

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

МАТЕРИАЛЫ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»

В двух частях

Часть 1

Витебск
2020

УДК 620.22

Составитель:

А. С. Ковчур

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

Материалы аддитивного синтеза : методические указания по
выполнению лабораторных работ : в 2 ч. Ч. 1 / сост. А. С. Ковчур. –
Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 48 с.

В методических указаниях рассмотрен порядок выполнения
лабораторных работ в первом семестре дисциплины «Материалы аддитивного синтеза».

УДК 620.22

© УО «ВГТУ», 2020

Содержание

Введение	4
Теоретическая часть	5
Лабораторная работа 1	
Определение твердости металлов и сплавов методом Роквелла	11
Лабораторная работа 2	
Проведение экспресс-анализа твердости изделий из металлов и сплавов	15
Лабораторная работа 3	
Определение твердости изделий из пластических масс	21
Лабораторная работа 4	
Определение твердости резинотехнических изделий	27
Лабораторная работа 5	
Определение плотности полимерных материалов	31
Лабораторная работа 6	
Идентификация металлического материала	39
Список литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Целью методических указаний является практическое изучение основных свойств материалов.

В результате выполнения лабораторных работ студент приобретает знания по методам определения основных свойств материалов, умения и навыки обработки результатов эксперимента, устанавливать связь между теоретическими основами и их практическим воплощением.

В каждой лабораторной работе приведены относящиеся к ней основные теоретические сведения, порядок выполнения, содержание отчета, иллюстративный материал, контрольные вопросы для самопроверки.

Теоретическая часть

Эксплуатационные свойства материалов

Эксплуатационные свойства материала – это свойства, которые определяют длительность рабочего ресурса и надежность изделий в соответствии с их функциональным назначением и условиями эксплуатации. Отличительной особенностью эксплуатационных свойств является то, что для их оценки часто используют показатели ресурса или длительности работы материала – часы, циклы, термосмены, либо удельные показатели изменения массы или размеров образца (изделия) – г/ч, мм²/ч, мм/ч и т. п.

Жаростойкость – это свойство материалов сопротивляться окислению и химической коррозии в газовой среде при высоких температурах. Жаростойкость зависит от интенсивности поверхностного (наружного) и объемного (внутреннего) окисления металлов и сплавов. Наружное окисление приводит к образованию поверхностного оксидного слоя – окарины. Внутреннее окисление вызывает фазовые превращения, порообразование и формирование микротрещин, что приводит к необратимому увеличению размеров и объема изделий – росту. Поэтому согласно ГОСТу 6130-71 жаростойкость оценивают по показателям окариноустойчивости и ростоустойчивости.

Термостойкость – это свойство материала выдерживать многократно повторяющиеся циклы нагрева и охлаждения, при которых в материале изделий возникают термические знакопеременные напряжения – сжатия при нагреве и растяжения при охлаждении. Под действием этих напряжений происходит термоусталостное разрушение. Оценка термостойкости материала осуществляется экспериментально – по количеству термоциклов до появления первой видимой трещины N или до разрушения N_p.

Коррозионная стойкость – это свойство материала сопротивляться разрушению в результате химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. В зависимости от характера взаимодействия материала с коррозионно-активной средой и особенностей нагружения изделий при эксплуатации проводят следующие виды испытания материалов по ГОСТу 9.908-85 на стойкость против:

- а) общей коррозии;
- б) межкристаллитной коррозии;
- в) коррозионного растрескивания.

Износостойкость – это свойство поверхностных слоев деталей противостоять изнашиванию в условиях трения. Износостойкость является одной из основных характеристик, определяющих долговечность деталей и машин (ГОСТ 23.002-78, ГОСТ 30480-97). Она оценивается либо потерей массы на единице площади поверхности в единицу времени, г/(м²·ч), либо уменьшением размеров образца (детали) в единицу времени, мм/ч, мм/год.

Хладостойкость – или отсутствие хладноломкости, это основное требование к материалам, работающим в условиях низких температур.

Особенностью низкотемпературной службы является ужесточение требований по пластичности, т. к. с понижением температуры прочность возрастает, а пластичность резко падает. Поэтому, при выборе сплава испытания на прочность проводят при максимальной температуре эксплуатации (обычно комнатной), а испытания и пластичность – при минимальной. Одним из критериев минимальной рабочей температуры служит порог хладноломкости – температура вязко-хрупкого перехода. Сложность количественной оценки влияния различных факторов на работоспособность материала при низких температурах затрудняет создание нормативных рекомендаций.

Радиационно-стойкими называют материалы, сохраняющие стабильность структуры и свойств в условиях нейтронного облучения. При облучении резко снижается коррозионная стойкость металлов и сплавов, снижается пластичность, повышается прочность, а главным образом, повышается сопротивление малой пластической деформации ($\sigma_{0,2}$), т. е. растет вероятность хрупких разрушений. Радиационное воздействие сильнее сказывается на металлах с ГЦК решеткой, чем с ОЦК и ГПУ решетками.

Глубокий вакуум способствует интенсивному испарению с рабочей поверхности деталей. Приемлемыми материалами для работы в высоком вакууме являются тугоплавкие металлы кобальт, ниобий, тантал, молибден, вольфрам, а также керамические материалы на основе оксидов алюминия, бериллия, хрома, кремния, титана.

Технологические свойства материалов

Технологические свойства – это группа свойств, определяющая технологию изготовления изделий. Эти свойства определяются на специальных пробах, которые имитируют условия поведения материала при данной технологической операции.

Литейные свойства определяют возможность получения из сплавов качественных отливок. К ним относятся жидкотекучесть, заполняемость, усадка, склонность к образованию пористости, горячих и холодных трещин, склонность к различным видам ликвации и другие. Для каждого из перечисленных свойств имеются свои виды проб. Большинство из них не регламентируются стандартами и поэтому полное количественное сопоставление технологических свойств, двух-трех различных сплавов бывает очень затруднительно. Но некоторые более важные свойства регламентируются стандартами. Так, например, жидкотекучесть определяется по спиральной пробе – отливке в виде спирали Архимеда (ГОСТ 16438-70), мерой жидкотекучести является длина залитой части спирали в сантиметрах. **Линейная усадка** определяется на специальном устройстве (ГОСТ 16817-71), в котором затвердевает образец, а изменение его размеров фиксируется часовым индикатором.

Деформационные свойства определяют возможность получения из сплавов качественных полуфабрикатов, заготовок или деталей методами обработки давлением – штамповкой, прессованием, прокаткой и т. д. Различные

методы обработки давлением определяют различные схемы течения металла при деформации. Поэтому пробы и оценки деформируемости очень разнообразны. Так, например, для определения штампуемости листа используют пробу по Эриксену. Мерой пластичности в этом случае является глубина лунки, которую можно получать без трещин и разрушения, при вдавливании в лист индентора определенного диаметра. Для определения объемной деформируемости сплавов используют пробу на осадку. Мерой деформируемости является величина осадки цилиндрического образца, не приводящая к образованию трещин.

Для того чтобы различать понятие «пластичность» в механических свойствах и характеристики пластичности, полученные на пробах, для последних введен термин «технологическая пластичность». Для повышения технологической пластичности используется нагрев заготовок – горячая штамповка, горячая прокатка, изотермическая штамповка и т. п.

Свариваемость определяет возможность получения из сплавов качественных сварных соединений, равнопрочных с основным материалом. Наиболее популярной для определения свариваемости является проба на изгиб вдоль или поперек сварного шва, полученного путем сварки двух пластинок из одного и того же или разных сплавов. Количественной мерой оценки в этом случае является угол загиба до появления первых трещин. Не менее распространенным является определение σ_B и $\sigma_{0,2}$ на сварном образце или определение КСЧ при сварке образцов большой толщины.

Способность к упрочнению термической обработкой можно рассматривать также как технологическое свойство. Рассматриваемое свойство оценивается не на особых технологических пробах, а на обычных образцах для механических испытаний. Мерой способности сплава к термической обработке является различие твердости (HB, HV) или прочностных свойств ($\sigma_B, \sigma_{0,2}$) до и после термической обработки.

Обрабатываемость резанием определяет возможность качественной механической обработки, причем специалисты относят термин «обрабатываемость резанием» не только к материалу заготовки, а к паре «заготовка–инструмент». Имеется в виду, что материал, который невозможно обработать инструментом из углеродистой стали, может считаться удовлетворительно обрабатываемым инструментом из быстрорежущей стали. Существуют некоторые общие характеристики, которые способствуют обрабатываемости резанием или затрудняют ее. Например, обрабатываемость ухудшается при повышении твердости сплава, при появлении в структуре сплава крупных твердых включений, при недостаточной ломкости стружки. Материалы с малой теплопроводностью обрабатываются с затруднениями из-за плохого отвода тепла из зоны резания и перегрева режущей кромки инструмента. Термообработка или введение специальных добавок в сплав облегчают процесс резания и удаления стружки.

Механические свойства материалов

Упругость – это свойство материалов восстанавливать свои размеры и форму после прекращения действия нагрузки.

Пластичностью называется способность материалов изменять свои размеры и форму под действием внешних сил, не разрушаясь при этом.

Хрупкость – это свойство материалов разрушаться под действием внешних сил без остаточных деформаций.

Ползучесть – свойство металлов и сплавов медленно пластически деформироваться под действием нагрузки. Ползучесть определяется пределом ползучести – напряжением, которое за определенное время при данной температуре вызывает заданное суммарное удлинение или заданную скорость деформации.

Механические свойства определяют конструктивную прочность или работоспособность изделий в условиях внешних силовых нагрузок. Виды механических испытаний классифицируют по следующим признакам:

- 1) способ нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез, циклическое нагружение);
- 2) скорость нагружения (статические испытания – медленное нагружение, динамические испытания – быстрое нагружение);
- 3) протяженность во времени (кратковременные, длительные).

Прочность – это способность материала сопротивляться деформациям и разрушению под действием напряжений, возникающих при воздействии внешних сил.

При статическом нагружении изделий в условиях растяжения или сжатия определяют временное сопротивление (предел прочности) $(\sigma_B) \sigma_B^{CЖ}$, условный предел текучести $(\sigma_{0,2}) \sigma_{0,2}^{CЖ}$, относительное удлинение δ , относительное сужение ψ при растяжении и относительную деформацию укорочения ε при сжатии. Методика определения механических свойств при растяжении и сжатии регламентирована ГОСТом 1497-84 и ГОСТом 25.503-97 соответственно, напряжения измеряют в МПа (мегапаскалях), δ, ψ и ε – в %. Испытания на растяжение при повышенных температурах регламентируются ГОСТом 9651-84, при пониженных температурах – ГОСТом 11150-84.

В условиях изгибающих усилий и моментов определяют предел прочности при изгибе $\sigma_B^{ИЗГ}$ и предел упругости $\sigma_{0,05}^{ИЗГ}$ (ГОСТ 14019-2003).

Вязкостью называется свойство материала сопротивляться разрушению под действием динамических нагрузок. **Вязкость** – свойство металла или сплава, необратимо поглощать энергию при их пластическом деформировании. Вязкость непосредственно не измеряется, но косвенным показателем является **ударная вязкость**, на которую в условиях динамических ударных нагрузок проводят испытание материала (ГОСТ 9454-78). Ударная вязкость определяется работой A , затраченной на разрушение образца, отнесенной к площади его поперечного сечения F ; МДж/м²:

$$KC = \frac{A}{F}. \quad (1.1)$$

Испытания проводятся ударом специального маятникового копра. Маятник определенной массы наносит удар по стороне противоположной надрезу. При испытании материалов используют образцы с концентратором (надрезом) вида U или V, а также с предварительно наведенной трещиной глубиной ~2,5 мм, для обозначения этих видов ударной вязкости используют символы KCU, KCV, KCT соответственно.

