МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра " Материаловедение и технологии металлов "

**Методические рекомендации для выполнения лабораторного практикума**

**по дисциплине «Механические и физические свойства материалов»**

Для студентов 3-го курса очной и заочной формы подготовки

направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

профиль подготовки «Материаловедение и технологии материалов в приборостроении и медицинской технике»

Составил:

доктор технических наук, профессор

кафедры «Материаловедение и технологии металлов»

Домбровский Ю.М.

Ростов-на-Дону, 2023

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ**

**МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Цель работы: Изучение конструкции приборов и освоение методик измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, микротвердости, практическое выполнение измерений твердости и микротвердости.

**Введение**

Твердость - одна из наиболее распространенных механических характеристик металлов. Государственными стандартами регламентированы только измерения твердости статическим вдавливанием индентора - методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости (вариант Виккерса). Для этих методов твердость - это сопротивление материала большой пластической деформации, измеряемое при воздействии малодеформирующегося наконечника (индентора) на поверхность материала. Индентор из закаленной стали, твердого сплава, алмаза или сапфира имеет форму шарика, конуса или пирамиды.

Большая распространенность методов измерения твердости связана с быстротой испытания и возможностью многократно испытывать детали любой формы. Подавляющее большинство полуфабрикатов и деталей из стали после термической обработки проходят сдаточный контроль твердости (в ряде случаев - только твердости).

Многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например, поверхностного слоя цементованной, азотированной или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом измерения микротвердости можно измерять также твердость отдельных структурных составляющих и фаз в сплаве.

**1. Измерение твердости вдавливанием шарика (твердость по Бринеллю)**

При измерении твердости по Бринеллю стальной закаленный отполированный шарик диаметром D вдавливается в образец заданной силой Р. После снятия нагрузки в образце остается лунка.

Шарик вдавливают с помощью специального пресса Бринелля марки ТШ-1 (рис.1).

|  |
| --- |
| metoda13  Рис.1. Схема прибора для измерения твердости по Бринеллю (вдавливанием шарика) |

Испытуемый образец (деталь) устанавливают на столике 1 в нижней части неподвижной станины пресса, зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом вручную маховика 2 по часовой стрелке столик прибора поднимают так, чтобы шарик 4 мог вдавиться в испытуемую поверхность.

В прессе, укомплектованном электродвигателем, вращают маховик 2 до упора и нажатием кнопки включают двигатель 5. Последний сначала перемещает коромысло и постепенно нагружает шток, а следовательно и   
вдавливает шарик под действием нагрузки 3, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом.

Эта нагрузка действует в течение определенного времени в зависимости от твердости измеряемого материала (продолжительность выдержки под нагрузкой для черных металлов 10-15 с, для цветных 10-180 с), после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно перемещает коромысло и снимает нагрузку.

После автоматического выключения двигателя, поворачивая маховик 2 против часовой стрелки, опускают столик прибора и затем снимают образец. Регулировкой реле двигателя можно изменять время приложения нагрузки.

Диаметр образовавшегося на поверхности образца отпечатка измеряют лупой Бринелля с ценой деления 0,1 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Площадь поверхности сферической лунки диаметром d:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

За меру твердости по Бринеллю (НВ) принимают условное среднее напряжение вдавливания на поверхности лунки

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

По ГОСТ 9012-59 основной диаметр шарика D=10 мм и нагрузка Р=3000 кГ.

Для тонких образцов применяются шарики диаметром 5 мм или 2,5 мм. Значения НВ (P, D, d) табулированы в ГОСТ’е (приложение, табл.1).

При разной твердости и одинаковых P и D отпечатки не подобны (чем мягче материал, тем глубже вдавливается шарик). Чтобы шарик не "проваливался" в очень мягкий материал, ГОСТ нормирует отношение  в зависимости от уровня твердости (табл.1).

По ГОСТ 9012-59: поверхность образца должна быть обработанной на станке или напильником, плоской, параллельной опорной стороне. На криволинейной поверхности делают лыску шириной вдвое большей диаметра шарика. Для достоверного определения твердости необходимо получить массив измерений не менее 5 и статистически его обработать с помощью микрокалькулятора; определить среднее значение измеряемой величины, среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал с использованием критерия Стъюдента при уровне доверительной вероятности 0,95. Для каждого отпечатка измеряют два взаимно перпендикулярных диаметра и берут среднее из них.

