) и нанесение его газовыми потоками на предварительно подготовленную изношенную поверхность.

Преимущества газопламенного нанесения состоят в высокой производительности процесса, локальности обработки, незначительном влиянии на подложку, возможности нанесения покрытий на изделия больших размеров, отсутствии ограничений на сочетания материалов покрытия и подложки, что позволяет охватить большую номенклатуру восстановления изношенных деталей.

В зависимости от назначения и материала детали, условий ее эксплуатации, контактов сопрягаемых поверхностей при восстановлении деталей используют следующие методы газопламенного нанесения покрытий:

1 – газопламенное напыление порошка без последующего оплавления; используется для восстановления деталей с износом до 2,0 мм на сторону без деформации, искажения или изменения структуры основного металла, не подвергающихся в процессе эксплуатации ударам, знакопеременным нагрузкам, большому нагреву;

2 – газопламенное напыление с одновременным оплавлением; используется для восстановления деталей с местным износом до 3 – 5 мм, работающих при знакопеременных и ударных нагрузках, изготовленных из серого чугуна, конструкционных, коррозионно-стойких сталей и др.

3 – газопламенное напыление с последующим оплавлением; дает возможность восстанавливать детали типа вала с износом до 2,5 мм на сторону; восстановленные детали устойчивы против коррозии, абразивного изнашивания, действия высоких температур.

Технологический процесс газопламенного нанесения, в основном, состоит из трех этапов:

нагрева поверхности детали до 200 – 250 °С;

нанесения подслоя, который дает основу, необходимую для наложения основных слоев;

нанесения основных слоев, позволяющих получить покрытие с необходимыми физико-механическими свойствами.

К основным факторам, влияющим на прочность сцепления покрытия с основой, относятся: способ подготовки поверхности и используемый при этом абразивный материал, параметры струйной обработки поверхности, время выдержки после обработки, наличие предварительного подогрева, применение подслоя и использование терморреагирующих порошков, способ распыления, эффективная мощность пламени, параметры процесса распыления, состав

материала покрытия (наличие поверхностноактивных добавок в покрытии зависит и от применяемого оборудования и от присадочных материалов).

Аппараты для газопламенного нанесения порошковых покрытий. Основой конструкции аппаратов для напыления и горелок для наплавки является базовая схема сварочной горелки.

Сварочная горелка (рис. 22) служит для смешивания горючего газа с кислородом и получения газового пламени.

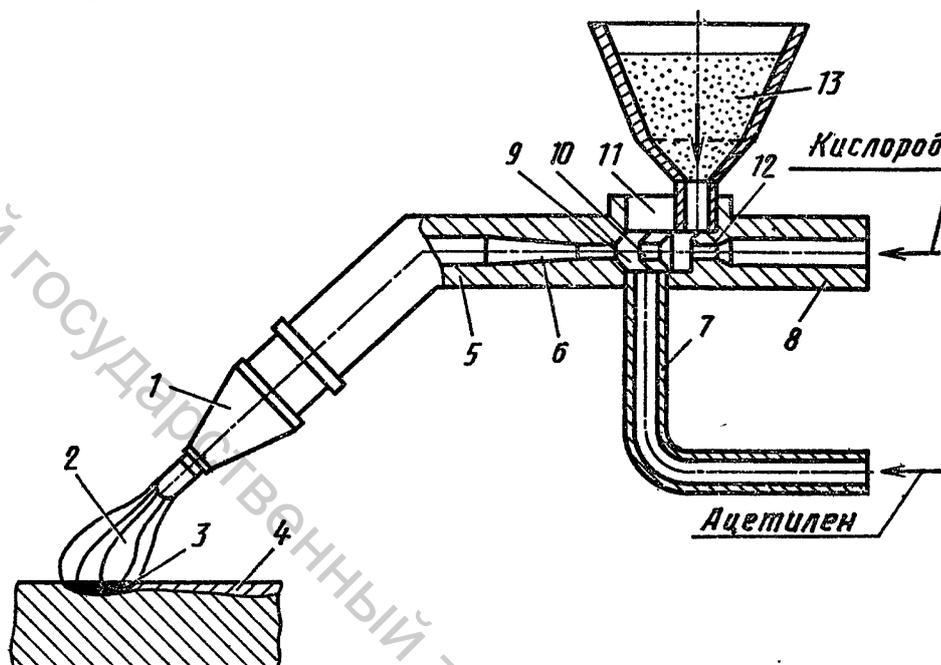


Рисунок 22 – Устройство сварочной горелки:

1 – мундштук; 2 – пламя; 3 – сварочная ванна; 4 – наплавляемая поверхность; 5 – трубка; 6 – канал; 7 – ацетиленовая трубка; 8 – кислородная трубка; 9 – камера смешения; 10 и 12 – инжекторы; 11 – смесительная камера; 13 – порошок

Сварочные горелки подразделяют:

- по способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру – на инжекторные и безинжекторные;
- по роду применяемого горючего газа – на ацетиленовые и для газов-заменителей;
- по назначению – на универсальные (сварка, наплавка) и специальные (для выполнения одной операции);
- по форме пламени – на однопламенные и многопламенные;
- по мощности пламени – на микромощные (до 60 л/ч), малой мощности (до 700 л/ч), средней мощности (до 2500 л/ч), большой мощности (до 7000 л/ч);
- по способу применения – на ручные и машинные.

Аппараты для газопламенного напыления и горелки для газопорошковой наплавки, выполненные на базе сварочных горелок, отличаются от этих горелок принципом работы и конструкцией. В аппаратах и горелках предусмотрен

питатель (бункер) с порошковым материалом. Основное назначение аппарата для напыления – подавать порошок в ядро факела пламени. В зависимости от способа подачи порошка из питателя различают два вида аппаратов напыления.

У инжекторного газопламенного распылительного аппарата порошок через клапан, размещенный в корпусе аппарата, под влиянием всасывающего воздействия кислорода и горючего газа, протекающего по каналу, попадает в сопло, а затем – в ядро пламени (рис. 23).

Особенностью распылительных аппаратов косвенной (наружной) подачи порошка (рис. 24) является многоканальное сопло, через которое проходит газовая смесь, образуемая в смесительной камере. Порошок из бункера попадает в ядро пламени через верхнюю часть факела по принципу гравитации по направляющей трубке. Основная трудность при конструировании горелок – обеспечение разрежения канала порошкового бункера при соблюдении безопасности, т. е. необходимо исключить возможности обратного удара пламени в бункер.

Во всех существующих отечественных и зарубежных горелках для газопорошковой наплавки смешивание порошка с горючей смесью осуществляется по схемам, приведенным на рис. 24.

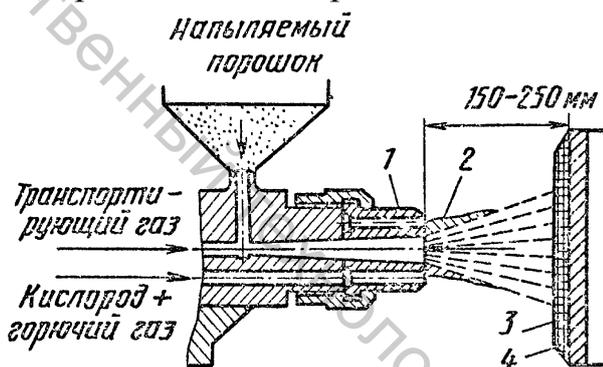


Рисунок 23 – Схема газопламенного напыления порошкового материала с помощью транспортирующего газа:

1 – сопло; 2 – факел; 3 – покрытие; 4 – подложка

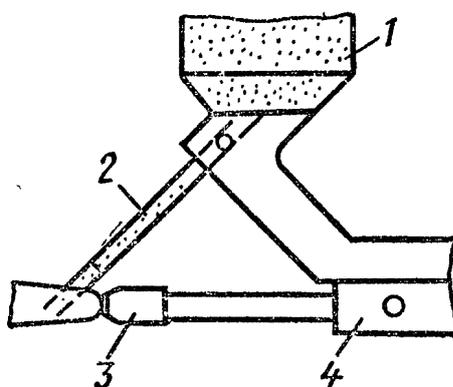


Рисунок 24 – Распылительный аппарат наружной подачи порошкового материала: 1 – порошковый бункер; 2 – направляющая трубка;

3 – многосопельный наконечник; 4 – база сварочной горелки

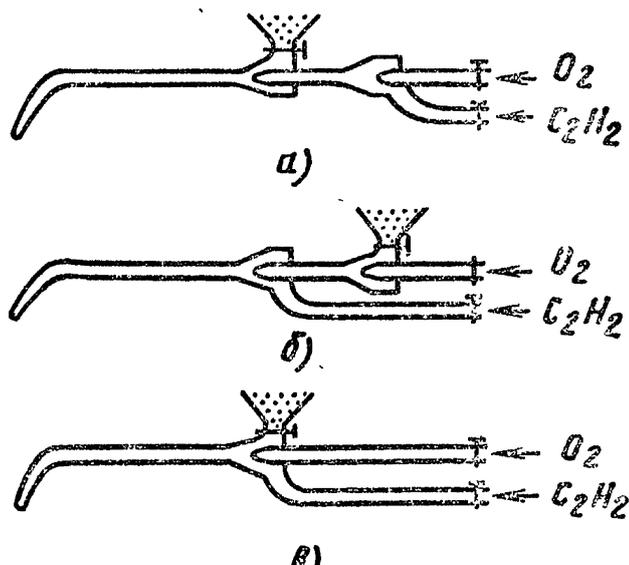


Рисунок 25 – Схемы смешивания порошка с кислородом и ацетиленом:  
а и б – двухступенчатая инжекция; в – комбинированная инжекция

У горелок равного давления (см. рис. 25 а) бункер не защищен от обратного удара пламени, а также нельзя создать достаточное разрежение в канале бункера при обычных давлениях ацетилена.

В горелке, работающей по схеме комбинированной инжекции (см. рис. 25 в), порошок и ацетилен одновременно подсасываются кислородным инжектором; возникший обратный удар направлен в порошковый бункер, в котором предусмотрен предохранительный клапан мембранного типа.

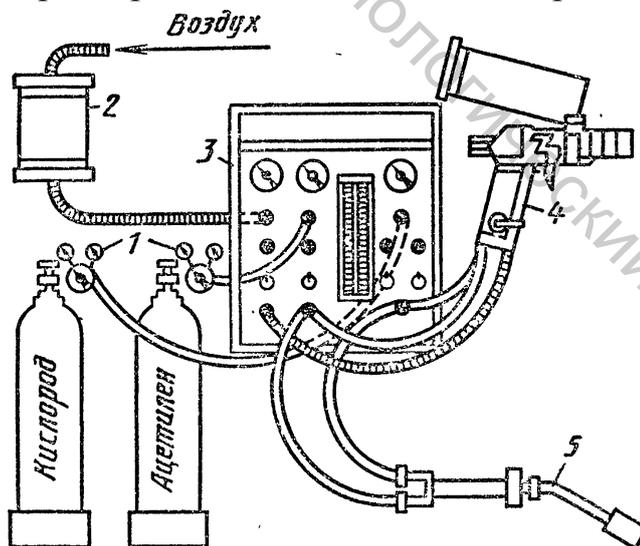


Рисунок 26 – Принципиальная схема установки УПТР-1-78М:  
1 – редуктор; 2 – воздушный маслоотделительный фильтр; 3 – пульт управления; 4 – термораспылительный пистолет; 5 – горелка для оплавления покрытий из самофлюсующихся сплавов

Установки УПТР-1-78М (рис. 26) предназначены для нанесения порошков,

преимущественно самофлюсующихся твердых сплавов системы Ni-Cr-B-Si, обеспечивающих после оплавления безпористые, прочно связанные с основным материалом покрытия, обладающие высокой износостойкостью, стойкостью против коррозии, эрозии, кавитации, тепловых воздействий и т. п. Покрытия наносят на стальные, чугунные, алюминиевые, бронзовые и другие детали. При напылении получают плотные и однородные покрытия, а использование рабочих газов и порошка высокоэкономично.

Установка состоит из пульта управления, термораспределительного пистолета и устройства для его крепления в суппорте токарного станка.

Пульт управления служит для настройки рабочих режимов напыления с помощью манометров, регулирующих расход газов, обратных клапанов и других элементов, обеспечивающих безопасную и стабильную работу пистолета.

На передней части пульта управления расположены ручки настройки требуемых режимов, тумблеры включения электромагнитных клапанов и штуцера для подключения шлангов пистолета к источникам рабочих газов (расположены на задней панели пульта и закрыты крышкой).