Сопротивление усталости – свойство материала противостоять усталости (усталость – процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин и разрушению).

В условиях знакопеременных нагрузок растяжение–сжатие проводят испытания на сопротивление материала усталостному разрушению: определяют предел выносливости при цикле нагружения σ_{-1} или усталостную долговечность N_σ (ГОСТ 25.502-79). При этом σ_{-1} соответствует максимальному напряжению цикла, которое материал может выдерживать не разрушаясь при достаточно большом числе циклов нагружения $N \approx 10^6 \dots 10^8$, а N_σ соответствует числу циклов нагружения, которое выдерживает образец до разрушения при заданном уровне напряжения σ .

В условиях контактных нагрузок (шестерни, опоры, валы) широко используются показатели твердости HB, HRC, HV, которые характеризуют сопротивление материала местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела – индентора.

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твердого тела (индентора) под действием нагрузки. Твёрдость как свойство проявляется при взаимодействии различных материалов в машинах и механизмах, а также в технологических процессах по обработке и разрушению материалов механическими способами. Показатель твердости на практике используется для правильного выбора материала обрабатывающих инструментов (резца, сверла, фрезы и т. д.) и устройств (например, прессов, прокатных станов, буровых долот, перфораторов и т. д.).

Для определения твердости металлов и сплавов применяют как методы механического нагружения образца, так и методы неразрушающего контроля.

Механические, в свою очередь, делятся на статические и динамические методы. Наибольшее применение получили статические методы определения твердости. Стандартными методами являются, в первую очередь, методы Бринелля, Роквелла и Виккерса. Из динамических методов получили применение, особенно в цеховых условиях, методы царапания (Мартенса, по минералогической шкале Мосса), по длительности качания коромысла индентора (Герберта), методы ударного отскока и ударного отпечатка (последние применяются для контроля крупногабаритных деталей).

Метод измерения твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012-59): значение твердости НВ определяют путем деления нагрузки P на площадь поверхности сферического отпечатка d , полученного путем вдавливания в испытуемый материал шарика диаметром d .

Витебский государственный технологический университет

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

Цель работы: изучить свойства, состояние и структуру материалов. Определить твердость металлов и сплавов методом Роквелла.

Методика испытания и прибор для измерения



Рисунок 1.1 – Образец металла

Метод Роквелла (ГОСТ 9013-59) основан на вдавливании в испытуемый образец закаленного стального шарика диаметром 1,588 мм (шкала В) или алмазного конуса с углом при вершине 120° (шкалы А и С). Вдавливание производится под действием двух нагрузок – предварительной равной 100 Н и окончательной равной 600(588,4), 1000 (980,7), 1500 (1471) Н для шкал А, В и С соответственно. Число твердости по Роквеллу HRA, HRB и HRC определяется по разности глубин вдавливания.

Метод определения твердости металла по Роквеллу применяется в случае, когда нужно протестировать заготовку небольшой толщины. Кроме этого, подобным образом проверяется твердость поверхностного слоя изделия, к примеру, прошедшего закалку или процесс цементирования.

Проводится определение твердости металлов методом Роквелла следующим образом:

1. Метод основан на вдавливании более твердого объекта в испытуемый. Для этого используется специальный алмазный наконечник, который имеет форму правильной пирамиды.

2. Различие в нагрузке P_1 для шкал А и С объясняется тем, что по шкале А измеряют твердость особо твердых материалов и в этом случае во избежание повреждений алмазного конуса рекомендуется меньшая нагрузка вдавливания.

3. Нагрузка прикладывается к наконечнику на протяжении определенного времени. При этом время выдержки и величина нагрузки могут существенно различаться. Согласно установленным стандартам в ГОСТ 9013, нагрузка

может быть от 98,07 Н (10 кгс) до 1471 Н (150 кгс). При этом уточняются конкретные значения из этого промежутка.

Таблица 1.1 – Обозначения твердости и значения нагрузок вдавливания для разных шкал измерений методом Роквелла

Шкала твердости	Обозначение единицы измерения	Предварительное усилие P ₀	Основное усилие P ₁	Общее усилие P	Диапазон измерений, ед. твердости
		H (кгс)			
A	HRA	98,07(10)	490,3(50)	588,4(60)	70-85
B	HRB	98,07(10)	882,6(90)	980,7(100)	25-100
C	HRC	98,07(10)	1373(140)	1471(150)	22-68

4. В современных твердомерах полученные отпечатки алмазного конуса измеряются автоматически. Затем обрабатываются с помощью встроенной компьютерной системы и выводятся непосредственно на проекционный экран твердомера готовом виде значения HR (соответствующей настроенной шкалы). Наиболее важными показателями в этом случае можно назвать размер диагоналей оставшегося отпечатка.

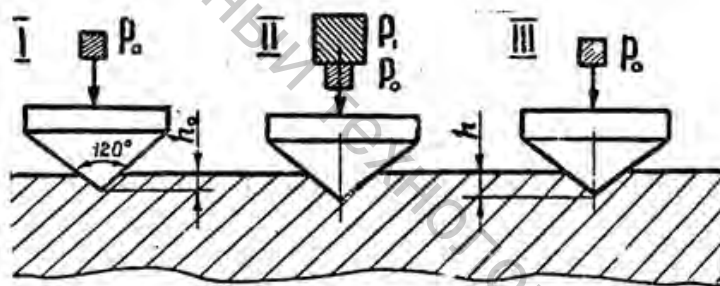


Рисунок 1.2 – Принцип измерения твердости по Роквеллу

Полученные данные сверяются с табличными значениями, в которых учитывается величина приложенной силы и время выдержки. Рассматриваемая методика позволяет получить показатель твердости в своих условных единицах.

Различие в нагрузке P_1 для шкал A и C объясняется тем, что по шкале A измеряют твердость особо твердых материалов и в этом случае во избежание повреждений алмазного конуса рекомендуется меньшая нагрузка вдавливания.

К особенностям применяемого оборудования можно отнести нижеприведенные моменты:

- испытуемый образец, как правило, располагается на столике;
- алмазный наконечник опускается с помощью грузового рычага;
- важным моментом является то, что наконечник опускается плавно. Это достигается при применении рукоятки с масляным амортизатором;

– время выдержки применимой нагрузки зависит от размеров испытуемого образца. Как правило, показатель составляет 3–6 секунд. Сила воздействия определяется также величиной заготовки;

– за счет того, что контроль прилагаемой силы проводит оборудование, точность получаемых результатов довольно высока.



Рисунок 1.3 – Универсальный твердомер HBRV-187.5

Процесс измерения можно разделить на несколько этапов:

1. Определяется тип шкалы – HRC.
2. Устанавливается подходящий индентор. Важно выбрать индентор, который будет соответствовать типу установленной шкалы.
3. Проводится два пробных теста, которые необходимы для корректирования работы применяемого оборудования.
4. Прикладывается предварительная нагрузка, равная 98,07 Н (10 кгс).
5. Прикладывается основная нагрузка равная 1471Н (150 кгс) и выдерживается определенный период (около 5 секунд), который позволяет получить максимальное значение.
6. Убирается нагрузка полностью и считывается полученный результат на проекционном экране твердомера.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику определения твердости по методу Роквелла.
2. Ознакомиться с устройством твердомера HBRV-187.5 и с последовательностью проведения испытания для определения твердости на данном приборе.
3. Получить образцы материалов и сфотографировать их.
4. Произвести испытание выбранных образцов на твердость.
5. Все результаты занести в протокол испытания (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Протокол испытания на твердость методом Роквелла

Номер измерения	Результат
1	
2	
3	
Среднее значение	

6. По стандартным (табличным) значениям твердости материалов произвести приблизительную идентификацию металлических материалов.

7. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

Содержание отчёта:

1. Название и цель работы
2. Сущность и схема метода определения твердости по Роквеллу.
3. Описать действия по определению твердости.
4. Заполненный протокол испытания.
5. Вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение твердости.
2. Дайте определение прочности.
3. Назовите механические свойства материалов.
4. Перечислите технологические свойства материалов.
5. Назовите эксплуатационные свойства материалов.
6. Перечислите методы измерения твердости.
7. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Роквелла?
8. Какие шкалы существуют при измерении твердости по Роквеллу?
9. По каким признакам классифицируют виды механических испытаний?
10. В каких случаях применяется метод определения твердости металла по Роквеллу?
11. Схема метода определения твердости металла по Роквеллу.

Лабораторная работа 2

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ТВЕРДОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: провести экспресс-анализ твёрдости изделий металлов и сплавов.

Прибор для измерения и методика испытания



Рисунок 2.1 – Образец металла

Твердомер динамический МЕТ-Д1А представляет собой портативный прибор, состоящий из электронного блока и датчика, соединенных между собой кабелем.



Рисунок 2.2 – Твердомер МЕТ-Д1А

Электронный блок выпускается в двух модификациях. Модификация электронного блока для твердомера МЕТ-Д1А выполнена в пластмассовом корпусе. Модификация электронного блока для твердомера МЕТ-Д1А выполнена в алюминиевом, пылевлагонепроницаемом корпусе, класса защиты IP66.

Твердомер комплектуется динамическим датчиком Д. По заявке заказчика, твердомер может быть укомплектован также коротким датчиком ДК. Датчики совместимы с любой модификацией электронного блока.

Основные возможности:

- измерение твёрдости металлов и сплавов по стандартизованным шкалам твёрдости Роквелла (HRC), Бринелля (HB), Виккерса (HV) и Шора (HSD);
- наличие трех дополнительных шкал Н1 (HL), Н2, Н3 для калибровки различных шкал твердости (например, Лейба (HL), Роквелла В, Супер-Роквелла, Бринелля (HBW) и т. д.) для контроля твердости изделий из стали и других металлов (например, чугуна, алюминия и т. д.);
- использование шкалы Rm (МПа) для определения предела прочности на разрыв;
- возможность контроля твердости изделий, которые по габаритам недоступны для стационарных твердомеров;
- наличие архива и программного обеспечения для связи с компьютером.

Принцип действия. Для определения значения твердости методом отскока, размеры отпечатка не определяются оптически, как это принято в классических методах. Здесь измерение твердости основано на определении отношения скоростей бойка, находящегося внутри датчика, до и после удара. На конце бойка расположен твердосплавный шарик, непосредственно контактирующий с контролируемой поверхностью в момент удара. Внутри бойка находится постоянный магнит. Боёк, после нажатия спусковой кнопки, при помощи предварительно взведенной пружины, выбрасывается на измеряемую поверхность. При этом боёк перемещается внутри катушки индуктивности и своим магнитным полем наводит в ней ЭДС. Сигнал с выхода катушки индуктивности подается на вход электронного блока, где преобразуется в значение твёрдости выбранной шкалы и выводится на дисплей.

Ограничения. Измерение изделий массой *менее 3 кг* или толщиной *менее 12 мм* возможно только при выполнении следующих условий:

- наличии чугунной или стальной опорной плиты массой не менее 3 кг;
- наличии смазки для притирки изделия к опорной плите;
- изделие должно быть ПЛОТНО притёрто к поверхности опорной плиты.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ДАТЧИКА

Датчик подключается к электронному блоку через пятиштырьковый разъём. Штекер разъёма датчика снабжён вращающимся цилиндрическим фиксатором. Для подключения датчика выполните следующие действия:

- поверните фиксатор штекера против часовой стрелки до упора;
- совместите штекер разъёма датчика с гнездом разъёма электронного блока так, чтобы их внутренние направляющие совпали;
- вставьте штекер в гнездо до упора, слегка надавив на него;
- поверните по часовой стрелке фиксатор штекера до упора. Характерный щелчок защёлки фиксатора подтвердит правильность осуществлённых действий. Датчик подключен к электронному блоку.