Чем больше отпечатков, тем точнее его измерение. Поэтому следует выбирать наибольшие шарик и нагрузку из числа допускаемых табл.1. Твердость, измеренная при максимальных Р=3000 кГ, D=10 мм и времени 10 с, указывается с одним знаком НВ (например, НВ 187). При всех других условиях следует после знака НВ привести значения D, P, t и лишь после них - само число твердости (например, НВ 5/750/30-187). (Число твердости имеет размерность напряжения (кГс/мм2, либо х10 МПа), но по стандарту она не пишется).

Методом Бринелля не пользуются при твердости НВ>450 кГ/мм2. Если заметна пластическая деформация шарика, испытания недействительны.

Если материалы достаточно пластичны, то между числом твердости по Бринеллю НВ и пределом прочности при растяжении σВ есть корреляция: отношение σВ /НВ=0,33÷0,36 для стали и сплавов алюминия; 0,4÷0,55 - для бронз и всего 0,09 - для цинковых сплавов. Однако ГОСТ рекомендует избегать перевода чисел твердости в прочность, поскольку общей для всех составов и состояний зависимости не существует.

Таблица 1 - Нормы испытаний по Бринеллю

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Интервал твердости в числах Бринелля | Толщина испытуемого образца, мм | кгс | Диаметр шарика, мм | Нагруз-ка Р,  кГс | Выдержка  под нагрузкой, с |
| Черные металлы | 140-450 | 6-3  4-2  менее 2 | 30 | 10  5  2,5 | 3000  750  187 | 10 |
| Менее 140 | более 6  6-3  менее 3 | 10 | 10  5  2,5 | 1000  250  62,5 | 10 |
| Цветные  металлы | Более 130 | 6-3  4-2  Менее 2 | 30 | 10  5  2,5 | 3000  750  187 | 30 |
| 35-130 | 9-3  6-3  менее 3 | 10 | 10  5  2,5 | 100  250  62,5 | 30 |
| 8-35 | более 6  6-3  менее 3 | 2,5 | 10  5  2,5 | 250  62,5  15,6 | 60 |

1.1. Методика измерения твердости по Бринеллю.

1. Выбрать размер шарика D, нагрузку Р и время выдержки по табл.1 в зависимости от материала и толщины образца. Шарик в оправке закрепить винтом в шпинделе твердомера ТШ-1.

2. Повесить на штангу грузы (на каждом грузе указана нагрузка в кгс, создаваемая им на инденторе; на тарелке указана соответствующая нагрузка от штанги и тарелки вместе). Чтобы грузы не упали, их ставят прорезями в разные стороны.

3. Проверить, соответствует ли указываемая стрелкой на шкале выдержка заданной и, если надо, перевести стрелку в нужное положение.

4. Установить образец на столике шлифованной поверхностью вверх.

5. Довести образец до соприкосновения с шариком, вращая маховик по часовой стрелке, пока не начнет прокручиваться фрикцион (отрегулированный на предварительную нагрузку 1000 Н).

6. Включить привод кнопкой. Нагружение, выдержка, разгрузка и выключение происходят автоматически, выдержка сигнализируется лампочкой.

7. Опустить столик вращением маховика.

8. Сделать на образце 5 отпечатков.

9. Измерить их диаметры в двух взаимно перпендикулярных направлениях лупой Бринелля с ценой деления 0,1 мм, результаты занести в табл.3.

**2. Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу)**

Измерение твердости по Виккерсу проводится с использованием твердомера ТП-2, который имеет рычажное устройство для нагружения, встроенный измерительный микроскоп, смонтированный на поворотной головке. При измерении твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-75) в металл вдавливается четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине α=136°и измеряются диагонали отпечатка d1 и d2, оставшиеся на поверхности образца после снятия нагрузки (рис.2).