## **11 Оборудование для струйной обработки**

В технологическом процессе нанесения на изношенные поверхности деталей порошковых покрытий предусматривается операция подготовки поверхности с помощью струйной обработки для создания необходимой шероховатости, обеспечивающей надежное сцепление (адгезию) присадочного материала с основой.

Для струйной обработки используют аппараты:

– нагнетательного действия, в которых электрокорунд или мелкая дробь подается под давлением в камеру для смешивания с воздухом, а затем по шлангу через сопло – на обрабатываемую поверхность; способ производителен, но требует сложных аппаратов и сопровождается большим износом сопла и шлангов;

– всасывающего действия, в которых электрокорунд или мелкая дробь засасывается струей сжатого воздуха и по шлангу направляется через сопло на обрабатываемую поверхность; этот способ прост, широко применяется вследствие меньшего износа сопла и шлангов, дешев, безотказен в работе, хотя и менее производителен;

– гравитационного действия, в которых электрокорунд из бункера попадает в сопло под действием собственной силы тяжести и лишь перед самым выходом из сопла смешивается с воздухом; по сравнению с другими способами этот способ требует меньшего расхода сжатого воздуха.

Аппараты целесообразно применять в том случае, когда направление струи постоянно, что имеет место, в основном, при автоматической очистке поверхностей.

## 12 Гальванические покрытия

Покрытия из металлов, сплавов, псевдосплавов и пластмасс наносят на поверхность деталей для защиты их от разрушения в эксплуатации, увеличения срока службы, восстановления размеров, получения антифрикционных, а также жаро- и коррозионно-стойких деталей.

Материал деталей и покрытий может быть однородным или разнородным, т. е. покрытия могут быть одно- или многослойными (из одинаковых или различных материалов) или образовываться несколькими одновременно наращиваемыми материалами, образующими сплавы или псевдосплавы. При выборе способа нанесения покрытия необходимо учитывать свойства, получаемые при этом деталями.

Условия эксплуатации определяют выбор покрытия, устойчивого при переменных, контактных, ударных и других нагрузках. Долговечность деталей с различными покрытиями в изменяющихся условиях эксплуатации неодинакова и зависит от состава наращиваемого слоя, формы деталей и способности их поверхности удерживать наносимый слой.

При нанесении металлических покрытий появляется возможность исключить доводку деталей с помощью обработки резанием. К таким покрытиям относятся размерные покрытия; при их нанесении образуется точный по размерам поверхностный слой и уменьшается время его наращивания. Например, можно получить равномерный и точный по размеру слой электролитического хрома на цилиндрических деталях при толщине покрытия до 0,2 мм. Отклонения толщины слоя при этом не превышают 0,01 – 0,02 мм. «Точные» покрытия получают и химическими способами наращивания.

Целесообразность применения для восстановления деталей покрытий и их выбор зависят от их сроков службы и экономической эффективности. Свойства, которые придают различные покрытия деталям, неодинаковы. Одни и те же способы покрытий могут быть приемлемы для одних условий эксплуатации и неприемлемы для других. Например, покрытия из электролитического хрома получают преимущественно наращиванием тонких слоев. На незакаленных деталях при малых давлениях тонкие покрытия работают хорошо. Однако эти же тонкие хромовые покрытия могут разрушаться при больших давлениях, так как продавливанию лучше противостоят закаленные детали или толстые твердые покрытия.

На стальные детали и детали, изготовленные из других материалов, покрытия разного состава и свойств получают нанесением электролитического осадка. Эти покрытия наряду с наращиванием поверхностей обеспечивают высокую поверхностную твердость без последующей термической обработки, однородность свойств поверхностного слоя деталей, лучшую их прирабатываемость за счет пористости поверхности и малой ее шероховатости при смазке, а также возможность эксплуатации трущихся деталей при малых количествах смазочных материалов. Электролитические покрытия применяют для

повышения коррозионной стойкости деталей, улучшения их антифрикционных свойств и для декоративных целей.

Наиболее распространены следующие электролитические процессы: хромирование, железнение, никелирование, меднение, цинкование, кадмирование и др. Применяют также электролитическое осаждение различных сплавов.

Для упрочнения деталей и восстановления их размеров наиболее широко распространены хромирование и железнение. Могут быть применены также химическое никелирование, покрытие с применением различных сплавов и твердое анодирование (только для упрочнения поверхности).

Хромирование используют для увеличения износостойкости, твердости, химической стойкости и прирабатываемости, обеспечения трения со смазочным материалом, восстановления размеров изношенных деталей, а также для декоративных целей. Осадки хрома различают по внешнему виду и по физическим и механическим свойствам. Для улучшения связи хромовых покрытий с поверхностью деталей и получения химически стойких покрытий наращивание хрома часто осуществляют на подслое из других металлов.

Железнение (остаивание) применяют, главным образом, для восстановления размеров деталей машин. Твердость электролитического железа достигает 8000 МПа и более. Детали после железнения можно подвергать термической и термодиффузионной обработке.

Электролитическое хромирование. Хромирование подразделяют на коррозионно-стойкое, износоустойчивое, пористое и декоративное.

Различают три группы деталей, наращиваемых хромом, отличающихся условиями эксплуатации и режимами осаждения, придающими различные свойства эксплуатируемым покрытиям.

Первую группу составляют детали, наращиваемые хромом с целью восстановить размеры и создать переходные посадки и посадки с натягом.

Вторая условная группа состоит из деталей, работающих на трение при малых и средних давлениях и окружных скоростях, при постоянной или переменной нагрузке.

К деталям третьей группы могут быть отнесены детали, работающие при больших давлениях и значительных знакопеременных нагрузках, для которых необходимы: максимальная прочность связи слоя хрома с поверхностью деталей и вязкость осадков хрома. Прочность на отрыв сцепления хромового слоя со сталью больше прочности хромового слоя на разрыв.

Покрытия электролитическим хромом получают при осаждении хрома из водных растворов в результате прохождения через раствор электрического тока.

Качество хромового покрытия в основном зависит от состава электролита, плотности тока, температуры электролита и интенсивности его перемешивания в ванне. Изменяя указанные элементы технологического процесса и время осаждения, получают покрытия разной толщины с различными физико-механическими свойствами и равномерностью.

Операции при нанесении хромового покрытия выполняют в такой последовательности:

1 – удаление с поверхности деталей смазки и загрязнений, для чего детали промывают в бензине, керосине или специальных очистителях;

2 – сушка деталей после удаления смазки и загрязнений (протирка чистой ветошью, обдувка сухим сжатым воздухом);

3 – наружный осмотр в целях выявления дефектов;

4 – удаление слоя хрома с деталей, находящихся ранее в эксплуатации; с латунных и бронзовых деталей хром снимают в 20 – 25 %-ном растворе соляной кислоты при температуре 18 – 25 °С, а со стальных деталей – в 10 – 15 %-ном растворе едкого натра при температуре 18 – 25 °С и плотности тока 10 – 15 А/дм<sup>2</sup>;

5 – промывка в холодной проточной, а затем в горячей воде при температуре 70 – 80 °С;

6 – обдувка сухим сжатым воздухом или протирка чистой ветошью;

7 – магнитный контроль для выявления трещин в детали;

8 – шлифование или полирование для получения размера, указанного в чертеже;

9 – контроль качества обработки резанием;

10 – изоляция деталей и подвесочных приспособлений (полихлорвиниловой пленкой, перхлорвиниловым лаком или цапонлаком, клеем АК-20, клеем БФ);

11 – обрезка изоляции с рабочей поверхности и мест контактов, зачистка поверхности наждачной шкуркой;

12 – закрепление деталей на подвесочные приспособления так, чтобы был обеспечен плотный контакт и правильное расположение экранов;

13 – монтаж и установка анодов;

14 – обезжиривание деталей, для чего их протирают венской известью или обрабатывают в щелочном растворе;

15 – промывка теплой проточной водой;

16 – химическое декапирование в течение 0,25 – 1,0 мин в растворе серной кислоты при температуре 18 – 25 °С;

17 – промывка холодной проточной водой;

18 – электрохимическое декапирование в электролите, используемом при хромировании;

19 – хромирование;

20 – промывка дистиллированной водой над ванной хромирования;

21 – промывка в холодной проточной воде;

22 – промывка в течение 0,5 – 1 мин в нейтрализующем 3 – 5 %-ном растворе углекислого натрия при температуре 18 – 25 °С;

23 – промывка холодной проточной водой;

24 – промывка горячей проточной водой;

25 – сушка в печи при температуре 120 – 130 °С или обдувка чистым сжатым воздухом;

26 – контрольный обмер деталей после демонтажа с подвесок, снятие изоляционного слоя;

27 – термическая обработка при температуре 200 – 250 °С для удаления водорода из хромированных деталей (продолжительность 2 – 3 ч);

28 – шлифование до номинальных размеров;

29 – окончательный контроль размеров и качества хромированной поверхности.

Основными составляющими электролитов являются хромовый ангидрид и серная кислота.

Хромирование крупногабаритных деталей (или их отдельных мест) в стационарных ваннах не всегда целесообразно. Поэтому для таких деталей используют переносные ванны, в которые деталь не погружают, а пристраивают ванну к детали (рис. 27). Этот способ осаждения хрома особенно эффективен в том случае, когда хром наносят на поверхности внутренних полостей, которые могут служить емкостями для электролита. Переносные ванны изготовляют из стали или из химически стойких материалов.

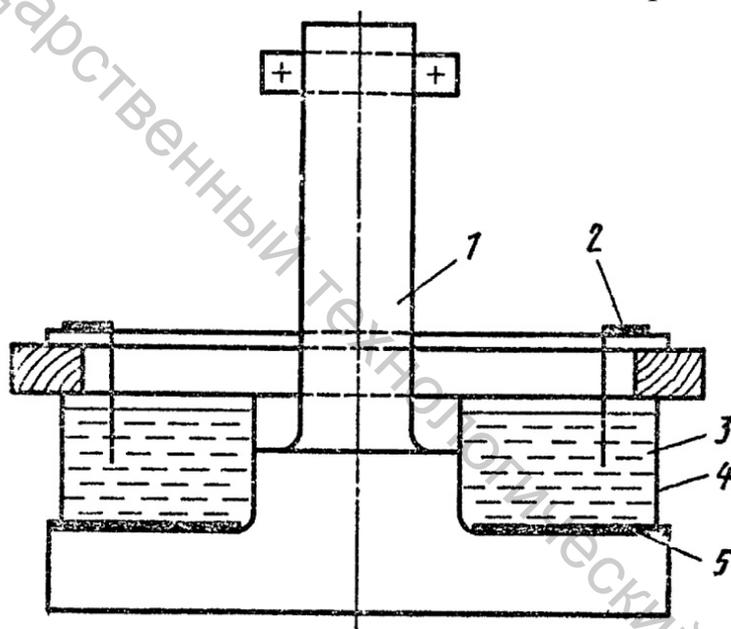


Рисунок 27 – Схема хромирования в переносной ванне:

1 – деталь; 2 – анод; 3 – электролит; 4 – ванна; 5 – клеевой слой

Схема установки для струйного хромирования (разновидности местного нанесения покрытия) показана на рисунке 28. При хромировании внутренних полостей деталей, служащих одновременно ванной для электролита (рис. 29), деталь устанавливают на резиновый лист рядом с канализационным люком для удаления в процессе нанесения покрытий промывающей и охлаждающей жидкости. В центре наращиваемой детали помещают свинцовый анод; деталь служит катодом. Резиновый лист покрывают целлулоидом, так как резина растворяется в хромовом горячем электролите. Диаметр анода примерно равен 0,5 – 0,7 диаметра хромируемого отверстия. Питание постоянным током переносных ванн осуществляется от передвижного низковольтного генератора или выпрямителя тока.

Многослойные электролитические покрытия получают, последовательно наращивая на детали разные металлические покрытия в различном сочетании. Многослойные покрытия имеют положительные свойства различных электролитических осадков. Такие покрытия применяют для увеличения прочности связи между поверхностью детали и слоем покрытия, более равномерного отложения покрытия на деталях сложной формы, защиты от воздействия химически активной среды, получения благоприятной микроструктуры и повышения износостойкости. Обычно применяют многослойные покрытия из меди, никеля и хрома.