ВКЛЮЧЕНИЕ ПИТАНИЯ

Осуществите длительное нажатие клавиши \Downarrow (~2с).

После включения на дисплее кратковременно появится надпись «подключение датчика» (~2с).

Электронный блок опознает тип подключённого датчика и на дисплее кратко; временно появляется соответствующая надпись: «ультразвуковой датчик», либо «динамический датчик» (~2с).

После этих действий твердомер автоматически начинает работать в том режиме, в котором он работал до отключения питания.

ОТКЛЮЧЕНИЕ ПИТАНИЯ

Происходит автоматически при отсутствии каких либо операций с клавиатурой или датчиком (~150с). Твердомеры серии МЕТ Редакция № 111.

Происходит при одновременном нажатии клавиш \Leftarrow и \Rightarrow ;

Происходит при полной разрядке аккумуляторной батареи. Благодаря автоматическому отключению питания твердомера увеличивается время его работы без дополнительной зарядки аккумуляторной батареи.

РЕЖИМ «ИЗМЕРЕНИЕ»

Режим «измерение» и все операции в нём проводятся отдельно для датчика ультразвукового У1 и датчика динамического Д1. В данном режиме Вам доступны следующие операции: «Архив»; «Измерения и запись».

ОПЕРАЦИЯ «АРХИВ»

Работа твердомера в режиме «измерение» всегда начинается с операции «Архив». Индикация дисплея показана (Значения надписей и символов на дисплее, рис. 2.3). Редакция № 1 «Твердомеры серии МЕТ 838 АРХИВ №: 63 HV Шкала твёрдости Измеренное значение твёрдости по шкале HV Режим работы Порядковый номер ячейки архива Индикатор заряда батареи». Внимание! При первом знакомстве с работой твердомера рекомендуется пропустить операцию «Архив» и перейти к операции «Измерения и запись». Значения надписей и символов на дисплее: · «HV» – шкала твёрдости Виккерса; · «838» – измеренное значение по шкале твёрдости Виккерса (HV); · «Архив № 63» – порядковый номер ячейки архива, в которой хранится измеренное значение 838 по шкале твёрдости Виккерса (HV); · «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи.

Изменение порядкового номера ячейки архива осуществляется нажатием клавиши \Leftarrow или \Rightarrow . Изменение порядкового номера ячейки архива («Архив № 63») повлечёт за собой изменение показаний измеренного значения (838) на показания другого измеренного значения, сохранённого под соответствующим порядковым номером ячейки архива (№ 61; 63; 60; 64 и т. д.) Однако шкала твёрдости (HV) останется неизменной. Это означает, что если Вы провели измерения по шкале HRC и занесли измеренные значения в архив под №1 и №2, затем по шкале HB и занесли под №3 и №4, а просмотр архива

осуществляете из шкалы HV838 Архив № 63, то твердомер автоматически переведёт шкалы твёрдости HRC и HB в шкалу HV и покажет значения ячеек под №№ 1; 2; 3 и 4 по шкале твёрдости HV.

ОПЕРАЦИЯ «ИЗМЕРЕНИЯ И ЗАПИСЬ»

Начните операцию «Измерения и запись» нажатием клавиши ↓ для завершения и выхода из операции «Архив». Индикация дисплея показана (значения надписей и символов на дисплее, рис. 2.3):



Рисунок 2.3 – Значения надписей и символов на дисплее

Значения надписей и символов на дисплее: «HB» – шкала твёрдости Бринелля; «07» — номер текущего измерения; «375» – измеренное значение по шкале твёрдости Бринелля (HB); «измер. №:01» – порядковый номер ячейки архива, который предлагается для записи измеренного значения по шкале твёрдости Бринелля (HB); «датчик» – символ датчик; «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи. 6.2.2.3.3. Мигающий символ «датчик» означает готовность твердомера к проведению измерений. Правила обращения с датчиком в момент проведения операции «Измерения и запись» описаны в разделе «**Принцип действия**». После звукового сигнала на дисплее появляется «Твердомеры серии МЕТ Редакция № 1 13 375 ИЗМЕР. №: 01 HB 07». Каждому проведённому измерению соответствует порядковый номер измерения (07) и измеренное значение (375) по шкале твёрдости (HB). Порядковый номер ячейки архива (измер. №:01) остаётся неизменным.

Среднее значение проведённых измерений вычисляется путём нажатия клавиши ↓. Количество измерений, участвующих в определении среднего значения, показывается в порядковом номере текущего измерения (07), т. е., проведя 7 измерений и нажав клавишу ↓, Вы получите их среднее значение. После определения среднего значения твердомер автоматически переходит к операции «Архив», чтобы Вы смогли сохранить полученный результат. Если Вы не желаете сохранять результат, а хотите продолжить измерения, то нажмите клавишу ↓ для перехода к операции «Измерения и запись».

Удаление измеренного числа твёрдости (375) в операции «Измерения и запись» производится нажатием клавиши ⇐. При этом номер текущего измерения (07) уменьшится на единицу. Удаление последнего результата измерений рекомендуется осуществлять в случае возникновения сомнений в корректности произведённого измерения.

Запись в архив начните с выбора номера ячейки в операции «Архив», после чего осуществите переход к операции «Измерения и запись» нажатием клавиши ↓.

1. Для установления значения 00 в номере текущего измерения (07) используется переход из операции «Измерения и запись» к операции «Архив» и обратно двумя нажатиями клавиши ↓.

2. Запись в архив измеренного числа твёрдости (375) или среднего значения осуществляется нажатием клавиши ⇒. При этом порядковый номер ячейки архива для записи измерений (измер. № 01) автоматически увеличится на единицу (измер. № 02).

3. Рекомендуется устанавливать значение 00 в номере текущего измерения для каждой новой партии измерений.

4. Запись в архив измеренного числа твёрдости (375) или среднего значения осуществляется нажатием клавиши ↓. В этом случае порядковый номер ячейки архива для записи измерений (измер. № 01) останется неизменным. Это удобно для замены содержимого ячейки архива.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику проведения экспресс-анализа твёрдости изделий металлов и сплавов.

2. Ознакомиться с устройством твердомера динамического МЕТ-Д1А и с последовательностью проведения испытания для определения твердости на данном приборе.

3. Настроить прибор на проведения экспресс-анализа твёрдости изделий по шкале Роквелла или провести измерение по любой шкале и пересчитать полученное значение по шкале Роквелла.

4. Произвести испытание экспресс-анализа твёрдости выбранных образцов.

5. Получить образцы материалов и сфотографировать их.

6. Все результаты занести в протокол испытания (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Протокол проведения экспресс-анализа твердости изделий из металлов и сплавов

Номер измерения	Результат
1	
2	
3	
Среднее значение	

7. Сравнить результаты измерения идентичных образцов с результатами измерений, полученных на универсальном твердомере в лабораторной работе 1.
8. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

Содержание отчёта:

1. Назначение и цель работы.
2. Сущность и схема метода проведения экспресс-анализа твёрдости изделий металлов и сплавов.
3. Описать действия по проведению экспресс-анализа твёрдости изделий металлов и сплавов.
4. Заполненный протокол испытания.
5. Сделать сравнительный анализ значений твердости образца полученных различными методами.
6. Вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные возможности твердомера МЕТ-Д1А?
2. Изложите принцип действия твердомера МЕТ-Д1А.
3. Какие ограничения имеет твердомер динамический МЕТ-Д1А?
4. Каким образом проводятся измерения в данной лабораторной работе?
5. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Бринелля?
6. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Виккерса?
7. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Лейба?
8. Достоинства экспресс-анализа твердости изделий из металлов и сплавов.

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

Цель работы: определение твердости изделий из пластических масс.

Теоретическая часть



Рисунок 3.1 – Образцы пластических масс различного назначения

Твердость – характеристика материала, зависящая от совокупности его пластических и упругих свойств и характера напряженного состояния, проявляющееся в способности оказывать сопротивление при деформации участка поверхности тела из этого материала.

Из определения следует связь твердости с другими параметрами механического состояния, позволяющая количественно характеризовать твердость.

Твердость материала, определенная любым способом, является вторичной механической характеристикой, закономерно связанной с первичными характеристиками – параметрами диаграммы одноосного растяжения, а также параметрами условий измерений (усилие вдавливания, угол индентора и т. д.).

Полную классификацию методов можно получить, если учесть способ приложения нагрузки и характер наблюдаемых деформаций. По способу приложения нагрузки все методы делятся на две большие группы: методы статические и методы динамические.

Наибольшее применение получили статические методы определения твердости. По характеру наблюдаемых деформаций все существующие методы измерения можно разбить на шесть классов:

- 1) упругое деформирование;
- 2) пластическое деформирование;
- 3) сочетание первых двух классов;
- 4) разрушение поверхности по узкому следу («царапание»);

- 5) разрушение большого участка поверхности;
- 6) корреляция эмпирических данных, полученных по одному из пяти классов измерения твердости, с другими характеристиками материала.

Методика испытания и прибор для измерения

Методы определения твердости пластмасс развивались аналогично методам определения твердости металлов, а также в соответствии с региональными традициями. В большинстве европейских стран принято определение твердости пластмасс по Бринеллю, а в Англии и США – по Роквеллу. В обоих методах в поверхность полимерного материала внедряется шаровой индентор.

Часть методов основана на использовании острых инденторов в виде иглы. В отечественной промышленности нашли применения оба типа инденторов, а наиболее широко применяются три основных метода измерения твердости:

- 1) метод Шора А для резин (ГОСТ 263-75) и метод Шора А и D для пластмасс (ГОСТ 24621-91) – вдавливанием иглы;
- 2) метод ТШ (ГОСТ 20403-75) – вдавливанием сферического индентора;
- 3) метод ТМ (ГОСТ 20403-75) – вдавливанием сферического индентора.

Так как характеристики механических свойств, определяемые при разрушении, более чувствительны к процессам изменения структуры, происходящим при переработке полимерных материалов, то и показатели твердости, определенные с помощью острых инденторов, должны быть более чувствительны к технологическим условиям переработки полимеров. Наиболее известным методом определения твердости пластмасс с помощью конических острых инденторов является метод определения твердости на приборе Шора. Метод основан на внедрении в испытуемое тело инденторов различной формы под действием калиброванной пружины. В зависимости от типа индентора различают твердомеры Шора типов А и D. На рисунке приведены формы инденторов для твердомеров типов А и D. Инденторы представляют собой цилиндрическую иглу с коническим окончанием диаметром 1,25 мм, усеченную для прибора типа А и острую для прибора типа D. Игла внедряется в материал под действием сжатой калиброванной пружины.

Шкала твердомера Шора имеет 100 делений, при этом максимальное значение твердости по шкале соответствует полному погружению иглы в корпус твердомера на 2,5 мм. Таким образом, возможно осуществление проверки прибора, которое производится путем прижима опорной поверхности индентора к стеклянной пластине. Рекомендуется использовать прибор типа D в тех случаях, когда твердость материала, измеренная на приборе типа А, превышает 90 единиц. Прибор типа А используют в тех случаях, когда значение твердости, полученное на приборе типа D, менее 20 единиц. Толщина стандартного образца для испытаний должна быть не менее 6 мм. Для достижения необходимой толщины образец для испытаний может состоять из нескольких тонких слоев, но результаты испытаний, полученные с такими

образцами, могут не согласовываться с результатами испытаний цельных образцов, так как поверхности таких слоев иногда не полностью соприкасаются друг с другом. Размеры образца должны позволять проводить испытание на расстоянии не менее 12 мм от любого края, если только заранее не будет известно, что при испытании на меньшем расстоянии от края достигаются идентичные результаты. Поверхность образца в месте контакта с опорной поверхностью на площади радиусом не менее 6 мм от кончика индентора должна быть очень ровной. На кривых, неровных или шероховатых поверхностях нельзя получить удовлетворительные результаты измерения твердости по методам Шора А и D.