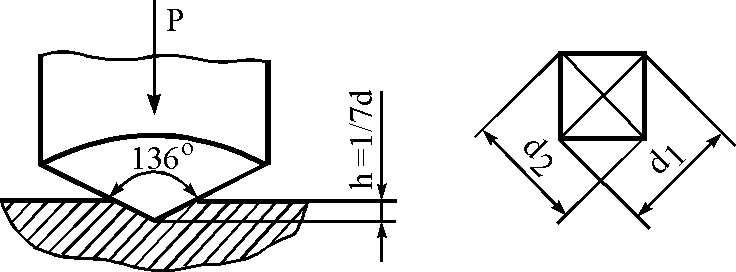


Рис.2. Схема определения твердости по Виккерсу

Число твердости - условное среднее удельное давление на поверхности отпечатка,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| , | | (3) |
| где | α - угол между противоположными гранями пирамиды; | |
|  | Р - нагрузка, кГс; | |
|  | d - средняя арифметическая длина обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм. | |

В отличие от схемы Бринелля, все отпечатки Виккерса геометрически подобны, и поэтому число твердости не зависит от нагрузки. (Это обстоятельство используют, чтобы обнаружить особое состояние поверхностного слоя (наклеп, обезуглероживание) по изменению твердости с уменьшением нагрузки).

ГОСТ разрешает измерения при нагрузке 5, 10, 20, 30, 50 и 100 кГ. Чем крупнее отпечаток, тем точнее измерение, поэтому нагрузку выбирают возможно большей, но так, чтобы не продавливать образец.

Числа твердости по Бринеллю и Виккерсу имеют одинаковую размерность, а для металлов с твердостью до 450 единиц они одинаковы. Это достигается тем, что угол при вершине пирамиды выбран равным углу между касательными к лунке для "идеального отпечатка". Однако для более высоких значений твердости числа твердости HV становятся больше, чем НВ.

Методом Виккерса можно пользоваться для измерения твердости как мягких, так и твердых материалов, однако он особенно эффективен для испытания образцов малого сечения, образцов из весьма твердых металлов и сплавов, а также для измерения твердости тонких закаленных, цементированных, азотированных слоев.

Отпечаток измеряют с точностью до 0,001 мм, для чего поверхность должна быть не хуже ∇10 по ГОСТ 2789-59 (чистовая шлифовка или полировка), сухая и чистая; наклон поверхности к оси индентора не выше 2°. Твердость можно измерять и на криволинейных поверхностях, если радиус их кривизны не менее 5 мм.

Время выдержки под нагрузкой 10-15 с - для стали и 30±2 с - для цветных металлов. Число твердости HV указывается с величиной нагрузки: HV 50-120 - твердость 120 кГ/мм2 при нагрузке 50 кГ. Выдержка указывается, если она отлична от 10-15 с; Н\/ 50/30-120, та же твердость, измеренная при выдержке 30 с.

2.1. Методика измерения твердости по Виккерсу

1. Определить нагрузку и время выдержки на твердомере ТП-2 для стального закаленного образца в зависимости от материала и формы образца.

2. Установить на подвеску груз.

3. Поместить образец на столик.

4. Взвести механизм грузового привода с помощью рукоятки, которую затем опускают вниз.

5. Вращая маховик по часовой стрелке, поднять образец до легкого соприкосновения с торцом чехла алмазного наконечника.

6. Нажать педаль; при полном приложении нагрузки загорается лампочка на передней панели твердомера. При окончании выдержки под полной нагрузкой лампочка гаснет.

7. Опустить столик с образцом поворотом маховика.

8. Поворотом головки с микроскопом рукояткой вправо до упора совместить отпечаток с осью микроскопа.

9. Навести микроскоп на резкость вращением маховика. Вращая винт окуляр-микрометра, подвести к диагонали слева нулевую отметку шкалы.

|  |
| --- |
| metoda29  Рис.3. Измерение диагоналей  на приборе Виккерса |

Вращая микровинт, подвести к концу диагонали подвижный штрих (рис.3) и определить длину диагонали по шкале микроскопа (одно деление = 0,1 мм) и лимбу микровинта (одно деление = 0,001 мм). Повернув головку микроскопа на 90° по часовой стрелке, измерить вторую диагональ. Определяют среднее значение d и по таблице - число твердости. Данные заносят в табл.3

**3. Измерение твердости вдавливанием конуса или шарика (твердость по Роквеллу)**

Для измерения твердости по Роквеллу используют твердомер ТК-2, который имеет рычажную систему нагружения, подъемный опорный столик для установки образца. Полная нагрузка задается подвешенными грузами, предварительная - сжатием пружины, нагружающей шпиндель с индентором.

Измерение твердости по Роквеллу (ГОСТ 9013-75) производится путем вдавливания в поверхность образца алмазного конуса с углом при вершине 120°±30° и радиусом закругления 0,200±0,005 мм или полированного (∇12) стального шарика (HV≥850) диаметром 1,5889±0,001 мм (1/16 дюйма).