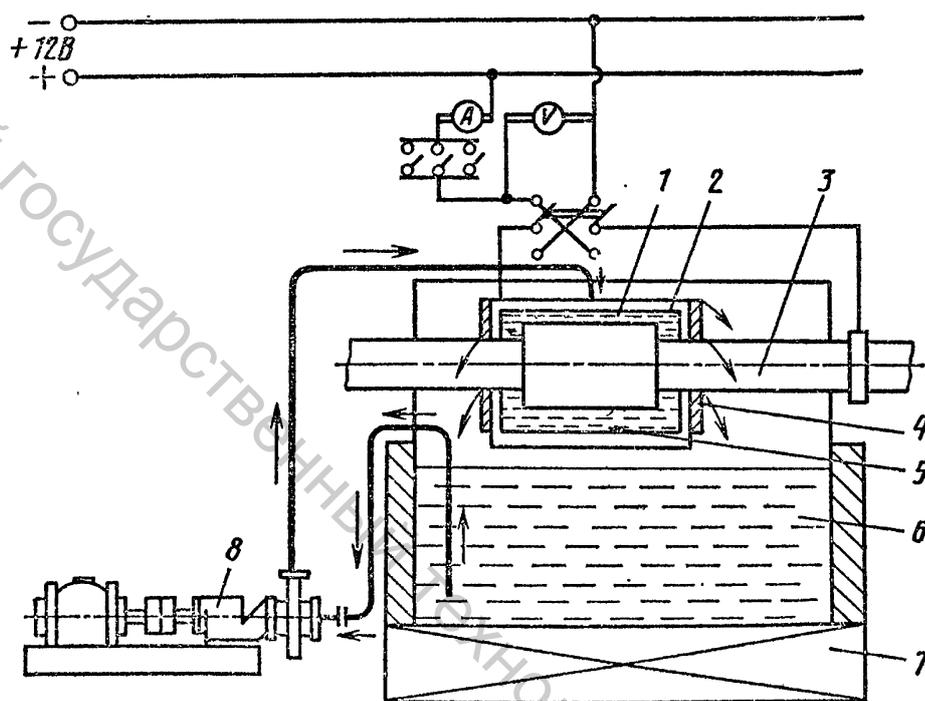


Рисунок 28 – Схема установки для струйного хромирования: 1 – анод; 2 – устройство для поддержания уровня электролита; 3 – наращиваемый вал; 4 – раздвижная кассета; 5 – ванна; 6 – электролит; 7 – подогреватель; 8 – насос

Для лучшего удержания смазки на деталях применяют пористое хромирование, так как плотный беспористый хром плохо смачивается маслами. Применение специальных пористых хромовых покрытий улучшает смачиваемость поверхностей самой детали примерно в 3 – 5 раз, а сопряженной с ней детали – в 1,5 – 2 раза.

К типу многослойных покрытий может быть отнесено и так называемое двухслойное хромовое покрытие. Последнее получают при нанесении различных осадков хрома с изменяющимися свойствами. Если необходимо защитить деталь от коррозии при одновременном увеличении ее износостойкости, наносят два слоя хрома: нижний – беспористый молочный и верхний – блестящий. Слой молочного хрома толщиной 15 мкм осаждают при температуре 70 °С и плотности тока 30 А/дм<sup>2</sup>. Затем непромытая деталь переносится в ванну с более низкой температурой электролита, где на матовый слой наносится слой блестящего износостойкого хрома толщиной 35 мкм и более.

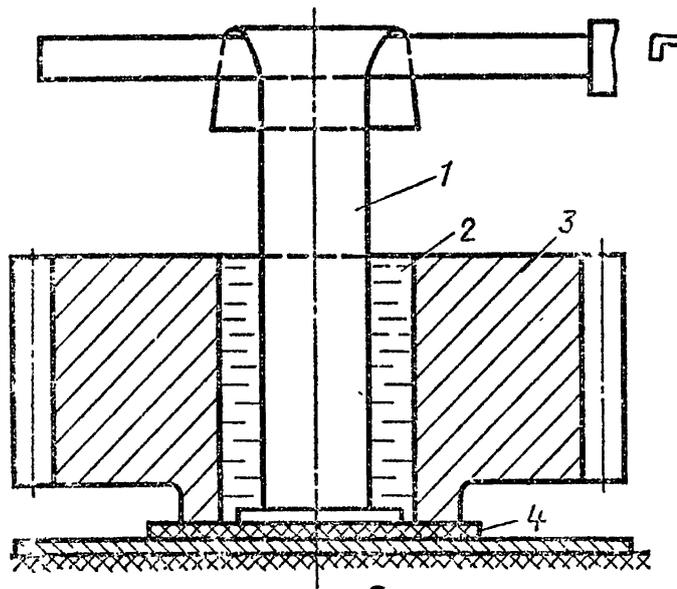


Рисунок 29 – Схема хромирования внутренних полостей детали:  
1 – анод; 2 – электролит; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – клеевой слой

При изготовлении деталей с хромовым покрытием и износе поверхностей трущихся деталей возможны повреждения защитного слоя. Поврежденный слой удаляют, а на его место наносят новый слой таким образом, чтобы были восстановлены размеры детали. Способ восстановления зависит от основного металла детали и его свойств. Поврежденный слой хрома на деталях из стали или сплавов на медной основе растворяют в соляной кислоте, которую разбавляют водой в отношении 1:1. При этом происходит значительное наводороживание слоя, что не допускается. Чтобы избежать наводороживания, остаток хрома снимают анодным растворением в ванне с 15 – 20 %-ным раствором едкого натра NaOH при комнатной температуре и анодной плотности тока 10 – 15 А/дм<sup>2</sup>.

Электролитическое железнение. При железнении, как и при других электролитических процессах, состав и свойства осажденного металла зависят от состава электролита и режимов наращивания.

Электролитическое железо, полученное из хлористых электролитов, имеет следующий химический состав в процентах: железа до 99,99; углерода 0,0001; серы 0,0001; фосфора до 0,0002. Добавление в хлористый электролит глицерина и сахара может увеличить содержание углерода и повысить твердость осадков.

Процесс покрытия электролитическим железом осуществляют с использованием растворимых (стальных) и нерастворимых (угольных) электродов. При наращивании слоя покрытия с помощью нерастворимых электродов необходимо систематическое корректирование состава электролита по мере истощения раствора.

Осадок электролитического железа, полученный в концентрированной хлористой ванне при температуре, близкой к температуре кипения, и высокой плотности тока (10 – 12 А/дм<sup>2</sup>), характеризуется пластичностью и

мелкозернистой структурой. При осаждении в серноокислых растворах при этих же режимах создаются более хрупкие крупнокристаллические осадки.

В серноокислых ваннах получают пластичные осадки железа при нормальной температуре и низких плотностях тока ( $0,1 - 0,2 \text{ А/дм}^2$ ). Хрупкость электролитического железа объясняется его способностью поглощать водород. В электролитическом железе, полученном из хлористых электролитов при температуре  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержится лишь  $0,002 - 0,003 \%$  водорода. Электролитическое железо, осажденное из серноокислых растворов при  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , содержит  $0,085 \%$  водорода.

Твердость электролитического железа зависит от состава электролита и режима электролиза. В случае применения хлористых электролитов осажденный металл имеет твердость  $100 - 400 \text{ НВ}$ , а при использовании серноокислых электролитов – твердость  $200 - 300 \text{ НВ}$ . В хлористых электролитах твердость осажденного железа возрастает с уменьшением концентрации хлористого железа и соляной кислоты, а также при увеличении катодной плотности тока и понижении температуры электролита. Температура электролита оказывает наиболее существенное влияние на твердость осажденного покрытия. Так, в хлористом электролите при понижении его температуры всего на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  твердость осадка повышается на  $40 - 60$  единиц. При дальнейшем снижении температуры до  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  твердость повышается до  $300 \text{ НВ}$ . Однако снижение температуры раствора приводит одновременно к увеличению хрупкости электролитического железа и большему содержанию водорода. Нагрев уменьшает хрупкость деталей и количество содержащегося в слое водорода. Повышение температуры до  $500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$  снижает твердость электролитического осадка железа на  $40 - 45 \%$ .

Для катодного осадка электролитического железа характерны значительные внутренние напряжения. При железнении в хлористых электролитах при температуре  $95 \text{ }^\circ\text{C}$  и плотности тока  $5 \text{ А/дм}^2$  остаточные напряжения в осажденном железе составляют примерно  $150 \text{ МПа}$ . При увеличении плотности тока до  $20 \text{ А/дм}^2$  напряжения возрастают до  $370 \text{ МПа}$ . В осадках, полученных из того же электролита, но при температуре  $102 \text{ }^\circ\text{C}$  и плотности тока  $10 \text{ А/дм}^2$  остаточные напряжения равны  $120 \text{ МПа}$ . В этих же осадках, полученных при температуре  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ , остаточные напряжения составляют  $450 \text{ МПа}$ . При дальнейшем понижении температуры остаточные напряжения повышаются настолько, что появляется опасность отслаивания покрытия. Отпуск деталей, покрытых электролитическим железом, при температуре  $500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$  уменьшает остаточные напряжения на  $15 - 20 \%$ .

Предел прочности электролитического железа, осажденного из хлористого электролита, составляет  $350 - 450 \text{ МПа}$ , а относительное удлинение  $5 - 10 \%$ , т. е. от условий электролиза зависят как прочность, так и относительное удлинение осажденного железа.

В холодных электролитах процесс железнения проводят при малой плотности тока. Скорость осаждения металла в этих электролитах не превышает  $100 - 130 \text{ мкм/ч}$ . В электролитах, нагретых до  $50 - 105 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

электролиз протекает при высоких плотностях тока (10 – 20 А/дм<sup>2</sup>); скорость отложения металла значительно повышается.

Для получения толстого слоя осадка при восстановлении размеров детали чаще всего применяют хлористые электролиты, содержащие, г/л: хлористого железа 200 – 250, хлористого марганца 50 – 70, соляной кислоты 0,8 – 1,0. Режим осаждения: нагрев до 55 – 65 °С, плотность тока 25 – 35 А/дм<sup>2</sup>. Электролит каждую неделю необходимо фильтровать.

Применяют электролит и другого состава, содержащий, г/л: хлористого железа 200, хлористого калия 270, муравьиной кислоты 5 – 20. Режим осаждения: водородный показатель электролита рН 3,5, температура электролита 55 – 60 °С, плотность тока при отсутствии перемешивания и фильтрации 10 А/дм<sup>2</sup>. В этом электролите получают осадки твердостью до 800 НВ и надежной связью с поверхностью наращиваемой детали. Соотношение анодных и катодных поверхностей 1:1. При этом обязательно перенасыщение электролита хлористым калием. В этом же электролите при движении катодных штанг и фильтрации электролита плотность тока можно повысить до 12 – 15 А/дм<sup>2</sup>. Применяется также электролит с содержанием, г/л: хлористого железа 500 – 700, соляной кислоты 1 – 3. Режим осаждения: температура электролита 90 °С, плотность тока 10 – 20 А/дм<sup>2</sup>, выход по току 95 %.

Электролит для железнения необходимо выбирать с учетом возможности подбора соответствующих материалов для изготовления ванн. Сернокислые и хлористые электролиты при повышенной температуре агрессивны к металлам. Процесс наращивания элемента детали железом упрощается при применении борфтористоводородных электролитов. Из сернокислых электролитов, применяемых на практике, наибольшее распространение получили растворы, в которых процесс производится без нагрева электролита или при несколько повышенной температуре.

Термическая обработка улучшает также прочность сцепления поверхности наращиваемой детали с покрытием, которая после осаждения равна примерно 35 МПа, а после нагрева до 200 – 250 °С в течение 40 – 60 мин – 280 МПа.

Наращивание химического никеля осуществляется как в щелочных, так и в кислых растворах. Щелочные растворы характеризуются лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с кислыми. Такие растворы можно использовать длительное время вследствие поддержания заданной кислотности при систематическом добавлении в раствор компонентов, расходуемых на осадки. Скорость наращивания покрытия при химическом никелировании в этих растворах может быть постоянной и поддерживаться на уровне 10 – 12 мкм/ч.

Осаждение химического никеля в значительной мере зависит от кислотности электролита. Нормальное выделение никельфосфористого осадка происходит при рабочем интервале кислой области, соответствующей рН 4,5 – 6,5, и щелочной области, соответствующей рН 7 – 9. Примерно при рН 2 осаждение металла не прекращается, но поверхность металла разрушается и травится раствором. При рН 9,5 получают осадок плохого качества, а при рН

9,8 – 10 компактное осаждение прекращается. Скорость восстановления никеля зависит также от pH и неодинакова для разных значений этого показателя. Этим объясняется значительное изменение содержания фосфора в осажденном сплаве.

Подготовка стальных деталей для нанесения химическим путем никельфосфористого покрытия сходна с методами обработки, которые применяют перед нанесением электролитических покрытий.

Практическая проверка показала, что при химическом никелировании в кислом растворе неравномерность толщины покрытия при общей толщине 15 – 30 мкм колеблется в пределах 0,5 – 1,0 мкм, т. е. составляет примерно 3 %.