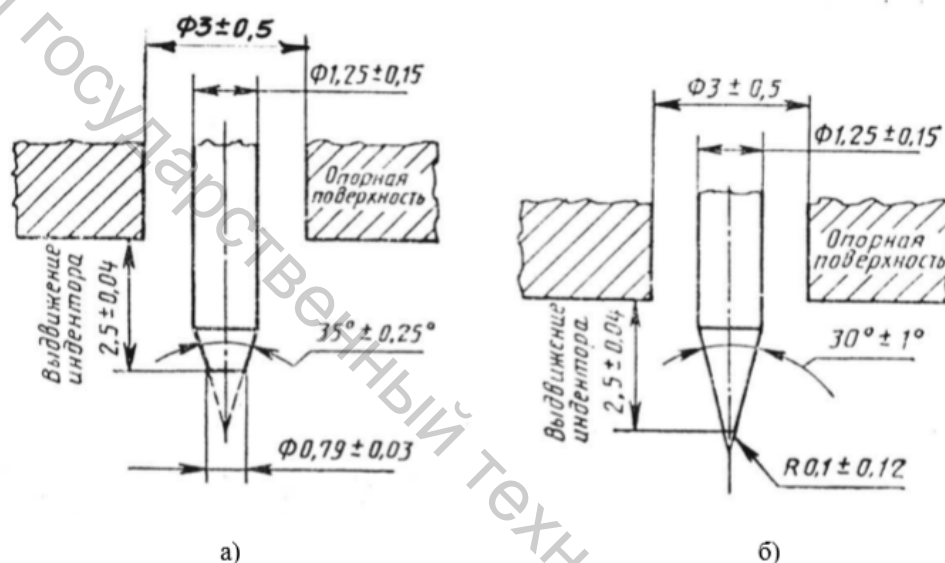


Рисунок 3.2 – Индентор для определения твердости по Шору:
а – прибор типа А, б – прибор типа D

Когда стальной индентор определённой формы вдавлируется с определённой силой в контролируемую поверхность, а основание прибора плотно соприкасается с поверхностью объекта контроля, то индентор выступает на некоторую величину за плоскость основания.

Чем больше выступает индентор, тем ниже число твёрдости по Шору, а чем меньше выступает индентор, тем выше это число. Связь твёрдости по Шору с величиной смещения показывает следующая формула:

$$HA(HD) = 100 - \frac{L}{0,025} \quad (3.1)$$

Таким образом, при максимальном погружении иглы в материал ($L=2,5$ мм) получаем минимальное значение твердости $HA(HD)=0$, при минимальном погружении иглы в материал ($L=0$) получаем максимальную твердость $HA(HD)=100$.

В настоящее время в СНГ для определения твердости по Шору методом вдавливания получили распространение электронные портативные измерители твердости (твердомеры) ТН-200 и ТН-210, принцип действия которых идентичен и описан в данной лабораторной работе.

Прибор ТН-200 является измерителем твердости по шкале А, прибор ТН-210 является измерителем твердости по шкале D. Приборы характеризуются небольшим весом и карманным размером и позволяют быстро и точно проводить контроль твердости на пластмассах, мягких резинах, синтетических резинах, валиках для офсетной печати и т. п.



Рисунок 3.3 – Твердомер ТН-210

Погрешность приборов при показаниях от 20 до 90 единиц твердости составляет не более ± 1 единицы твердости.

Основные функции

- фиксирование максимального значения, сигнализация понижения питания и расчёт среднего значения;
- возможность связи с компьютером через интерфейс RS232;
- автоматическое отключение питания.

Отображение максимального значения

При нажатии на клавишу MAX (на дисплее загорается соответствующий индикатор) включается режим отображения максимального значения. При проведении ряда последующих измерений прибор будет показывать только максимальное значение из этого ряда. Для отключения этой функции следует повторно нажать на клавишу «MAX» (индикатор режима на дисплее гаснет).

Установка среднего значения и количества измерений

При нажатии на клавишу «N/AVE» на дисплее отображается символ «AVE» и цифра, соответствующая установленному количеству измерений. Нажимая клавишу «N/ AVE» циклически или удерживая ее нажатой, можно установить требуемое количество измерений (максимальное значение – 9). Через несколько секунд после установки количества измерений прибор переходит в рабочий режим (на дисплее горит показание «00.0»). В

зависимости от установленного количества измерений, прибор отображает результаты следующим образом.

Если установлено количество измерений, равное 1, то дисплей будет отображать только результат этого измерения.

Если установлено число 2, после второго измерения будет отображаться среднее арифметическое двух результатов измерений (на дисплее мигает индикатор «AVE»).

Если установлено число измерений от 3 до 9, то значение твёрдости и количество измерений на данный момент одновременно отображаются после каждого измерения, а при достижении установленного количества измерений отображается среднее значение с автоматическим удалением грубых ошибок, при этом на дисплее мигает индикатор «AVE». Если рассчитанная прибором погрешность измерений слишком высока, на индикаторе появляется сообщение «E». В этом случае измерения следует повторить.

Проверка прибора

Для проверки калибровки прибора следует включить прибор и плотно прижать основание прибора к стеклянной пластине. Число твердости, отображаемое на экране, должно быть равным 100. При проведении калибровки следует избегать резкого или грубого соприкосновения иглы с поверхностью стекла, что может вызвать повреждение прибора.

Проведение измерения

Для проведения измерений следует включить прибор и при необходимости установить функцию отображения максимального или среднего значения.

Образец для измерений должен быть расположен горизонтально на стеклянной пластине.

Прибор следует держать так, чтобы индентор был ориентирован вертикально. Для определения твердости следует медленно внедрить индентор в объект. Величина, отображаемая на дисплее через 1 секунду после того, как основание прибора войдет в полный контакт с поверхностью образца, является числом твердости по Шору (шкала А или D соответственно).

Запись результатов измерений

Твердость по Шору D/1:60. Здесь *D* – тип твердомера, 1 – время в секундах от момента приведения опорной поверхности в тесный контакт с образцом до момента снятия показания, 60 – показания по индикатору твердомера.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику определения твердости по методу Шора.
2. Ознакомиться с устройством твердомера ТН-210 и с последовательностью проведения испытания для определения твердости на данном приборе.

3. Получить образцы материалов и сфотографировать их.
4. Провести измерения твердости образцов по методу Shore по шкале D.
5. Все результаты занести в протокол испытания (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Протокол испытания на твердость методом Shore по шкале D образца изделия из пластических масс

Номер измерения	Результат
1	
2	
3	
Среднее значение	

6. По стандартным (табличным значениям твердости материалов) произвести приблизительную идентификацию материала полученного образца из пластических масс.

7. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

Содержание отчёта:

1. Название и цель работы.
2. Сущность и схема метода определения твердости по Shore.
3. Описать действия по определению твердости.
4. Заполненный протокол испытания.
5. Вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение твердости материалов.
2. К какому виду свойств относится твердость?
3. Опишите сущность измерения твердости.
4. Какие существуют методы определения твердости?
5. В чем сущность определения твердости по Shore?
6. Приведите порядок выполнения измерений с помощью прибора ТН-210.
7. В чем важность твердости для различных деталей?
8. Как твердость связана со структурой материалов?

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы: определить твердость резиновых изделий.

Теоретическая часть



Рисунок 4.1 – Образцы резиновых изделий

Резиновые изделия (РТИ) – это различные изделия, продукты, которые изготавливаются на основе каучука, и применяются в различных отраслях промышленности. Большая часть, наиболее востребованных резиновых изделий делится на такие виды как формовые и неформовые изделия.

Методика испытания и прибор для измерения

Также широко на территории СНГ распространен электронный портативный измеритель твердости (твердомер) ТН-200 для определения твердости по Шору методом вдавливания. Общие сведения о принципе действия прибора ТН-200 изложены на странице 21 данных методических указаний, поэтому далее излагается только специфика работы этим прибором.



Рисунок 4.2 – Твердомер ТН200

Отображение максимального значения

При нажатии на клавишу MAX (на дисплее загорается соответствующий индикатор) включается режим отображения максимального значения. При проведении ряда последующих измерений прибор будет показывать только максимальное значение из этого ряда. Для отключения этой функции следует повторно нажать на клавишу MAX (индикатор режима на дисплее гаснет).

Установка среднего значения и количества измерений

При нажатии на клавишу N/AVE на дисплее отображается символ AVE и цифра, соответствующая установленному количеству измерений. Нажимая клавишу N/AVE циклически или удерживая ее нажатой, можно установить требуемое количество измерений (максимальное значение – 9). Через несколько секунд после установки количества измерений прибор переходит в рабочий режим (на дисплее горит показание «00.0»). В зависимости от установленного количества измерений, прибор отображает результаты следующим образом.

Если установлено количество измерений, равное 1, то дисплей будет отображать только результат этого измерения.

Если установлено число 2, после второго измерения будет отображаться среднее арифметическое двух результатов измерений (на дисплее мигает индикатор AVE).

Если установлено число измерений от 3 до 9, то значение твердости и количество измерений на данный момент одновременно отображаются после каждого измерения, а при достижении установленного количества измерений отображается среднее значение с автоматическим удалением грубых ошибок, при этом на дисплее мигает индикатор AVE. Если рассчитанная прибором погрешность измерений слишком высока, на индикаторе появляется сообщение «E». В этом случае измерения следует повторить.

Проверка прибора

Для проверки калибровки прибора следует включить прибор и плотно прижать основание прибора к стеклянной пластине. Число твердости, отображаемое на экране, должно быть равным 100. При проведении калибровки следует избегать резкого или грубого соприкосновения иглы с поверхностью стекла, что может вызвать повреждение прибора.

Проведение измерения

Для проведения измерений следует включить прибор и при необходимости установить функцию отображения максимального или среднего значения. Образец для измерений должен быть расположен горизонтально на стеклянной пластине.

Прибор следует держать так, чтобы индентор был ориентирован вертикально. Для определения твердости следует медленно внедрить индентор в объект. Величина, отображаемая на дисплее через 1 секунду после того, как основание прибора войдет в полный контакт с поверхностью образца, является числом твердости по Шору (шкала A или D соответственно).

Запись результатов измерений

Твердость по Шору A/15:45. Здесь A – тип твердомера, 15 – время в

секундах от момента приведения опорной поверхности в тесный контакт с образцом до момента снятия показания, 45 – показания по индикатору твердомера.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику определения твердости по методу Шора.
2. Ознакомиться с устройством твердомера ТН-200 и с последовательностью проведения испытания для определения твердости на данном приборе.
3. Получить образцы материалов и сфотографировать их.
4. Провести измерения твердости образцов по методу Шора по шкале А.
5. Все результаты занести в протокол испытания (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Протокол испытания на твердость методом Шора по шкале А образца резинотехнического изделия

Номер измерения	Результат
1	
2	
3	
Среднее значение	

6. По стандартным (табличным значениям твердости материалов) произвести приблизительную идентификацию материала полученного образца резинотехнического изделия.

7. Сделать вывод о проделанной лабораторной работе.