Общий недостаток методов Виккерса и Бринелля - измерение отпечатка отдельно от вдавливания. Измерить отпечаток в ходе вдавливания удобнее не по диагонали или диаметру, а по глубине. В методе Роквелла использовано двухступенчатое нагружение: глубина вдавливания отсчитывается не от исходной поверхности металла, а от уровня, достигнутого при небольшом вдавливании предварительной нагрузкой Р0 (рис.4).

|  |
| --- |
| metoda23  Рис.4. Схема измерения твердости по Роквеллу |

При этой нагрузке отсчетное устройство (индикатор) устанавливается на нуль, после чего за 3-6 с добавляется основная нагрузка Р1. Выдержка под полной нагрузкой Р=Р0+Р1 продолжается 1-3 с. После плавного снятия основной нагрузки P1 (предварительная Р0 остается) индикатор часового типа с ценой деления 0,002 мм показывает глубину вдавливания h.Число твердости по Роквеллу всегда связано с глубиной h линейно HR=a-kh.

Коэффициент пропорциональности k=1/0,002 мм выбран так, что член kh равен глубине погружения в делениях шкалы прибора (0,002 мм). Твердость выражается в условных делениях циферблата индикатора, стрелка которого указывает непосредственное число твердости. Шкалы твердости по Роквеллу различаются выбором индентора, нагрузки и начального отсчета (табл.2) согласно ГОСТу 9013-75.

Таблица 2 - Условия испытаний по Роквеллу

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение шкалы Роквелла | Обозначение числа твердости по Роквеллу | Тип  наконечника | Полная нагрузка, H | Пределы измерения твердости по Роквеллу | Примерная твердость по Виккерсу при нагрузке, 100 Н |
| В | HRB | стальной шарик 1/16’’ | 1000 | 25-100 | 60-240 |
| С | НRC | алмазный конус | 1500 | 20-67 | 240-900 |
| А | НRÀ | алмазный конус | 600 | 70-85 | 390-900 |

3.1. Методика определения твердости по Роквеллу

1. Выбрать и установить индентор и нагрузку на твердомере ТК-2 для образцов закаленной углеродистой стали.

2. Установить образец на столик и, наблюдая за зазором, плавным вращением маховика поднять образец до соприкосновения с алмазом и чуть выше так, чтобы маленькая стрелка на вспомогательном лимбе индикатора совпала с красной точкой, большая стрелка встала вертикально (±5 делений). При этом сжатие пружины задает правильную предварительную нагрузку Р0. Если большая стрелка отклонилась вправо по вертикали больше, чем на пять делений, допустимая нагрузка Р0 превышена и надо начать испытание снова в другом месте образца.

3. Установить начало шкалы, повернув ободок индикатора. Для шкал А и С нуль черной шкалы должен совпасть с большой стрелкой; для шкалы В против большой стрелки установить 30 делений красной шкалы.

4. Приложить основную нагрузку, при этом рычаг с грузом в течение нескольких секунд плавно опускается вниз.

5. После остановки большой стрелки снять показание прибора с точностью до половины деления шкалы. Занести результат в таблицу 3. (Числа твердости при вдавливании алмазного конуса читаются по черной шкале, при вдавливании стального шарика - по красной).

На одном образце твердость измеряют не менее, чем в 5 точках и подсчитывают среднее значение.

**4. Измерение микротвердости**

Испытание на микротвердость применяется для контроля качества материала очень мелких деталей (например, деталей ручных часов), тонких полуфабрикатов (листов, лент, фольги, проволоки и т.п.), а также для определения твердости структурных составляющих, твердости покрытий и весьма тонких поверхностных слоев, хрупких неметаллических материалов (абразивов, минералов, стекол), полимеров в др.

Поверхность образца для определения микротвердости подготавливают так же, как и для исследования микроструктуры. Полирование рекомендуется электролитические во избежание наклепа в тонком поверхностном слое.

При определении микротвердости (ГОСТ 9450-60) четырехгранная алмазная пирамида (с углом между противоположными гранями при вершине 136О) вдавливается в испытуемый материал под нагрузкой от 5 до 500 Г. Число твердости Н в кг/мм2 определяется по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| , | | (4) |
| где | Р - нагрузка на пирамиду, кГ; | |
|  | d - среднее арифметическое длины обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм; | |
|  | α - угол между противоположными гранями пирамиды, равный 136°. | |

Метод испытания на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды обозначают символом Н с указанием в индексе величины нагрузки в граммах (например, Н50=220 означает, что число микротвердости 220 получено при нагрузке 50Г).