В отличие от электролитического никелирования химический процесс сопровождается быстрым истощением раствора и резким падением скорости осаждения. При электролитическом отложении постоянная концентрация компонентов ванны поддерживается за счет непрерывного растворения анодов. В ряде растворов скорость осаждения практически прекращается после 2 – 3 ч работы ванны. При корректировании состава электролита ванну останавливают каждый час для добавления компонентов.

Применение щелочных или кислых растворов, тех или других компонентов, а также изменение температуры раствора позволяет регулировать скорость осаждения. Скорость никелирования в щелочных растворах в большей степени зависит от температуры раствора. Скорость никелирования в кислых растворах несколько выше, чем в щелочных. В щелочных растворах можно поддерживать практически постоянную скорость осаждения никеля регулярным пополнением израсходованных компонентов. Корректирование содержания компонентов в щелочном растворе осуществляют периодическим добавлением солей никеля, гипофосфита и раствора аммиака в соответствии с заданной рецептурой. Необходимо поддерживать величину pH в пределах 8,5 – 8,7.

Цинкование. В атмосферных условиях цинковые покрытия подвергаются коррозии, образуя различные химические соединения цинка. Скорость коррозии цинкового покрытия зависит от условий эксплуатации изделий и в промышленных районах составляет 1,0 – 1,5 мкм в год. Для повышения защитных свойств покрытий их подвергают специальной химической обработке в растворах хромовой кислоты и ее солей или в растворах солей фосфорной кислоты.

Покрытия применяют для защиты изделий из черных металлов (листов, труб, проволоки, деталей станков, автомобилей, приборов, крепежных изделий) от коррозии. В ремонтном производстве цинковые покрытия используют для защиты от коррозии крепежных деталей.

При цинковании используют различные электролиты номеров 1 и 2 – кислые, 3, ..., 6 – щелочные, 3 и 4 – цианистые, 5 – цинкатные, 6 – аммиакатные. Для увеличения плотности тока и производительности процесса многие электролиты перемешивают.

Защитные свойства определяются не средней толщиной покрытий на всей

поверхности изделий, а фактической толщиной на том или ином участке. Поэтому основная характеристика электролита – рассеивающая способность. Кислые электролиты обладают плохой рассеивающей способностью. Кроме того, покрытия, полученные в кислых электролитах, обладают более грубой структурой и меньшей коррозионной стойкостью, чем покрытия, полученные в щелочных электролитах. В то же время кислые электролиты устойчивы, допускают применение высокой плотности тока, особенно при перемешивании, при высоком (близком к 100 %) выходе цинка по току. Покрытия приобретают светлый цвет, характеризуются повышенной пластичностью, прочным сцеплением с основным металлом и могут выдержать различную механическую обработку. Поэтому кислые электролиты широко используют для покрытия малорельефных изделий, а также полуфабрикатов – листов, проволоки, полос.

Щелочные электролиты обладают хорошей рассеивающей способностью, а покрытия, полученные в этих электролитах, – более высокой коррозионной стойкостью. Однако щелочные электролиты менее устойчивы, допустимая плотность тока в них ниже, и с повышением ее заметно снижается выход цинка по току. Такие электролиты применяют для цинкования изделий сложной формы.

При цинковании может быть использовано несколько технологических решений. Выбор решения зависит от того, изменяются ли на поверхности детали пленки оксидов или нет. Гальванические покрытия на поверхности мелких деталей, как правило, наносятся в барабанах и колоколах, на поверхности более крупных деталей – в стационарных ваннах (на подвесках).

Для цинкования служат аноды из цинка марок Ц0, Ц1 и Ц2 в виде пластин, которые во избежание загрязнения электролита необходимо помещать в чехлы из кислотостойкой ткани (стеклоткань, шерсть). Аноды следует периодически очищать травлением или щетками.

Мелкие крепежные детали покрывают цинком в колокольных или барабанных ваннах. Колокол (или барабан) вращается с частотой 8 – 15 мин в зависимости от его конструкции. Цинкование крепежных деталей ремонтируемых машин имеет свои особенности, обусловленные тем, что эти детали уже были в эксплуатации и поэтому могут быть повреждены и сильно загрязнены. Сначала их галтуют в слабом щелочном растворе или керосине, а затем проверяют состояние резьбы, выбраковывая поврежденные детали.

Для химического обезжиривания и травления детали засыпают в сетчатую корзину, изготовленную из коррозионно-стойкой стали, и погружают в раствор или щелочи, или серной кислоты. При этом корзины периодически встряхивают. Обезжиривание и травление можно проводить и непосредственно в барабане. Чаще всего цинкуют в серноокислом или аммиачном электролите.

Недоброкачественные цинковые покрытия удаляют химическим травлением в растворе серной или соляной кислоты (50 – 100 г/л) при температуре 15 – 25 °С.

Специальные процессы цинкования – электроконтактное цинкование и цинкование периодическим током.

Электроконтактное цинкование (натирание) применяют для восстановления посадочных мест под подшипники с небольшим износом.

Цинкование проводят в электролите, содержащем, г/л: сернокислого цинка 280 – 300, борной кислоты 20 – 40. Процесс начинают вести при плотности тока 30 – 50 А/дм<sup>2</sup>, которую постепенно увеличивают до 200 А/дм<sup>2</sup>. Скорость перемещения анодного тампона относительно покрываемой поверхности 10 м/мин. Цинкование можно проводить в этом же электролите, переключив полярность, или в растворе серной кислоты. Обычно используют размерное цинкование, т. е. покрытые поверхности не обрабатывают резанием.

### 13 Применение пластмасс и клеев

Пластмассы в ремонтной практике наносят на поверхности деталей для восстановления их размеров, повышения износостойкости и улучшения герметизации. Одновременно покрытие из пластмассы снижает шум от трения и повышает коррозионную стойкость изделия. Тонкий слой пластмассы практически не ухудшает прочностных показателей металла и придает детали податливость, т. е. способность принимать форму сопряженной детали, что приводит к резкому увеличению площади контакта. Пластмассы наносят литьем под давлением, горячим прессованием, вихревым, газопламенным и центробежным способами.

Акриловые пластмассы. При ремонте широко применяют акриловые пластмассы, содержащие в качестве связующих материалов акриловые смолы – продукты полимеризации метилметакрилата и сополимеризации метилметакрилата со стиролом. К ним относят: акрилат АТС-1, бутакрил, эпоксидно-акриловые пластмассы СХЭ-2 и СХЭ-3.

Эти термопластические быстротвердеющие пластмассы холодного отверждения получают смешиванием порошка и жидкости. Изготовленная масса, имеющая консистенцию сметаны, затвердевает без подогрева и давления. Такие пластмассы используют при восстановлении изношенных изделий в качестве компенсатора износа для восстановления нарушенных размерных цепей станков и машин. Раствор пластмассы применяют и при склеивании материалов.

Затвердевшая пластмасса износостойка, хорошо работает в паре с чугуном, сталью, бронзой, коэффициент трения при отсутствии смазочного материала 0,20 – 0,18, а при введении в композицию требуемого количества антифрикционных добавок уменьшается до 0,143. Пластмассы с такими добавками могут работать без смазки. Затвердевшая пластмасса стойка к щелочам любой концентрации, бензину, скипидару, пресной и морской воде, минеральным и растительным маслам. Излишки пластмассы можно удалить нагреванием до 150 – 200 °С и дальнейшим выжиганием или обработкой резанием.

Для повышения эксплуатационных свойств (уменьшения коэффициента трения и увеличения износостойкости) в пластмассу вводят (до 10 %, массовая доля) порошок графита. Однако при этом ухудшаются адгезионные свойства

раствора пластмассы. Чтобы использовать хорошие адгезионные качества не наполненной пластмассы и повышенные эксплуатационные свойства раствора, содержащего антифрикционные наполнители, детали ремонтируют двухступенчатым методом. Восстанавливаемая поверхность покрывается слоем раствора пластмасс СХЭ-2, СХЭ-3 (подложка) без наполнителя, обладающей максимальной адгезией. После полимеризации подложки наносят (заливают) рабочий слой пластмассы, содержащий требуемое количество антифрикционного наполнителя. При заливке этим способом второй слой полностью соединяется с первым.

Раствор пластмассы готовят непосредственно перед применением. Для этого определяют соотношение порошка и жидкости в растворе в зависимости от объема и размеров щелевых отверстий, в которые заливают раствор. Чем тоньше и длиннее щель, тем жиже должна быть смесь. С увеличением содержания жидкости увеличиваются усадка и время отверждения пластмассы.

Пластмассы наносят на поверхность свободной заливкой или вручную (лопаткой или кистью). Поверхности тщательно обезжиривают ацетоном, бензином или другими растворителями и просушивают 10 – 15 мин.

На поверхности, не покрываемые раствором пластмассы, наносят слой силиконового масла, парафина, хозяйственного мыла, дисульфида молибдена или натирают эти поверхности графитовым порошком. При этом образуется тончайший разделительный слой.

В целях правильного формирования поверхностей сопрягаемые детали должны быть закреплены неподвижно. Полное отверждение бутакрила в глубинных слоях наступает через 12 – 15 ч. При пониженных температурах процесс отверждения замедляется.

При больших объемах бутакрил заливают методом наслаивающей заливки. При этом последующий слой хорошо соединяется с ранее нанесенным и затвердевшим. Смесь порошка с жидкостью следует готовить частями, не более 200 г каждая. Процесс отверждения пластмассы происходит со значительным выделением тепла, поэтому при заливке больших объемов необходимо обеспечить хороший отвод тепла. Затвердевшие пластмассы хорошо обрабатываются резанием, шлифуются и полируются.

Жидкий бутакрил летуч, поэтому работать с ним рекомендуется под вытяжкой в помещении большой площади. Предельно допустимая концентрация жидкости – 0,02 мг/л. Жидкость огнеопасна, срок ее хранения один год (при температуре не выше 15 °С без воздействия солнечных лучей). Срок хранения порошка не ограничивается.

Технологический процесс восстановления деталей с использованием акриловых пластмасс выполняется в такой последовательности: восстановление геометрической точности базовой детали (станины, стола, планшайбы и др.); подготовка поверхности (направляющих) восстанавливаемой детали (строгание или обтачивание для получения заливаемого зазора размером 2,5 – 3 мм); нанесение разделительного слоя на направляющие формующей базовой детали; обезжиривание и просушивание наращиваемых (формуемых) поверхностей

деталей; сборка и выверка координат ремонтируемой сборочной единицы (выверка координат производится винтами диаметром 10 – 12 мм, для которых сверлят отверстия и нарезают резьбу в восстанавливаемой детали); герметизация сопрягаемых восстанавливаемых поверхностей пластилином и изготовлением воронок для заливки пластмассы; подготовка пластмассы; заливка через воронки пластмассы в щель между сопрягаемыми поверхностями; выбор режима отверждения пластмассы, т. е. определения длительности выдержки в зависимости от температуры окружающей среды; вывертывание технологических винтов после отверждения пластмассы и заливка пластмассы в образовавшиеся отверстия; удаление затвердевших приливов пластмассы; контроль качества восстановленной поверхности; обработка формованных поверхностей и выполнение смазочных канавок.

Качество подготовки поверхностей и выверка точности координат оказывают большое влияние на качество и трудоемкость ремонта агрегата в целом.

Восстановление посадочных мест подшипников качения и втулок. При посадке подшипника качения в корпусе машины происходит деформация подшипника и гнезда корпуса, в которое он устанавливается. Поэтому при замене изношенного подшипника новыми сопрягаемые поверхности уже не могут обеспечить требуемого характера соединения. Для восстановления посадочных мест подшипника качения и обеспечения требуемого характера соединения используют эпоксидный клей. При восстановлении гнездо корпуса и наружное кольцо подшипника качения зачищают и тщательно обезжиривают. После испарения растворителя гнездо корпуса машины смазывают эпоксидным клеем и осторожно вставляют в него подшипник (рис. 30). Оба подшипника, если возможно, монтируют на валу и устанавливают в корпус машины в собранном виде во избежание перекоса.

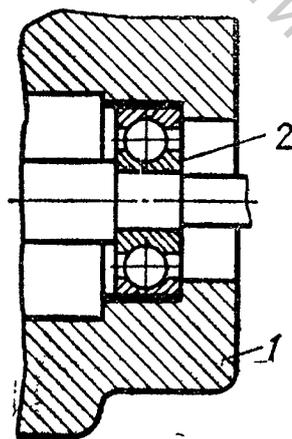


Рисунок 30 – Посадка подшипника качения в корпус оборудования

На эпоксидном клее можно устанавливать и втулки. При запрессовке в корпус машины втулка деформируется. Поэтому внутреннюю ее поверхность развертывают или пришабривают. При установке втулок на эпоксидном клее трудоемкие операции исключены; обеспечены точность и соосность собираемых деталей. Втулки, предназначенные для установки, изготавливают без

припусков на последующую пригонку. Внутреннюю поверхность втулки растачивают по валу, наружную поверхность выполняют с полем допуска диаметра:  $e_8$ ,  $e_9$ ,  $f_8$  и  $f_9$ . Перед сборкой сопрягаемые поверхности втулки и корпуса машины обезжиривают и покрывают слоем эпоксидного клея. Втулки необходимо вставлять одновременно со сборкой вала, надежно закрепляя и не допуская их самопроизвольного смещения.