Содержание отчёта:

1. Название и цель работы.
2. Сущность и схема метода определения твердости по Шору.
3. Описать действия по определению твердости.
4. Заполненный протокол испытания.
5. Вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое резинотехнические изделия?
2. Каковы условия проведения испытаний по методам Шора А и Шора D и как записываются результаты измерения?
3. Чем отличается измерение твердости по методу Шора А от метода Шора D?
4. Приведите порядок выполнения измерений с помощью прибора ТН-200.
5. Почему твердость считается одним из важнейших свойств материалов?
6. В чем сложность измерения твердости резинотехнических изделий?
7. Изложите связь между структурой и свойствами материалов.

Лабораторная работа 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить методы определения плотности пластмасс; провести измерение и сравнительный анализ показателей объемной массы пластмассовых образцов.

Теоретическая часть



Рисунок 5.1 – Образцы полимерных материалов

Для определения плотности (объемной массы) пластмасс в виде листов, пластин, трубок, отливок, гранул или порошков разработано пять методов (ГОСТ 15139-69):

- 1) обмер и взвешивание (по объему и массе);
- 2) гидростатическое взвешивание;
- 3) пикнометрический;
- 4) флотационный (изменением плотности рабочей жидкости);
- 5) метод градиентной колонки.

Стандарт не распространяется на пористые пластмассы.

Метод обмера и взвешивания

Сущность метода заключается в определении плотности вещества по отношению массы образца к его объему, определяемым непосредственно взвешиванием и обмером. Метод применяется для определения плотности (объемной массы) изделий и полуфабрикатов (стержни, бруски, трубы) и обеспечивает точность измерения плотности до 0,5 % при точности измерения объема 0,3 % и массы 0,2 %. Образцы для испытания должны иметь объем не менее 1 см³ и вес не более 180 г.

Массу образца определяют взвешиванием на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Объем образца определяют следующим образом:

а) правильной геометрической формы – вычисляют по результатам линейных замеров;

б) неправильной или трудно измеряемой формы – по объему вытесненной жидкости.



Рисунок 5.2 – Прибор для измерения плотности полимерных материалов

Плотность материала ρ_t (г/см³) вычисляют по формуле

$$\rho_t = \frac{m_1}{V}, \quad (5.1)$$

где m_1 – масса образца в г; V – объем образца при температуре измерения в см³.

Метод гидростатического взвешивания

Сущность метода заключается в сравнении масс одинаковых объемов испытуемого вещества и жидкости известной плотности (например, дистиллированной воды), называемой рабочей жидкостью. Метод предназначен для определения плотности (объемной массы) формованных изделий (стержни, бруски, трубки) и обеспечивает точность измерения плотности до 0,1 %. Для испытания применяют образцы весом 0,2–5,0 г.

Для проведения гидростатического взвешивания применяют следующие материалы и аппаратуру:

- весы аналитические с точностью взвешивания до 0,0001 г;
- подставка для стакана;
- проволока-подвеска (диаметр проволоки 0,06–0,04 мм);

– груз массой на 20 % больше массы образца (плотность вещества груза не менее 7,0 г/см³);

– рабочая жидкость, плотность которой известна или измерена с точностью не менее 0,05 %.

Сначала на аналитических весах определяют массу образца m_1 с точностью до 0,0001 г. Затем подставку со стаканом, наполненным рабочей жидкостью, устанавливают на столик весов; испытуемый образец с помощью проволоки-подвески подвешивают к коромыслу весов. После этого образец опускают в стакан с жидкостью до полного его погружения, не касаясь стенок и дна сосуда и следя за тем, чтобы на нем не было пузырьков воздуха, и проводят взвешивание, определяя массу m_2 (если образец в жидкости всплывает, к подвеске подвешивают дополнительный груз).

Образец снимают с подвески, подвеску (с грузом, если он применялся) опускают в стакан с жидкостью (подвеска при этом не должна касаться стенок и дна стакана) и производят взвешивание, таким образом определяют массу m_3 .

По данным взвешивания массу жидкости известной плотности $m_{ж}$, объем которой равен объему образца, вычисляют по формуле

$$m_{ж} = m_1 - (m_2 - m_3), \quad (5.2)$$

где m_1 – масса образца в воздухе, г; m_2 – масса образца с подвеской в жидкости, г; m_3 – масса подвески (с грузом, если он применялся) в жидкости, г.

Плотность испытуемого образца ρ_t (г/см³) вычисляют по формуле:

$$\rho_t = \frac{m_1}{m_{ж}} \cdot \rho_{ж}, \quad (5.3)$$

$$(\rho_{H_2O}^{20} = 0,9982, \text{ г/см}^3, \rho_{H_2O}^{23} = 0,99755, \text{ г/см}^3, \rho_{H_2O}^{27} = 0,99652, \text{ г/см}^3)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости при температуре измерений, г/см³.

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов расчета плотности для каждого образца, если они не отличаются друг от друга более чем на 0,0005 г/см³.

Результат записывают с тремя знаками после запятой.

Пикнометрический метод

Сущность метода заключается в сравнении масс одинаковых объемов испытуемого вещества к жидкости известной плотности. Метод применяется для определения плотности формованных изделий, пресс-порошков, гранул, хлопьев и обеспечивает точность измерения до 0,05 %. Образцы для испытания должны иметь массу от 1 до 5 г.

Для проведения пикнометрического взвешивания применяют следующие материалы и аппаратуру:

– пикнометр с боковой капиллярной трубкой, вместимостью 50 мл;

– термостат с точностью термостатирования до 0,1 °С в интервале температур от 20 до 30 °С;

– рабочая жидкость, плотность которой известна.

Сначала определяют массу образца в воздухе m_1 с точностью до 0,0001 г.

В пикнометр заливают рабочую жидкость (жидкость на стенках пикнометра снаружи необходимо удалить салфеткой), устанавливают в термостат с температурой 23 °С. Через 30 минут пикнометр извлекают из термостата и взвешивают на аналитических весах, определяя вес пикнометра с рабочей жидкостью m_4 .

После этого в пикнометр с жидкостью помещают образец (излишки жидкости удаляют салфеткой), подвергают термостатированию в течение 30 минут и определяют массу пикнометра с рабочей жидкостью и образцом m_5 .

Плотность образца ρ_t (г/см³) вычисляют по формуле

$$\rho_t = \frac{m_1 \cdot \rho_{ж} - (m_5 - m_4) \cdot 0.0012}{m_1 - (m_5 - m_4)}, \quad (5.4.)$$

где m_1 – масса образца в воздухе, г; m_4 – масса пикнометра с рабочей жидкостью, г; m_5 – масса пикнометра с рабочей жидкостью и образцом, г; $\rho_{ж}$ – плотность рабочей жидкости, г/см³.

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов расчета плотности для каждого измерения (образца), которые не должны отличаться друг от друга более чем на 0,0008 г/см³.

Результаты записывают с четырьмя знаками после запятой.

Флотационный метод

Сущность метода заключается в сравнении плотности образца с плотностью рабочей жидкости в момент перехода образца во взвешенное состояние. Метод применяется для определения плотности пластмасс (преимущественно полиолефинов) в виде гранул и любых формованных изделий. В качестве рабочей жидкости используют смесь этиловый спирт – вода. Метод пригоден для определения плотности полиолефинов плотностью менее 1 г/см³.

Для проведения пикнометрического взвешивания применяют следующие материалы и аппаратуру:

– термостат с выносной ванной с точностью термостатирования до 0,1 °С в интервале температур 20–30 °С;

– бюретка по ГОСТу 20292-74, типа I, вместимостью 25 мл;

– пипетка по ГОСТу 20292-74, типа I, вместимостью 50 мл;

– стакан по ГОСТу 25336-83, типа Н, вместимостью 250 мл;

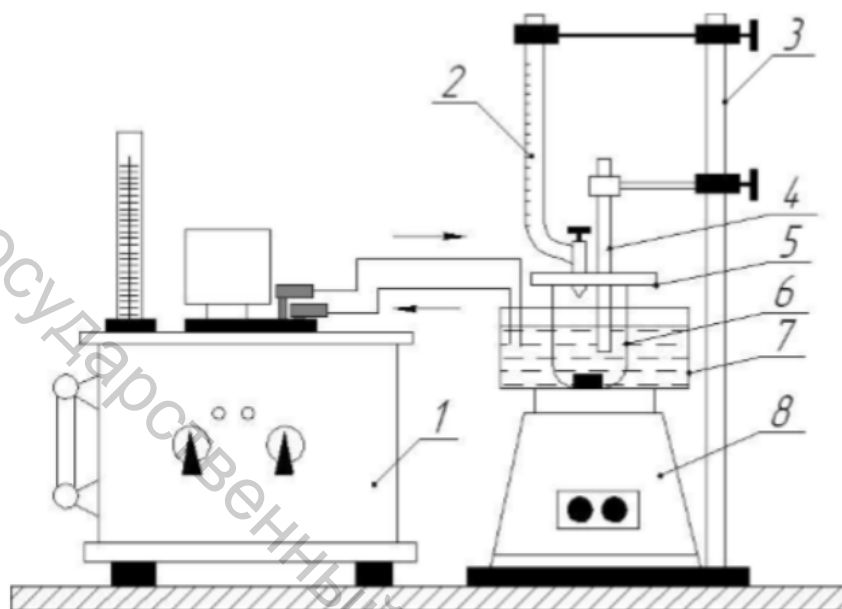
– пикнометр по ГОСТу 22524-77, вместимостью 25 мл;

– мешалка магнитная.

В качестве рабочей жидкости используется водный раствор этилового спирта плотностью 0,9100 г/см³. Раствор готовят смешиванием 1000 см³

этилового спирта (96,2 %) по ГОСТу 5962-67 с 629 см³ дистиллированной воды по ГОСТу 6709-72 и необходимого количества смачивающей жидкости. Плотность приготовленного раствора определяют пикнометрическим методом с точностью до 0,01 % не менее двух раз двумя пикнометрами, принимая плотность воды при 20 °С равной 0,998203 г/см³.

Определение плотности флотационным способом проводят на установке, изображенной на рисунке.



1 – термостат; 2 – бюретка; 3 – штатив; 4 – термометр; 5 – крышка стакана; 6 – стакан;
7 – водяная ванна; 8 – магнитная мешалка

Рисунок 5.3 – Установка для определения
плотности флотационным методом

В стакан 6 наливают пипеткой 50 мл водного раствора этилового спирта плотностью 0,9100 г/см³, помещают ротор магнитной мешалки 8 и три гранулы материала или три образца, вырезанных из разных мест одной и той же пластины полимера.

Стакан помещают в водяную ванну 7, присоединенную к ультратермостату 1, и закрывают крышкой 5, через отверстие которой в стакан вводят термометр 4 и носик бюретки 2 с дистиллированной водой, закрепленные на штативе 3. Для достижения температурного равновесия содержимое стакана термостатируют при перемешивании в течение 15 минут. Затем порциями по 1 мл добавляют из бюретки воду до тех пор, пока образцы не проявят склонность к переходу во взвешенное состояние.

После этого прибавление воды ведется по 0,2 мл, а затем по каплям. После каждого добавления воды содержимое стакана перемешивают мешалкой до установления заданной температуры. Положение образцов в жидкости определяют визуально при выключенной мешалке. Когда две части образца останутся во взвешенном состоянии примерно в середине столба жидкости, не прикасаясь к стенкам стакана, добавление воды прекращают.

Положение образцов определяют не ранее чем через 1 мин после выключения мешалки.