Вместо определения числа твердости по формуле (4) обычно пользуются таблицами, рассчитанными для нагрузок (20, 50, 100 и 200 Г). Для определения микротвердости применяют приборы ПМТ-З и ПМТ-5 конструкции М.М.Хрущева и Е.С.Берковича. Принципиальная схема приборов одинаковая. В приборе ПМТ-5 в отличие от ПМT-3 предусмотрены автоматические нагружение и выдержка.

|  |
| --- |
| metoda26  Рис. 5. Прибор ПМТ-3 для измерения микротвердости |

Это вертикальные микроскопы с нижним положением столика, которые имеют два сменных объектива (с увеличением ×487 в ×130) и окуляр-микрометр для измерения диагонали отпечатков. Электрическое питание осветителя микроскопа осуществляется от понижающего трансформатора, входящего в комплект прибора. На рис.5 показан общий вид прибора ПМТ-З. Вращением столика выбранное место на шлифе подводят под индентор - пирамиду.

Индентор 12 укреплен на штоке; шток подвешен на мягкой плоской пружине и до начала нагружения поддерживается арретиром 10 в верхнем положении.

На шток укладывают груз от 5 до 200 Г. Пружины и опоры штока отрегулированы так, что если отпустить (отвести от себя) арретир, то без гирь индентор повиснет, не касаясь шлифа, но уже при нагрузке 0,5 Г он опускается настолько, что дает на шлифе отпечаток.

4.1. Методика определения микротвердости медных образцов

1. Возьмите медный образец, прикрепленный пластилином с помощью ручного пресса к металлической или стеклянной пластине таким образом, что плоскость шлифа расположена параллельно основанию пластины.

2. Установите пластину с медным шлифом на столике микротвердомера ПМТ-3 и наведите микроскоп на поверхность шлифа.

3. Вращением отсчетного барабана установите перекрестие окуляр-микрометра в центре поля зрения (на деление “4”).

4. Перемещением столика микровинтами подведите выбранное для укола место под перекрестие окуляра.

5. Поверните столик до упора, чтобы шлиф стал под индентор.

6. Установите на шток индентора груз 100 Гс. Медленно (за 15 с) отведите арретир на себя. После 5 с выдержки плавно поднимите индентор. Получите отпечаток.

|  |
| --- |
| metoda27  Рис.6. Схема измерения диагоналей отпечатка |

7. Подведите шлиф под микроскоп вращением столика.

8.Измерьте диагональ отпечатка. Для этого вращением барабачика окуляр-микрометра совместите перекрестие сначала с двумя левыми, а затем с двумя правыми гранями отпечатка (рис. 6). Диаметр отпечатка в микрометрах можно получить умножением числа делений диагонали отпечатка по барабанчику на 0,3.

9. По таблице найдите число твердости, используя вычисленное значение диагоналей отпечатка. Результат занесите в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты экспериментального определения твердости

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал  образца | Метод измерения твердости, обозначение, марка прибора | Условия измерения | Диаметр (диагональ) отпечатка, мм | | | Значе-ния твер-дости |
| d1 | d2 | dСР. |
| Чугун | Твердость по Бринеллю, НВ, МПа, прибор ТШ-1 | Р=7500 Н,  D=5 мм, τ=10 с |  |  |  |  |
| Закаленная углеродистая сталь | Твердость по Роквеллу, НRC, прибор ТК-2 | Р=1500Н, индентор-алмазный конус, шкала С |  |  |  |  |
| Закаленная углеродистая сталь | Твердость по Виккерсу, НV, МПа, прибор ТП-2 | Р=294,3 Н,  τ=10 с |  |  |  |  |
| Медь | Микротвердость, Н, МПа, прибор ПМТ-3 | Р= 0,98 Н  dотп , мкм |  |  |  |  |

10. Проведите измерения твердости не менее, чем в 5 точках медного шлифа.

**5. Обработка результатов опытных данных:**

1. Найдите среднее значение из n единичных измерений xi по формуле:



2. Вычислите разность () с учетом знака и для проверки сумму  - она должна быть равна нулю.