Применение эпоксидного клея при восстановлении посадочных мест подшипников качения и втулок упрощает ремонт и процесс сборки. С помощью клея устраняют допущенные погрешности обработки посадочных поверхностей детали.

## 14 Пластическая деформация

Одним из наиболее распространенных способов восстановления является способ, основанный на пластическом деформировании изношенных деталей с последующей (в случае необходимости) механической обработкой.

Холодная и горячая правка. При воздействии внешней силы деталь деформируется, т. е. изменяется ее форма и размеры. После снятия внешней силы деталь частично приобретает прежние форму и размеры. Ту часть деформации, которая не восстанавливается, называют остаточной или пластической.

С помощью пластической деформации устраняют дефекты формы (вмятины, вогнутости, скручивание), изменяют посадочные размеры изношенных поверхностей деталей (увеличивают диаметры изношенных втулок), а также используют этот способ для повышения прочности деталей (дробеструйный наклеп рессор) и снижения шероховатости механической обработки (накатка роликами шеек валов вместо их шлифования).

Способ основан на принудительном местном перераспределении металла самой детали, в результате чего на ее ремонт не требуется дополнительного металла. При деформации нагрузки на детали превышают 500 – 800 МПа. Величина прикладываемой нагрузки зависит от структуры металла, определяемой химическим составом материала детали и видом термической обработки, влияющей на размеры и форму зерен.

Для облегчения пластического деформирования деталь предварительно нагревают. Так, например, при нагреве до температуры 900 °С давление на деталь можно снизить до 50 – 60 МПа.

При нагреве изменяются структура и механические свойства металла. Поэтому после пластического деформирования детали подвергают термической и термохимической обработкам. Нагревают детали, изготовленные из легированных, а также средне- и высокоуглеродистых сталей. Оптимальная температура нагрева, при которой на деталях не образуются трещины, 850 – 1100 °С.

При использовании метода пластического деформирования выполняют следующие основные операции.

Правкой устраняют остаточные деформации типа изгиба, скручивания,

коробления. При правке (рис. 31) направление воздействия внешних сил  $P_d$  и момент  $M$  совпадают с направлением деформации  $\delta$ , т. е. изменением формы детали.

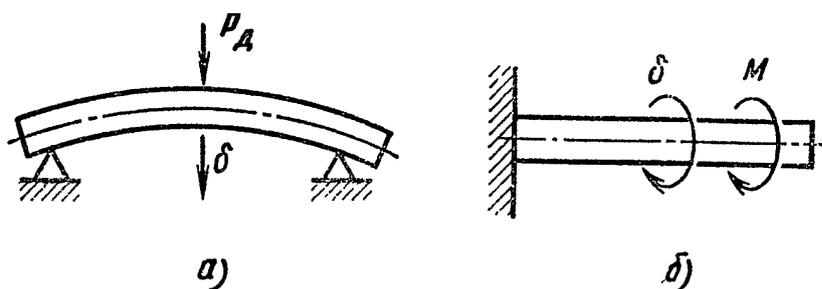


Рисунок 31 – Схемы правки деталей: а – изогнутых; б – скрученных

Холодная правка не всегда дает устойчивые результаты, так как в металле в результате наклепа могут возникнуть внутренние напряжения, накладывающиеся на остаточные напряжения, которые сохранились в детали.

Эти явления устраняются в процессе горячей правки, при которой участки, подвергаемые деформации, нагревают до температуры  $600 - 900$  °С. Так, например, при правке металлоконструкций деформированные элементы нагревают с помощью газовых горелок и паяльных ламп до температуры  $900$  °С в местах наибольшего изгиба с выпуклой стороны. Возникающие при нагреве напряжения растяжения вызывают выпрямление детали.

Детали правят с помощью прессов и домкратов. Хорошие результаты дает правка деталей местным наклепом (рис. 32 а), который создает напряжения сжатия, деформирующие деталь в направлении, совпадающем с направлением наносимого удара. Для нанесения удара применяют как пневматические, так и ручные молотки. На бойке пневматического молотка закрепляют закаленный шарик. Точность правки наклепом –  $0,02$  мм на  $1$  м длины вала.

Осадкой (рис. 32 б) увеличивают точность диаметра деталей типа пальцев и втулок из цветных металлов за счет некоторого уменьшения их длины. Этим способом можно уменьшить длину деталей до  $15$  %, однако ответственные детали не уменьшают больше чем на  $4 - 8$  %.

При осадке направление действия внешней силы  $P_d$  перпендикулярно к направлению деформации  $\delta$ . В смазочные канавки втулок перед осадкой закладывают стальные вставки.

Раздачей (рис. 32 в) увеличивают наружный диаметр деталей типа пустотелых валов и втулок при незначительном изменении их длины. В отверстие детали проталкивают шарик или пуансон с большим, чем у отверстия детали, диаметром. Твердость пуансонов из стали ХВГ должна быть в пределах  $63 - 65$  HRC0.

Обжатием (рис. 32 г) уменьшают внутренние размеры деталей типа втулок, изготовленных из цветных металлов. Втулку проталкивают пуансоном через установленную в подставке матрицу. Входное отверстие матрицы сужается под углом  $7 - 8$  °, далее идет калибрующая часть, которая заканчивается выходным отверстием, расширяющимся под углом  $18 - 20$  °. После обжатия наружную поверхность втулок омедняют и протачивают, а внутреннюю развертывают.

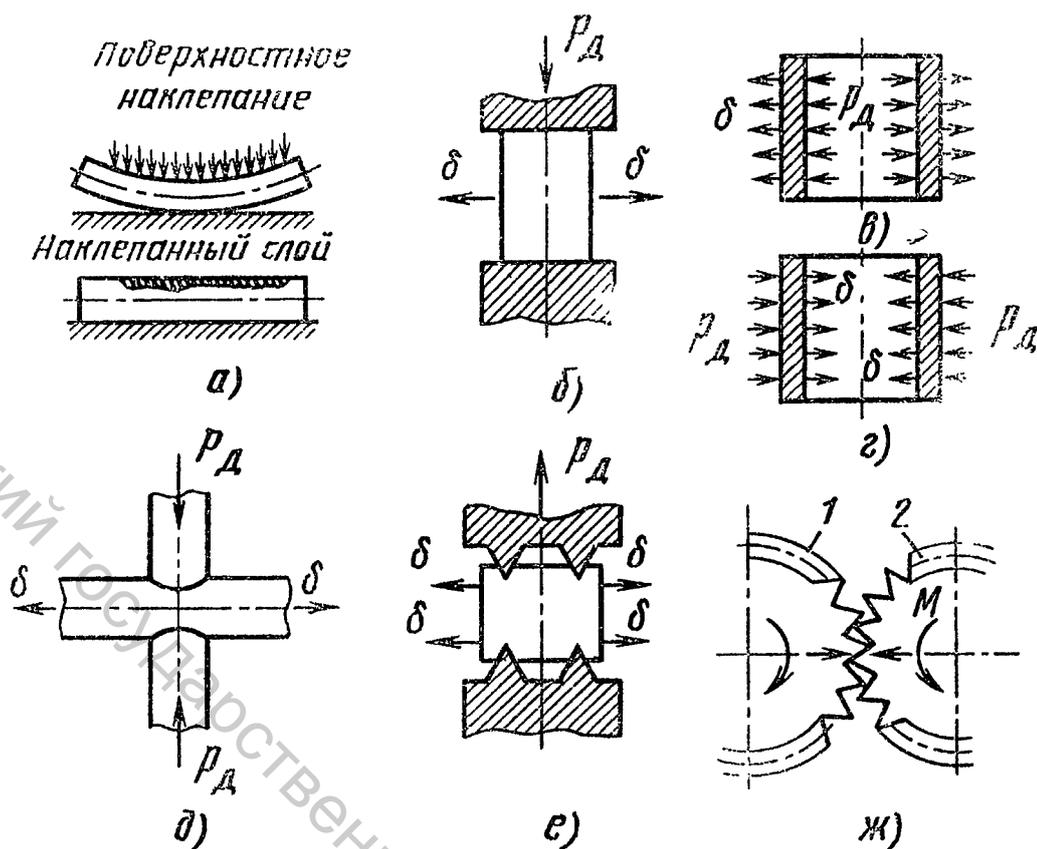


Рисунок 32 – Схемы восстановления деталей давлением:  
1 – накатываемая деталь; 2 – ролик

Вытяжкой (рис. 32 д) увеличивают длину деталей за счет местного уменьшения их поперечного сечения, например, удлиняют на небольшую величину тяги. При вытяжке направление деформации перпендикулярно направлению действия внешней силы.

Вдавливанием (рис. 32 е) увеличивают наружные размеры детали за счет ее деформации на ограниченном участке. Этим способом восстанавливают работоспособность шлицевых поверхностей деталей типа валов. Шлицы прокатывают по направлению их продольной оси заостренным роликом, который внедряется в металл и как бы разводит шлиц на 1,5 – 2,0 мм в сторону. Инструментом служат ролики диаметром 60 мм с радиусом заострения около 0,4 мм. Нагрузка на ролик составляет 2 – 2,5 кН.

Накатка (рис. 32 ж) основана на вытеснении рабочим инструментом (шариками или роликами) материала с отдельных участков изношенной поверхности детали и позволяет увеличивать диаметр накатываемых деталей на 0,3 – 0,4 мм. Накатке подвергают детали без термической обработки. Обработанная таким образом поверхность пригодна для посадок. Ее износостойкость близка к износостойкости поверхности новой детали, а усталостная прочность повышается в связи с некоторым наклепом обработанной поверхности. Лучшее качество дает косая накатка.

Электрохимическая обработка деталей – один из способов восстановления деталей пластической деформацией, состоящий в

искусственном нагреве металла электрическим током в зоне деформации.

Такой нагрев повышает пластические свойства металла и облегчает резание. При нагреве используют трансформатор, со вторичной обмотки которого можно получить ток 1000 А при напряжении 0,2 – 2 В.

Этот способ дает возможность обрабатывать закаленные детали и детали, наплавленные твердыми сплавами. Обработанная электромеханическим способом поверхность детали обладает большей износостойкостью, чем деталь, обработанная без электроподогрева.

Если обработку детали описанным выше способом выполнить резцом с закругленной вершиной, можно сгладить предварительно проточенную поверхность. При механическом сглаживании повышается твердость поверхности, а диаметр детали уменьшается на 0,02 – 0,03 мм. Электромеханическое сглаживание может во многих случаях заменить шлифование.

Электромеханическим способом можно восстанавливать неподвижные сопряжения. Процесс состоит из двух операций (рис. 33): высадки металла и сглаживания выступов до необходимого размера.

Металл высаживают твердосплавной пластинкой с углом в плане, равным 70 °. Подача  $S$  должна быть в 3 раза больше контактной поверхности  $f$  пластинки. Сглаживание выступов выполняют закругленной пластинкой. Радиус закругления составляет 80 – 100 мм; ширина пластинки в 3 – 5 раз больше подачи. При этом способе увеличивается твердость контактной поверхности и повышается износостойкость восстановленных сопряжений.