Плотность образцов определяют по количеству добавленной дистиллированной воды с помощью кривой на градуировочном графике:

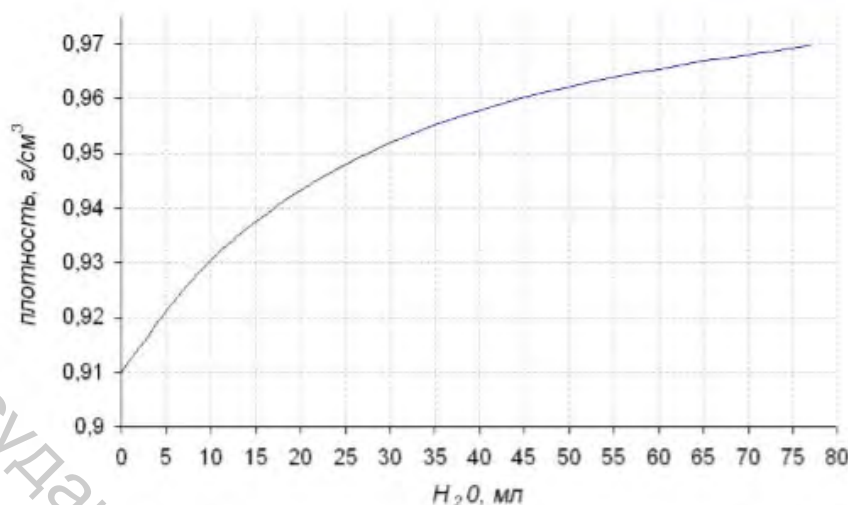


Рисунок 5.4 – Градуировочный график зависимости плотности раствора «этиловый спирт–вода» от количества воды

На оси абсцисс откладывают количество воды в растворе, на оси ординат – значения плотности раствора. Рекомендуется график строить в следующем масштабе: количество воды – 1 мл в 10 мм; плотность раствора – 0,0001 г/см³ в 1 мм.

За показатель плотности принимают среднее арифметическое двух определений при условии, что расхождения между ними не превышают 0,0004 г/см³. Результат определения величины плотности полимера выражают с точностью до 0,0002 г/см³. При этом следует указать, что плотность полимера определена флотационным методом.

Метод градиентной колонки

Сущность метода заключается в сравнении глубин погружения испытуемого образца и эталонов плотности в цилиндре с раствором меняющейся по высоте плотности, называемых градиентной колонкой.

Метод применяется для определения плотности пластмасс в виде пленок, гранул, волокон, а также любых формованных изделий. Точность этого метода зависит от перепада плотности в градиентной колонке на 1 мм высоты, называемого чувствительностью колонки. При чувствительности колонки 0,0001 г/см³ на миллиметр точность метода до 0,05 %.

Для проведения пикнометрического взвешивания применяют следующие материалы и аппаратуру:

- градиентная колонка, состоящая из градуированного стеклянного цилиндра с притертой стеклянной пробкой (длина ее должна быть не менее 25 см и не более 100 см, а диаметр – не менее 4 см);

– градуированные стеклянные поплавки, перекрывающие необходимый интервал плотностей и распределенные приблизительно равномерно в этом интервале;

– пипетки для наполнения градиентной колонки;

– рабочие жидкости.

Образцы для испытания должны иметь линейные размеры не более 5 мм и неодинаковую конфигурацию для облегчения идентификации. Если материал не гранулированный, то образец разделяют на пять частей. Стеклянные поплавки должны иметь приблизительно шарообразную форму и диаметр от 0,3 до 1,0 см. Раствор жидкости (примерно 500 см³), используемый при эталонировании образцов, готовят, используя одну из систем, предусмотренных в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Системы рабочих жидкостей для измерения плотности

Системы	Интервалы плотностей ρ , г/см ³
Метиловый спирт — бензиловый спирт	0,80—0,92
Изопропиловый спирт—вода	0,79—1,00
Изопропиловый спирт — диэтиленгликоль	0,79—1,11
Этиловый спирт — четыреххлористый	0,79—1,00
Толуол-четырехлористый углерод	0,87—1,59
Вода — бромистый натрий	1,00—1,41
Вода — азотнокислый кальций	1,00—1,60
Хлористый цинк — этанол — вода	0,80—1,70
Четыреххлористый углерод — 1,3-дибромпропан	1,60-1,99
1,3-Дибромпропан — бромистый этилен	1,99—2,18
Бромистый этилен — бромформ	2,18—2,89
Четыреххлористый углерод — бромформ	1,60-2,89

Подготовка градиентной колонки. Подготовку градиентной колонки плотности осуществляют непрерывным наполнением с помощью двух растворов, плотность которых является пределами интервала измерения.

Из таблицы выбирают группу веществ, соответствующую требуемому интервалу плотности и чувствительности колонки.

Плотность исходной жидкости ρ_A в г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho_A = \rho_0 - \frac{2(\rho_0 - \rho) \cdot V_2}{V}, \quad (5.5)$$

где ρ_A — плотность исходной жидкости в стакане в г/см³; ρ_0 — верхний предел желаемой плотности — плотность первоначальной жидкости в стакане 2, выбранная так, чтобы ее плотность была на 0,005 г/см³ больше, чем плотность наиболее плотного эталонного поплавка (для соответствующей трубки

градиента), в г/см³; ρ – верхний предел желаемой плотности – плотность первоначальной жидкости в стакане 2, выбранная так, чтобы ее плотность была на 0,005 г/см³ больше, чем плотность наиболее плотного эталонного поплавка (для соответствующей трубки градиента), в г/см³; V_2 – объем исходной жидкости в стакане 2 в см³; V – общий объем, необходимый для заполнения градиентной колонки, в см³.

В подготовленную градиентную колонку вводят не менее пяти эталонированных чистых поплавков, которые перекрывают своими плотностями весь интервал плотности колонки.

Образцы, плотность которых необходимо определить, смачивают менее плотной из двух применяемых жидкостей и медленно вводят их в колонку. Образцы оставляют в трубке 10 мин или более до достижения равновесия и по центру объема измеряют уровень погружения трех образцов, расположенных друг от друга не более чем на 1,5 мм.

Плотность образца определяют посредством интерполяции между значениями двух плотностей эталонных поплавков, между которыми расположен образец, по формуле

$$\rho_t = \rho_1 + \frac{(h-h_1) \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{h_2 - h_1}, \quad (5.6)$$

где h_2 и h_1 – глубина погружения обоих эталонных поплавков в мм; ρ_2 и ρ_1 – плотности обоих эталонных поплавков, г/см³; h – глубина погружения образца, мм; ρ_t – плотность образца, г/см³.

За результат испытания принимают среднее арифметическое расчетов плотности для каждого образца, которые не должны отличаться друг от друга более чем на 0,0008 г/см³.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить особенности и порядок проведения испытания по определению плотности пластмассовых образцов различными методами.
2. Получить образцы полимерных материалов и сфотографировать.
3. Провести измерения плотности образцов в соответствии с методами обмера и взвешивания и гидростатическим методом.
4. Все результаты занести в протокол испытания (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Протокол измерения плотности образцов пластических масс

Номер образца	Плотность материала ρ_t , г/см ³	
	Метод обмера и взвешивания	Гидростатический метод
1		
2		
3		
Среднее значение		

5. По стандартным (табличным значениям плотности материалов) произвести приблизительную идентификацию материала полученного образца резинотехнического изделия.

6. Вывод о проделанной лабораторной работе.

Содержание отчета:

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Методика определения плотности пластмасс методом обмера и взвешивания и гидростатическим методом.
3. Таблица с результатами расчетов плотности.
4. Вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Что называют плотностью вещества?
2. Какие методы определения плотности применяют для пластмасс?
3. Как определяют плотность полимерных образцов простой формы?
4. В чем заключается сущность метода градиентной колонки?
5. Перечислите составы систем жидкостей для измерения плотностей пластмасс.
6. Почему плотность является одним из важнейших свойств материалов?
7. Определите зависимость свойств материалов от плотности.

Лабораторная работа 6

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: провести идентификацию металлических материалов.

Теоретическая часть

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металлов и сплавов с помощью оптического микроскопа при увеличении 50–2000 раз в отраженном свете.

Микроанализ был впервые применен в 1831 г. П.П. Аносовым, который указал на определенную связь между микроструктурой и свойствами металлов. Микроструктура металлов и сплавов характеризуется количеством, формой и расположением фаз и размером зерна, которые влияют на механические свойства сплавов.

С этого времени микроанализ непрерывно развивался и стал одним из основных методов исследования металлов. С помощью микроанализа можно определить:

- форму и размеры кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- изменение внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав;
- микропороки металла – микротрещины, раковины и т. п.;
- неметаллические включения – сульфиды, оксиды и др.;
- химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами и, в некоторых случаях, приблизительно определяют химический состав изучаемого сплава.

Для микроскопического анализа из испытываемого материала вырезают образец и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляются неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугунах (после шлифования и полирования) или микроструктура (после шлифования, полирования и травления). Таким образом, микроскопический анализ состоит из приготовления микрошлифов, исследования микрошлифов.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику приготовления и исследования микрошлифов.
2. Получить протравленные образцы материалов и сфотографировать их.

3. Ознакомиться с устройством микроскопа оптического MicroVert Planar инвертированного для работы в отраженном свете с увеличением от 50 до 1500 крат с фотокамерой. Микроскоп связан с ПК и представляет собой специализированный компьютерный комплекс.

4. Установить протравленные образцы микрошлифов металлов на рабочий стол микроскопа.

5. Ознакомиться с интерфейсом программы SimleIM, работающей на компьютерном комплексе.

6. Согласно руководству пользователя программы SimleIM, установленной на ПК произвести следующие действия в строгой последовательности:

1. Захват и сохранение изображения.

1.1. На рабочем столе запустить ярлык программы SimleIM.

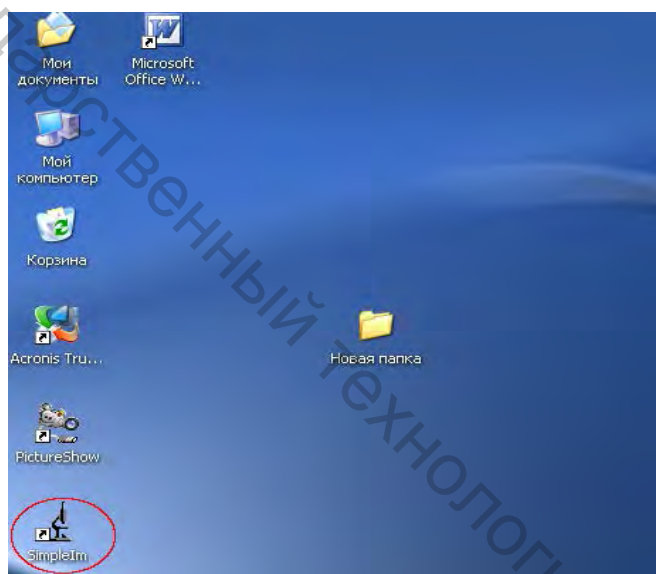


Рисунок 6.1 – Вид рабочего стола ПК, подключенного к микроскопу

1.2. Кликнуть по иконке T и в появившемся окне выделить драйвер Es-Experts и нажать выбрать.

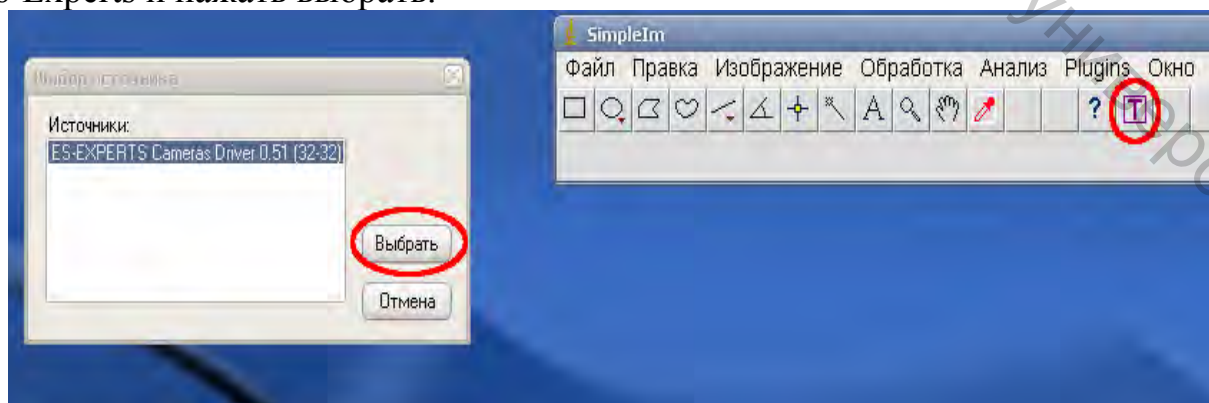


Рисунок 6.2 – Вид интерфейса запуска программы SimleIM с драйвером

1.3. С помощью микроскопа навестись и сфокусироваться на объекте и нажать кнопку «захват изображения».

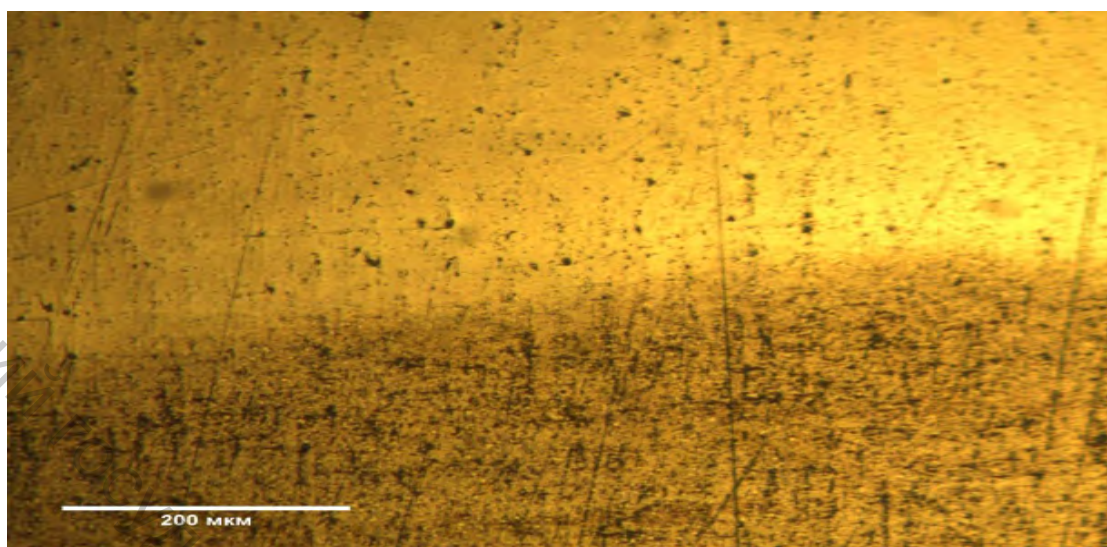


Рисунок 6.3 – Вид образца на мониторе

1.4. В основном окне программы SimleIM нажать Файл–Сохранить как–TIFF или нажать Ctrl+S. Далее необходимо присвоить файлу имя и сохранить в нужной папке, нажав кнопку «Save».

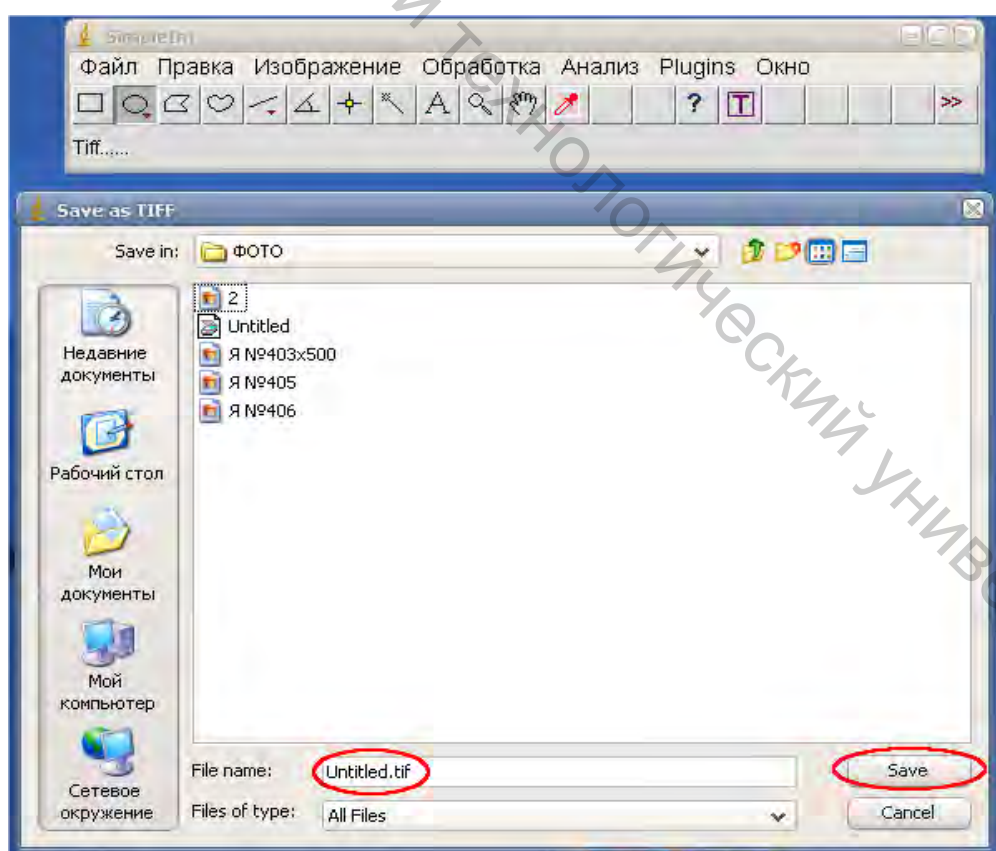


Рисунок 6.4 – Вид интерфейса программы SimleIM при сохранении

2. Измерение размеров объекта.

2.1. Захватите и сохраните изображение как показано в пунктах 1.1–1.4.

2.2. В основном окне программы SimleIM нажать Анализ–Глобальные калибровки.

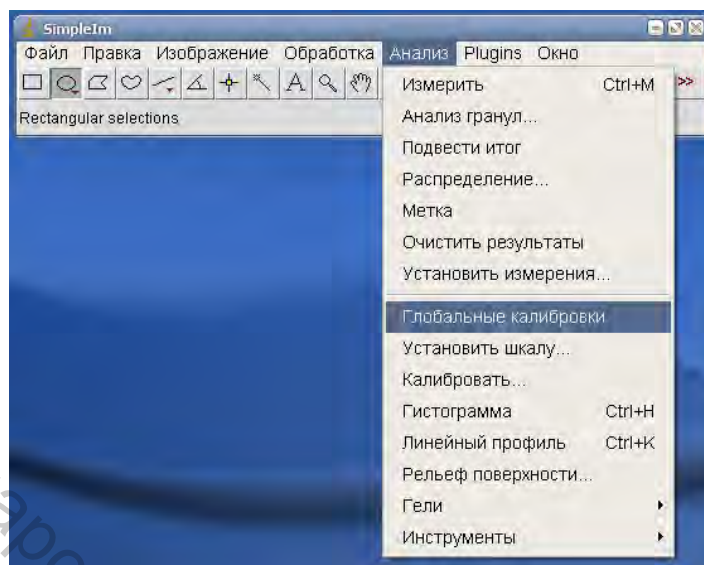


Рисунок 6.5 – Вид интерфейса программы SimleIM при калибровке

2.3. В окне «Глобальные калибровки» выбрать калибровку, соответствующую объективу и разрешению на которых был сделан снимок. (Разрешение можно посмотреть в аннотации к изображению (см. рисунок ниже)).

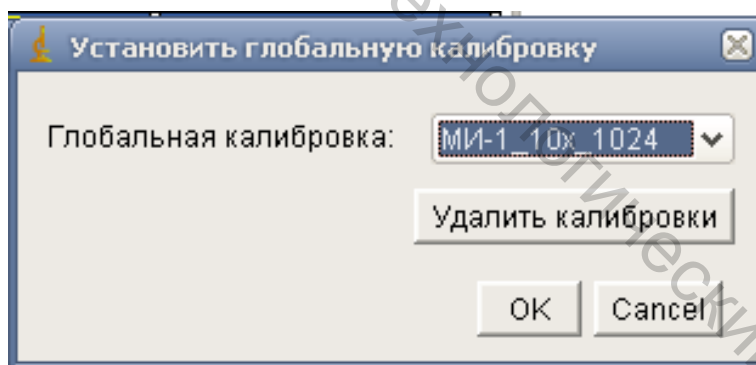


Рисунок 6.6 – Вид интерфейса программы SimleIM при выборе калибровки

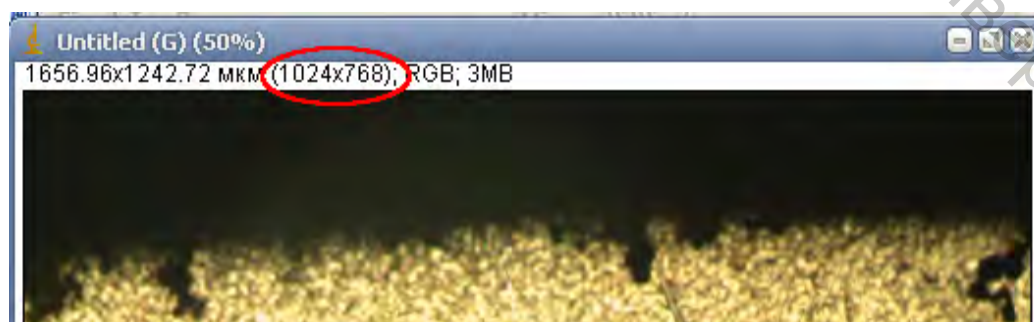


Рисунок 6.7 – Вид интерфейса программы SimleIM при выборе разрешения

В основном окне программы SimpleIM выбрать инструмент «Линия».

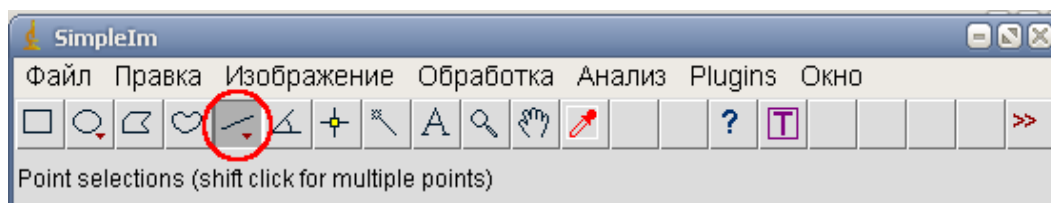


Рисунок 6.8 – Вид интерфейса программы SimpleIM при выборе инструмента

2.4. Удерживая левую клавишу мыши провести измерительную линию. Длину, направление и расположение измерительной линии можно изменить с помощью точек на её концах.