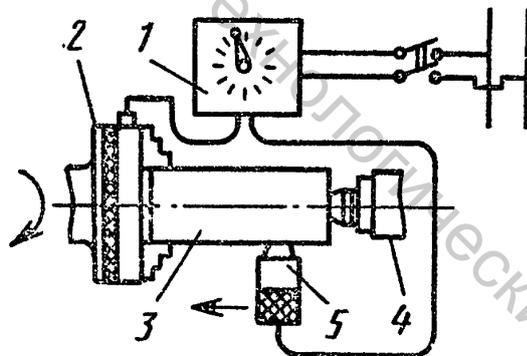


Рисунок 33 – Схема электромеханической обработки: 1 – трансформатор; 2 – патрон; 3 – деталь; 4 – задняя бабка; 5 – инструмент

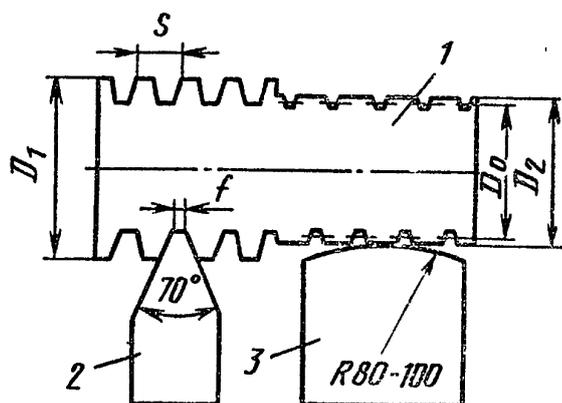


Рисунок 34 – Схема электромеханической высадки и сглаживания деталей при ремонте неподвижных сопряжений: 1 – деталь; 2 – высаживающая пластина; 3 – сглаживающая пластина;  $D_0$  – диаметр изношенной детали;  $D_1$  – диаметр детали после высадки;  $D_2$  – диаметр детали после сглаживания

## 15 Паяные соединения

При восстановлении радиаторов, различных тонкостенных емкостей, трубопроводов широко используют пайку.

Особенность пайки состоит в том, что при этом процессе не происходит плавления металла соединяемых деталей.

Родственным пайке процессом является лужение, при котором поверхность металлической детали покрывают тонким слоем расплавленного припоя, образующего в контакте с основным металлом припой-сплав переменного состава с теми же зонами, что и зоны при пайке. Если при пайке прочность паяного соединения определяется прочностью двух спаев и зоны сплавления, то при лужении прочность связи слоя полуды с основным металлом зависит от прочности переходного слоя (спая) между ними.

Лужение можно применять как предварительный процесс с целью создания более надежного контакта между основным металлом и припоем или как покрытие для защиты металлов от коррозии. Для повышения прочности спая, полученного при лужении, иногда проводят термическую обработку.

Паемые конструкционные материалы выбирают в соответствии с условиями работы конструкции и требованиями прочности, герметичности, коррозионной стойкости и др.

В паемых конструкциях применяют стали всех типов, чугуны, никелевые сплавы (жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие), медь и ее сплавы, а также легкие сплавы на основе титана, алюминия, магния и бериллия. Ограниченное применение имеют сплавы на основе тугоплавких металлов: хрома, ниобия, молибдена, тантала и вольфрама.

В качестве припоев для пайки металлов применяют как чистые металлы, так и их сплавы.

Чтобы выполнить условия проведения пайки и обеспечить получение качественных паяных соединений, припои должны отвечать следующим требованиям:

температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов; для соединений, работающих при температурах выше 100 °С, припой, имеющие температуру плавления ниже 300 °С, применять не рекомендуется;

припой должен хорошо смачивать поверхность паяемых деталей и затекать в зазоры соединения;

выбранный припой должен обеспечивать получение соединения необходимой прочности;

припой должен обеспечивать возможность нанесения антикоррозионного или декоративного покрытия требуемого качества.

В соответствии с ГОСТ 19248 – 78 по температуре расплавления  $t_{\text{np}}$  припои подразделяют на: особолегкоплавкие ( $t_{\text{np}} < 145$  °С); легкоплавкие ( $145 < t_{\text{np}} < 450$  °С); среднеплавкие ( $450 < t_{\text{np}} < 1100$  °С); высокоплавкие ( $1100 < t_{\text{np}} < 1850$  °С); тугоплавкие ( $t_{\text{np}} > 1850$  °С).

Высокотемпературная пайка дает более прочные соединения, иногда не уступающие по прочности основному материалу.

Соединения, выполненные серебряными, медными и медно-цинковыми припоями, хорошо покрываются почти всеми видами гальванических покрытий. Соединения припоями, содержащими олово, не следует подвергать гальваническим покрытиям и окислению.

При выборе припоя для пайки стальных конструкций следует иметь в виду, что все медные и часть серебряных припоев способствуют возникновению трещин в основном материале в процессе пайки или при последующей сварке вблизи паяных швов.

Паяльный флюс – химически активное вещество, предназначенное для очистки и поддержания чистоты поверхностей паяемого металла и припоя с целью снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания жидкого припоя.

К флюсам предъявляется целый ряд требований. Так, необходимо, чтобы флюс химически не взаимодействовал с припоем (кроме случаев реактивно-флюсовой пайки); очищал поверхности основного металла и припоя от присутствующих на них окислов и защищал соединение от воздействия окружающей среды во время пайки; имел температуру плавления ниже температуры плавления припоя; способствовал смачиванию поверхности основного металла припоем в расплавленном состоянии; сохранял свойства и не менял своего состава от нагрева при пайке; не вызывал сильной коррозии паяного соединения и не выделял при нагреве ядовитых газов.

В зависимости от температурного интервала активности паяные флюсы подразделяют на низкотемпературные ( $t_{\text{np}} < 450$  °С) и высокотемпературные ( $t_{\text{np}} > 450$  °С) (ГОСТ 19250 – 73).

В ходе кристаллизации припоя при охлаждении возможно появление специфических дефектов – пор, раковин, трещин. В определенных условиях процесс кристаллизации может оказаться основным в формировании работоспособного соединения. Процесс кристаллизации, в свою очередь,

определяется составом припоя и его взаимодействием с паяемым материалом, условиями охлаждения, величиной зазора, конструкцией соединения и некоторыми другими факторами.

В настоящее время принята классификация способов пайки по различным признакам.

По условию заполнения паяльного зазора различают виды пайки: капиллярный и некапиллярный. При капиллярной пайке заполнение припоем зазора и удержание его в зазоре происходит под действием поверхностного натяжения капиллярных сил. При некапиллярной пайке зазор заполняется припоем преимущественно под действием силы тяжести или другой внешней силы.

К некапиллярным способам пайки (применяемым относительно редко) отнесены сваркопайка (способ соединения разнородных металлов с различной температурой плавления, при котором расплавляется только более легкоплавкий металл, играющий роль припоя) и пайка заливкой, при которой соединение образуется через припой, заливаемый в полость, имеющуюся в одной из соединяемых деталей или в специальном приспособлении.

В зависимости от происхождения припоя различают следующие способы пайки: готовым припоем и контактнореактивную, для которой роль припоя выполняет жидкая фаза, образующаяся в результате химической реакции с компонентами флюса.

Одним из перспективных видов припоя является композиционный припой, содержащий порошковый наполнитель, не расплавляющийся при пайке. Наполнитель создает в зазоре систему капилляров, что позволяет паять изделия с большими зазорами. Кроме того, наполнитель участвует в диффузионном взаимодействии с припоем и может быть использован для придания соединению специальных свойств.

Диффузионная пайка рассчитана на развитие диффузионных процессов между припоем и паяемым металлом, при которой затвердевание паяного шва происходит при температуре выше температуры солидуса припоя.

По способу удаления окисной пленки при пайке и лужении различают флюсовую и бесфлюсовую пайку, ультразвуковые пайку и лужение, абразивное, абразивно-кристаллическое и абразивно-кавитационное лужение, пайку в активных, нейтральных газах и в вакууме. При ультразвуковой пайке и лужении, абразивном, абразивно-кристаллическом и абразивно-кавитационном лужении происходит механическое разрушение оксидной пленки на поверхности паяемого материала под слоем расплавленного припоя, смачивающего очищенную поверхность, за счет явления кавитации, вызываемой ультразвуковыми колебаниями, или абразивного воздействия твердых частиц, содержащихся в припое.

По источникам нагрева существующие способы пайки разделяют на пайку паяльником, газопламенную, дуговую, электросопротивлением, экзотермическую (использующую теплоту, образующуюся при экзотермических реакциях специальных смесей), электронным лучом (чаще

сканирующим), лазерную, световым излучением (с помощью кварцевых ламп и ксеноновых ламп высокого давления), печную, погружением в расплавленные соли или припой, волной припоя, нагретыми штампами, матами, блоками.

Конкретная структура соединения зависит от многих факторов – химического состава припоя и паяемого металла, температуры пайки, времени выдержки при температуре пайки, скорости нагрева и охлаждения.

## 16 Упрочняюще-чистовая обработка деталей машин

Качество поверхностного слоя оказывает большое влияние на характеристики трения и изнашивания, развитие усталостных явлений, коррозию, КПД машин, возникновение шумов и на другие параметры и характеристики машин. Поэтому качество поверхностного слоя является одним из главных факторов, определяющих долговечность деталей машин и инструментов.

Для улучшения качества поверхностного слоя дополнительно или взамен некоторых способов обработки резанием эффективно применять упрочняюще-чистовую обработку пластическим деформированием.

При такой обработке дефекты, образовавшиеся в поверхностном слое детали на предшествующих операциях резания, особенно при шлифовании, в значительной мере ликвидируются, слой упрочняется, в нем создаются сжимающие остаточные макронапряжения, долговечность деталей возрастает.

Основными показателями упрочняюще-чистовой обработки являются толщина и степень наклепа, величина остаточных макронапряжений сжатия и шероховатость поверхности.

Применяют следующие способы упрочняюще-чистовой обработки пластическим деформированием: дробеструйный, обкатывание или раскатывание шарами (ОШР) или роликами, дорнование, центробежно-шариковый (ротационный), чеканка и др. Способы обработки и конструкции инструмента зависят от формы упрочняемой поверхности.

При различных сочетаниях материала детали, способа и режима обработки получают различные: толщину наклепа (0,005 – 40 мм), микротвердость (10 – 70 % и более), остаточные макронапряжения сжатия (до 400 – 700 МПа), усталостную прочность при наличии сильнодействующих концентраторов напряжений (на 150 – 250 %) и шероховатость поверхности (от  $Rz = 40$  до  $Ra = 0,16$  мкм).

Эффект дробеструйной обработки (рис. 35) несколько ограничен: пластические деформации проникают на сравнительно малую глубину (до 0,7 мм), шероховатость поверхности практически не уменьшается, микротвердость поверхностного слоя увеличивается незначительно (на 30 %). Этот способ эффективен для фасонных деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Сопротивление усталости при этом увеличивается в 1,5 раза и более.

Обкатывание шаром (рис. 36) или роликом – наиболее распространенный процесс, так как имеет большие возможности: снижается шероховатость поверхности от  $Rz = 40$  до  $Ra = 0,16$  мкм, увеличивается микротвердость

поверхностного слоя на 40 – 60 %, получается наклеп значительной толщины.

Дорнование (рис. 37) – процесс, при котором создается наклеп незначительной толщины (до 1 мм). Микротвердость поверхностного слоя при этом способе обработки возрастает на 25 – 30 %, шероховатость снижается с  $Rz = 40$  до  $Ra = 0,08$  мкм.

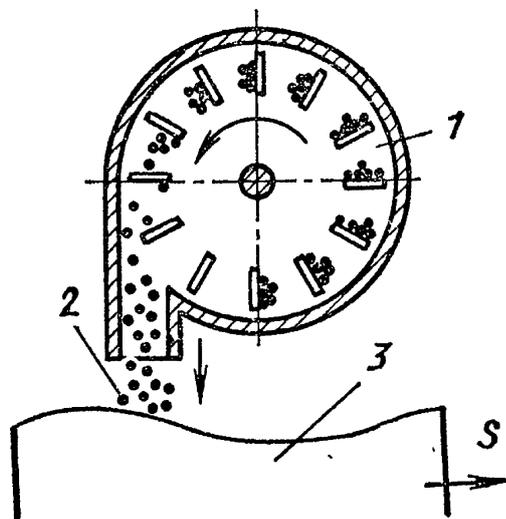


Рисунок 35 – Схема дробеструйной упрочняющей обработки:  
1 – механический дробемет; 2 – дробь; 3 – обрабатываемая деталь

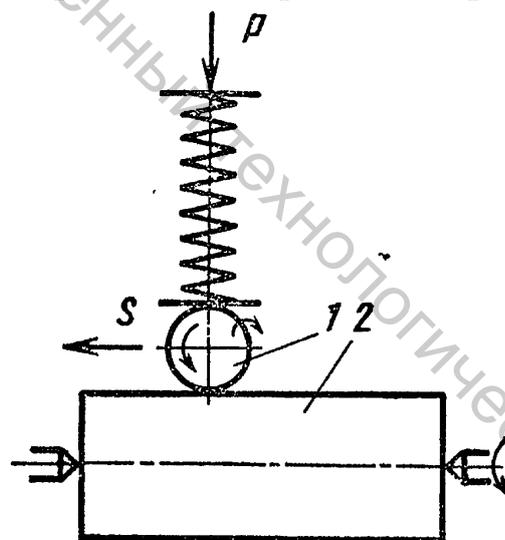


Рисунок 36 – Схема упрочняюще-чистовой обработки – обкатывание шаром (ОШР): 1 – шар; 2 – обрабатываемая деталь

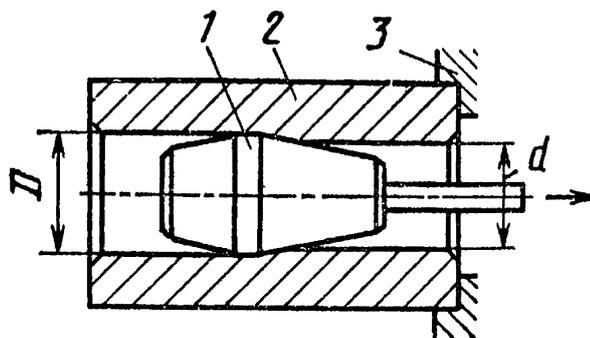


Рисунок 37 – Схема обработки дорнованием:  
1 – дорн; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – упорная плита станка

Центробежно-шариковая обработка (рис. 38) дает незначительное снижение шероховатости поверхности, увеличивает: микротвердость поверхностного слоя на 20 – 50 % (на стальных деталях), толщину наклепа до 0,8 мм и сопротивление усталости деталей в 1,5 – 3 раза.