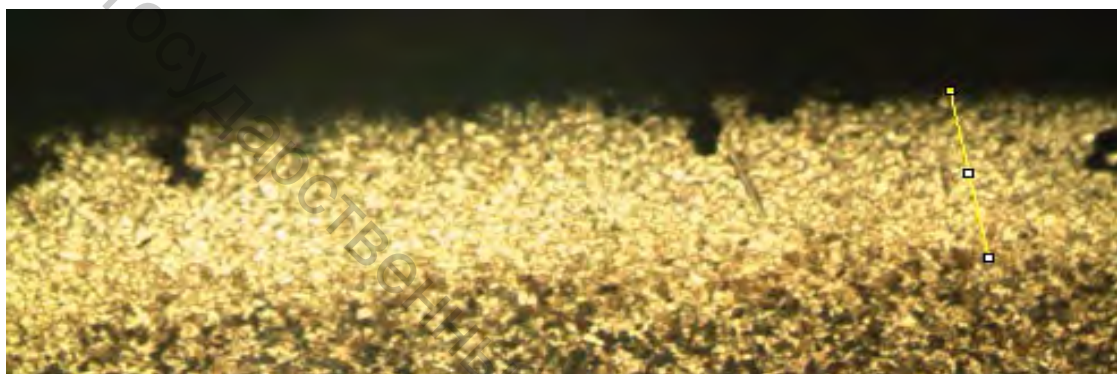


Рисунок 6.9 – Вид интерфейса программы SimpleIM при измерении

2.5. Нажать Ctrl+M или Анализ–Измерить. В появившемся окне «Results» в поле «Length» можно найти длину линии в микронах.

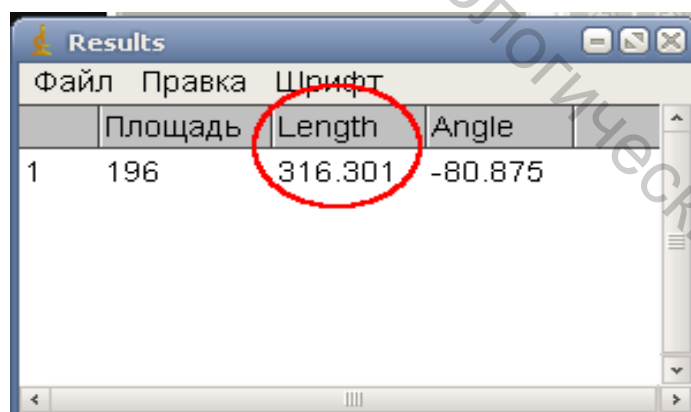


Рисунок 6.10 – Вид интерфейса программы SimpleIM при выборе измерения

2.6. Произведя несколько измерений в различных сечениях объекта можно подвести статистические итоги. Для этого в окне «Results» необходимо нажать Правка – Подвести итоги.

2.7. Результаты измерений можно сохранить в таблицу EXCEL. Для этого в окне «Results» необходимо нажать Файл–Сохранить как.

3. Вставка масштабной полосы на снимок.

3.1. Захватите изображение и установите глобальную калибровку.

3.2. Для вставки масштабной полосы нажмите Анализ–Инструменты–Масштабная полоса.

3.3. В поле Width напишите размер масштабной полосы, а в поле Location выберите её расположение.

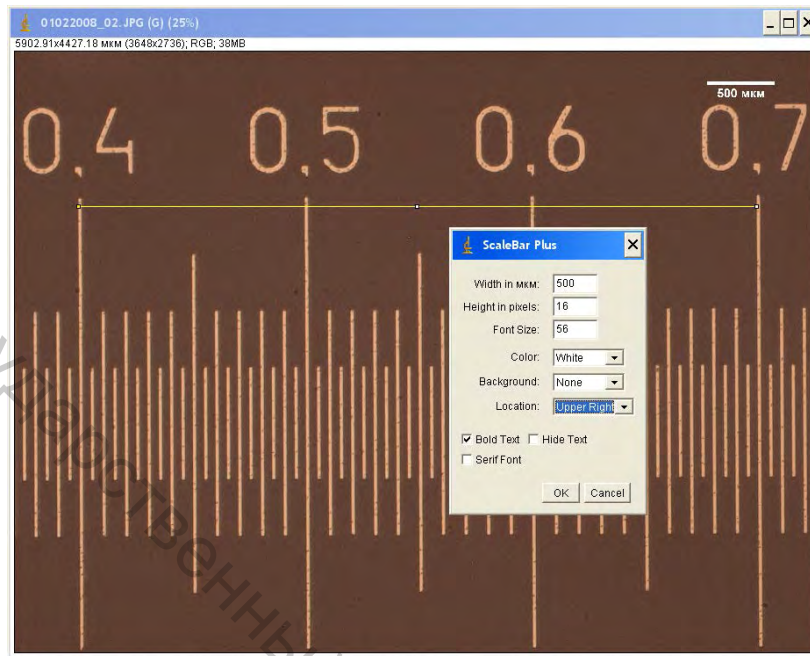


Рисунок 6.11 – Вид интерфейса программы SimleIM при выборе масштабной полосы

3.4. Захватите и сохраните изображение как показано в пунктах 1.1–1.4.

3.5. В основном окне программы SimleIM нажать Правка – Копировать во внешний буфер.

3.6. Открыть документ Word и вставить в него изображение (для того чтобы масштаб изображения совпадал с реальным размером необходимо выставить в Word масштаб 50 % для снимка с разрешением 1024x768, 25 % для снимка с разрешением 2048x1536).

4. Сравнение изображения с эталоном.

4.1. Захватите изображение как показано в пунктах 1.1–1.4.

4.2. В основном окне программы SimleIM нажать Файл–Загрузить–Последовательность изображений.

4.3. Перейти в папку с эталонными изображениями (при наличии, например: D:\ГОСТ 3443_Отливки из чугуна\Определение металлической основы\Шкала5_Вид структуры металлической основы чугунов\), выбрать первое изображение и нажать Open.

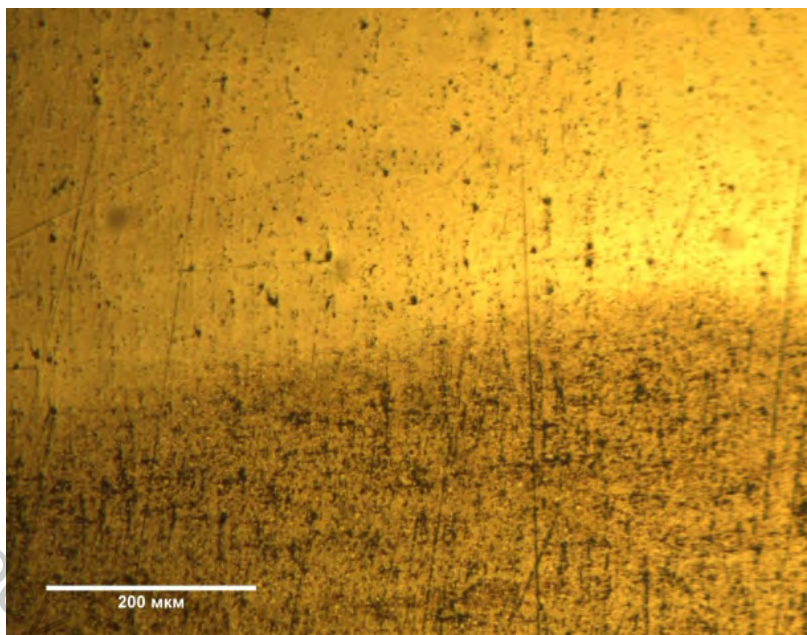


Рисунок 6.12 – Исследуемый образец с масштабной полосой

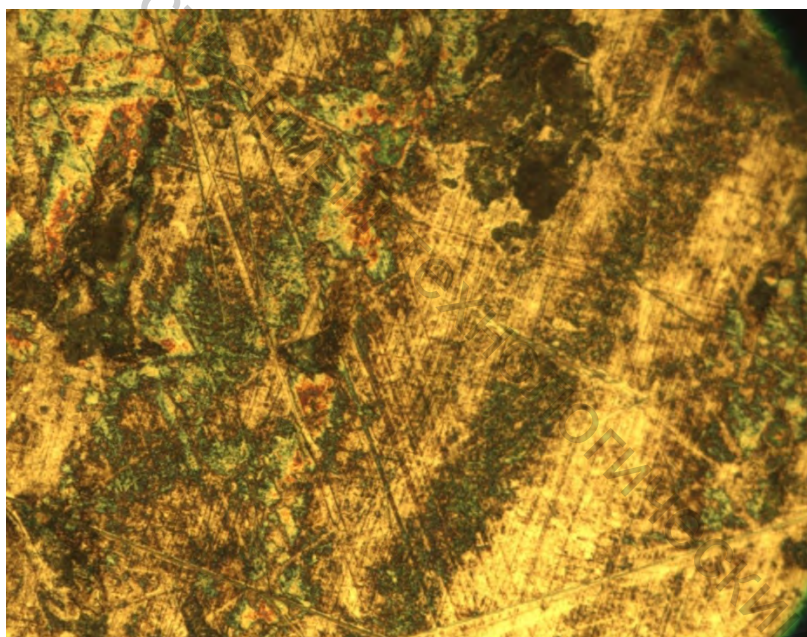


Рисунок 6.13 – Эталонное изображение

Содержание отчёта:

1. Тема и цель лабораторной работы.
2. Описать сущность микроскопических методов исследования кристаллографической структуры материалов.
3. Описать действия по идентификации металлического материала.
4. Сравнить изображения и произвести идентификацию металлического материала с подробным описанием действий.
5. Представить полную информацию об идентифицированном материале.
6. Сделать вывод о работе.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите методы анализа металлов и сплавов.
2. Что такое кристаллография?
3. Назовите виды кристаллографии.
4. Перечислите виды структур металлов и сплавов.
5. Приведите полностью формулу зависимости применяемости материалов от состава.
6. Почему идентификация материалов является на практике актуальной задачей?

Список литературы

1. Измерение твердости по Роквеллу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/tehnologii/izmerenie-tverdosti-po-rokvellu.html>. – Дата доступа: 13.02.2020.
2. Строение и свойства материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/1968439/>. – Дата доступа: 17.02.2020.
3. Динамический твердомер МЕТ-Д1 / твердомер МЕТ-Д1А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-75-dinamicheskii-tverdomer-met-d1-tverdomer-met-d1a.htm>. – Дата доступа: 19.02.2020.
4. Безобразцовый метод определения механических свойств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/3/13256.html> – Дата доступа: 19.02.2020.
5. Методы определения плотности (объемной массы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200020785>. – Дата доступа: 24.02.2020.
6. Методы Виккерса и Шора для твердомеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alfatest.ru/support/articles/metody-vikkersa-i-shora-dlya-tverdomerov/>. – Дата доступа: 27.02.2020.
7. Программа SimpleIm Краткое руководство пользователя.
8. Пятов, В. В. Материаловедение. Материаловедение и обработка материалов. Материаловедение и защита от коррозии. Конструкционные и электротехнические материалы: конспект лекций / В. В. Пятов, А. Н. Голубев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 58 с.
9. Лахтин, Ю. М. Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
10. Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 7-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1986. – 648 с.
11. Пятов, В. В. Материаловедение. Основные термины и понятия : пособие для студентов высших технических учебных заведений / В. В. Пятов [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2000. – 106 с.

Учебное издание

МАТЕРИАЛЫ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА

Методические указания по выполнению лабораторных работ
В двух частях
Часть 1

Составитель:
Ковчур Андрей Сергеевич

Редактор *Т.А. Осипова*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *А.С. Ковчур*

Подписано к печати __.__.2020. Формат 60х90¹/₁₆. Усл. печ. листов ____.
Уч.-изд. листов _____. Тираж ____ экз. Заказ № ____.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.