Чеканка (рис. 39) осуществляется путем ударного воздействия бойка. Глубина наклепа достигает 20 – 25 мм, сопротивление усталости повышается на 50 – 100 %, долговечность деталей увеличивается в 2 раза и более.

Упрочнение взрывной волной (рис. 40) основано на использовании высоких энергий, освобождаемых при детонации взрывчатых «бризантных» веществ. Скорость детонации при упрочнении составляет 103 м/с (превышает скорость звука в стали примерно на 40 %), давление на поверхности достигает 103 МПа. Этот вид обработки значительно повышает долговечность изделий.

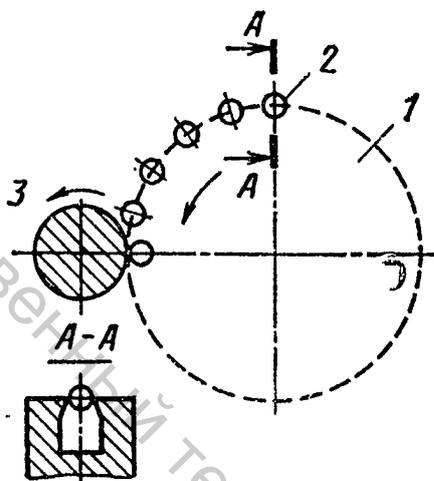


Рисунок 38 – Схема центробежно-шариковой упрочняюще-чистой обработки: 1 – диск; 2 – шарики; 3 – обрабатываемая деталь

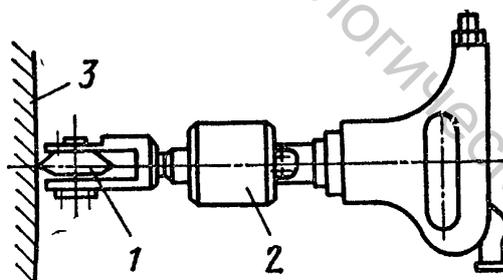


Рисунок 39 – Схема обработки чеканкой:

1 – ролик; 2 – отбойный молоток; 3 – обрабатываемая деталь

Упрочнение взрывной волной применяют для сильно изнашивающихся деталей. Пределы текучести и прочности стали 110Г13Л (ГОСТ 2176 – 77) после обработки увеличиваются в 2 раза и более; микротвердость поверхностного слоя возрастает на 60 – 70 %; получаемая толщина наклепа достигает 40 – 50 мм, чего нельзя достичь никаким другим способом.

Виброобкатывание (рис. 41) – новый способ упрочняюще-чистой обработки; характеризуется большой деформирующей способностью. Поверхностный слой обработанных деталей хорошо удерживает смазку, имеет повышенную износостойкость и сопротивляемость схватыванию. Способ

эффективен при обработке нежестких деталей.

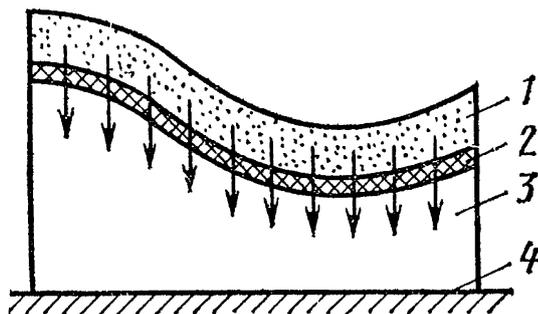


Рисунок 40 – Схема упрочнения взрывом

1 – взрывчатое вещество; 2 – эластичная прокладка; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – стол

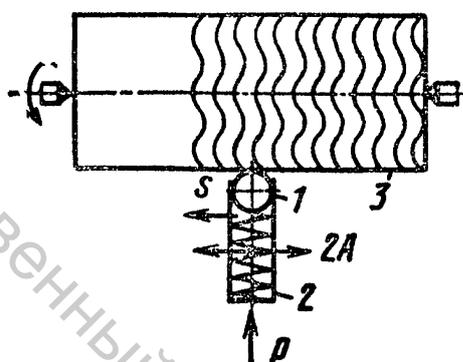


Рисунок 41 – Схема упрочнения виброобкатыванием:

1 – шар; 2 – держатель с пружиной; 3 – обрабатываемая деталь; P – сила; S – продольная подача; 2A – двойная амплитуда колебания

Алмазное выглаживание (рис. 42) применяют при финишной обработке деталей. Отделка и упрочнение этим методом деталей роликоподшипников приводит к повышению производительности труда по сравнению с доводкой чугунными притирами; достигаемая шероховатость упрочнением и остаточными макронапряжениями сжатия значительно повышает износостойкость детали.

Упрочняюще-чистовая обработка пластическим деформированием поверхностного слоя имеет существенные преимущества перед обработкой резанием (большие долговечность обработанных деталей и стабильность посадок с зазором, отсутствие шаржирования инородных тел и др.) и другими способами упрочнения (простота, дешевизна и универсальность).

Упрочнение ультразвуковым инструментом (УЗО) (рис. 43). Наибольшего повышения прочности металлов можно достичь при замене статического способа деформирования поверхности импульсным.

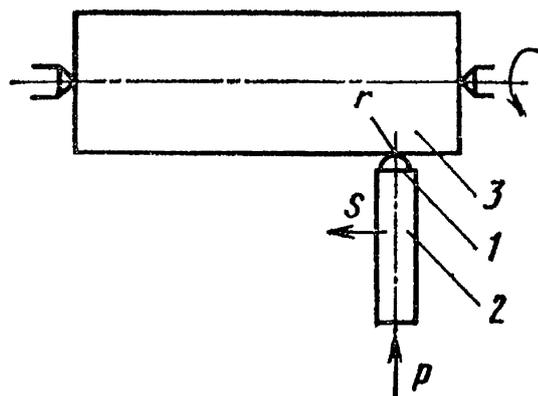


Рисунок 42 – Алмазное выглаживание: 1 – алмазный индентор радиусом  $r$ ; 2 – держатель; 3 – обрабатываемая деталь;  $P$  – сила;  $S$  – продольная подача

Изменение характера воздействия деформирующего инструмента на поверхностный слой деталей от статического к вибрационному позволяет улучшить качество этого слоя и значительно увеличить долговечность деталей.

Ультразвуковой инструмент под действием сил – статической и значительно большей динамической, создаваемой колебательной системой (ультразвуковым генератором, магнитострикционным преобразователем и концентратором) – пластически деформирует поверхностный слой детали, предварительно обработанной резанием, и тем самым упрочняет его, одновременно сглаживая неровности поверхности. Статическая сила создается действием груза, перемещающегося по направляющим, или другим способом. Рабочую часть инструмента (из закаленной стали ШХ15 или твердого сплава ВК8 с  $Ra = 0,02-0,08$  мкм) крепят к концентратору обычно жестко и лишь иногда с обеспечением качения (рис. 44).

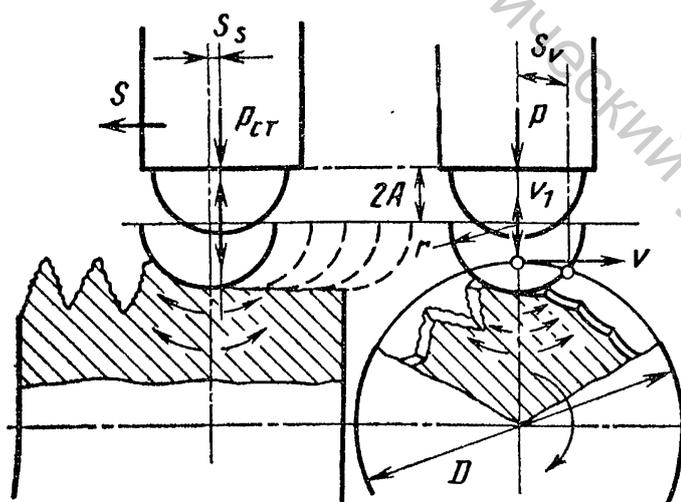


Рисунок 43 – Схема упрочняюще-чистой обработки ультразвуковым инструментом:

$P$  – динамическая сила;  $P_{ст}$  – статическая сила;  $A$  – амплитуда рабочей части инструмента;  $r$  – радиус сферы рабочей части инструмента;  $S$  –

продольная подача;  $Sv$  – относительная подача за один период колебаний инструмента;  $Ss$  – продольная подача за один период колебаний;  $v$  – окружная скорость заготовки;  $v_l$  – колебательная скорость рабочей части инструмента;  $D$  диаметр обрабатываемой детали

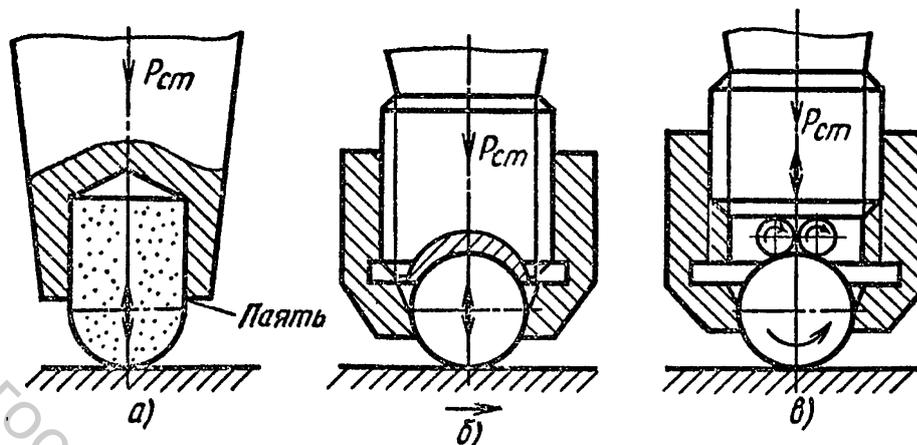


Рисунок 44 – Схема крепления рабочей части инструмента:  
а и б – жесткое; в – свободное с обеспечением качения

Применение УЗО особенно эффективно для деталей и инструментов:

- из термически и химико-термически обработанных сталей: У8, УЮА, У12, Х12, Х40, ШХ15 и др.; аустенитной 12Х18Н9Т и мартенситной Х15Н5Д2Т; быстрорежущей;
- из твердых сплавов: ВК8, ВК15, ВК30 и др.;
- из чугуна, цветных металлов и сплавов (в том числе титановых);
- с отверстиями больших диаметров, так как при УЗО применяют простейший универсальный инструмент;
- малой жесткости (так как при УЗО статические силы и время деформации имеют небольшую величину);
- с поверхностями сложной формы (при УЗО не требуется специальной следящей системы или копира – такой системой является сама обрабатываемая поверхность детали); например, эффективна обработка предварительно шлифованных рабочих поверхностей эвольвентных зубьев зубчатых колес из термически улучшенной стали 45;
- выполнение УЗО на оптимальном режиме в этом случае снижает шероховатость поверхности до  $Ra = 0,63-0,16$  мкм, повышает микротвердость поверхностного слоя на 71 % и предел контактной выносливости на 10 – 20 %.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Яшенков, С. К. Технология ремонта оборудования швейных предприятий / С. К. Яшенков. – Москва : Легпромбытиздат, 1985. – 184 с.
- 2 Ковалев, А. П. Оценка машин и оборудования / А. П. Ковалев [и др.]. – Москва : Финансы и статистика, 2005. – 272 с.
- 3 Силуянов, В. П. Прогрессивные способы восстановления деталей машин / В. П. Силуянов. – Минск : Ураджай, 1988. – 120 с.
- 4 Беленький, С. И. Повышение эффективности ремонта текстильного оборудования / С. И. Беленький. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 152 с.
- 5 Франц, В. Я. Эксплуатация и ремонт швейного оборудования / В. Я. Франц. – Москва : Легкая индустрия, 1978.
- 6 Исаев, В. В. Устройство, наладка и ремонт швейных машин / В. В. Исаев. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1983.
- 7 Вальщиков, Н. М. Оборудование швейного производства / Н. М. Вальщиков [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Легкая индустрия, 1977. – 520 с.

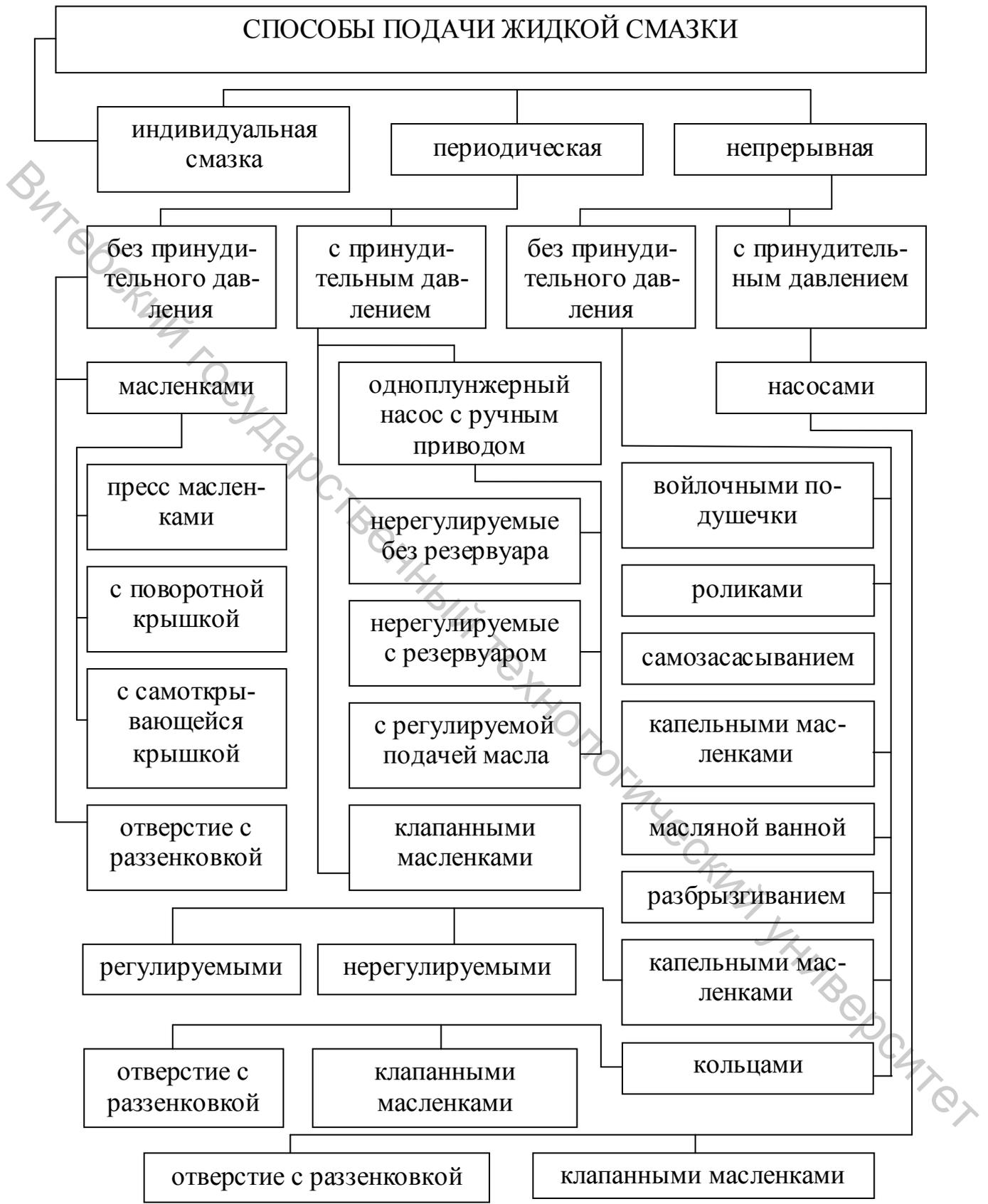


Рисунок 7

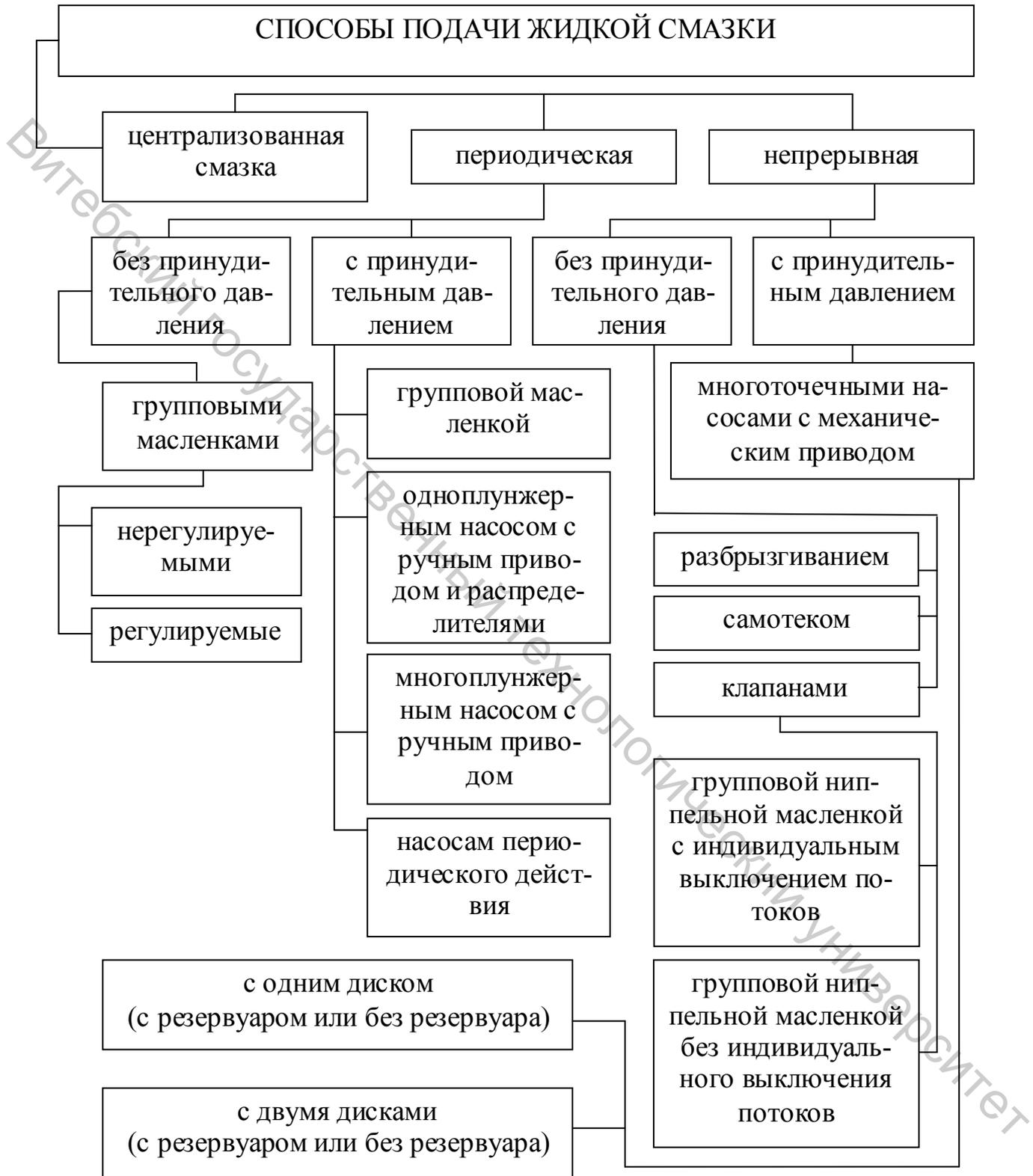


Рисунок 8

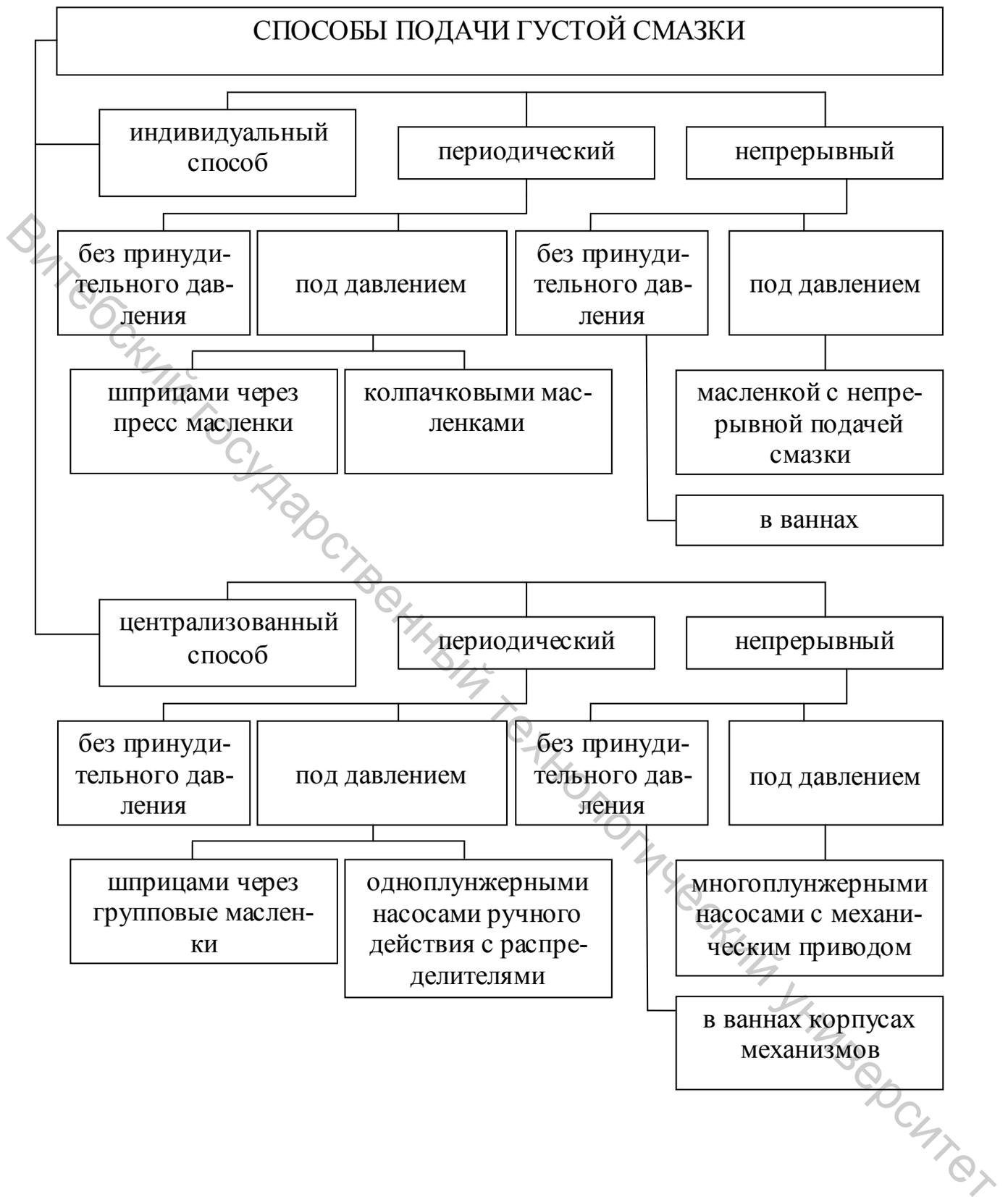


Рисунок 9

Учебное издание

**Буевич** Артур Эдуардович  
**Буевич** Татьяна Владимировна  
**Дрюков** Василий Васильевич

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Курс лекций

Редактор *Г.И. Москалев*  
Технический редактор *И.А. Данилова*  
Корректор *Т.А. Осипова*  
Компьютерная верстка *И.А. Данилова*  
Компьютерная графика *Н.В. Белова*

---

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат \_\_\_\_\_. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_. Тираж \_\_\_\_\_ экз.  
Заказ №\_\_\_\_\_.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210035, Витебск, Московский проспект, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет».  
Лицензия № 02330/0494384 от 16.03.2009.