3. Определите выборочную дисперсию



4. Проведите доверительную оценку измеряемого параметра, пользуясь выражением ,

где t – квантиль распределения Стьюдента t(P, K) (определяется из таблицы 2) при заданной надежности (вероятности) P и числе степеней свободы K=n-1.

5. Оцените истинное значение измеряемой величины x по результатам n независимых измерений x1, x2 … xn доверительным интервалом



Эта запись означает, что с вероятностью Р можно утверждать, что истинное значение измеряемой величины x находится внутри интервала , серединой которого является .

Таблица 4 - Значение t(P, K) для t – распределения Стьюдента

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| K | P | | | K | P | | К | P | |
| 0,95 | 0,99 | | 0,95 | 0,99 | 0,95 | 0,99 |
| 2 | 4,303 | | 9,925 | 12 | 2,179 | 3,055 | 40 | 2,021 | 2,704 |
| 3 | 3,182 | | 5,841 | 13 | 2,160 | 3,012 | 45 | 2,014 | 2,689 |
| 4 | 2,776 | | 4,604 | 14 | 2,145 | 2,977 | 50 | 2,009 | 2,678 |
| 5 | 2,571 | | 4,032 | 15 | 2,131 | 2,947 | 60 | 2,000 | 2,660 |
| 6 | 2,447 | | 3,707 | 16 | 2,120 | 2,921 | 70 | 1,994 | 2,648 |
| 7 | 2,365 | | 3,499 | 18 | 2,101 | 2,878 | 80 | 1,990 | 2,639 |
| 8 | 2,306 | | 3,355 | 20 | 2,086 | 2,845 | 90 | 1,987 | 2,632 |
| 9 | 2,262 | | 3,250 | 25 | 2,060 | 2,787 | 100 | 1,984 | 2,626 |
| 10 | 2,228 | | 3,169 | 30 | 2,042 | 2,750 | ∞ | 1,960 | 2,576 |
| 11 | 2,201 | | 3,106 | 35 | 2,030 | 2,724 |  |  |  |

**6. Содержание отчета**

6.1.Цель работы.

6.2. Краткая характеристика образцов для измерений твердости и микротвердости, устройства и принципа работы твердомеров.

6.3. Анализ результатов практического определения твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу, микротвердости заданных образцов сталей и сплавов с использованием таблицы 3.

6.4. Заполнить таблицы результатов экспериментов.

6.5. Сделать выводы на основании полученных результатов.

**7. Контрольные вопросы**

7.1. Что характеризует твердость металлов?

7.2. Можно ли сравнить между собой величины твердости по Бринеллю, измеренные с помощью шариков различного (допускаемого ГОСТом) размера ?

7.3. Почему метод Бринелля не используется при твердости выше 450?

7.4. Почему для измерения твердости по Бринеллю стараются выбирать максимальные из допускаемых ГОСТом диаметр шарика и нагрузку?

7.5. Почему число твердости HV не зависит от нагрузки?

7.6. Почему ниже НV 450 твердости по Бринеллю и Виккерсу одинаковы?

7.7. Можно ли измерить твердость по Виккерсу на криволинейной поверхности? По Роквеллу? По Бринеллю?

7.8. Для чего в приборах Роквелла двухступенчатое приложение нагрузки?

7.9. Чем различаются шкалы твердости по Роквеллу?

7.10. Из каких соображений выбирают индентор и величину нагрузки при измерении твердости по Роквеллу?

7.11. Какова размерность числа твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу?

7.12. В чем преимущества метода:

а) Роквелла перед Бринеллем и Виккерсом?

б) Виккерса перед Бринеллем и Роквеллом?

в) Бринелля перед Роквеллом и Виккерсом?

7.13. Для чего нужна параллельность рабочей и опорной поверхности детали?

7.14. Чем отличаются измерения микротвердости от измерений твердости по Виккерсу? При каких условиях возможно соответствие твердости по Виккерсу и микротвердости?

**Рекомендуемый библиографический список**

1. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. М.: Машиностроение. 1990.- 255 с.

2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия. 1989.- 455 с.

3. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. в 3-х т. Т. 1. Методы испытаний и исследований / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия. 1983.- 120 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

**ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**НА УДАРНЫЙ ИЗГИБ**

Цель работы - изучение устройства и принципа работы маятникового копра. Овладение основными приемами выбора условий испытаний на ударный изгиб и практическими навыками определения ударной вязкости и порога хладноломкости металлов и сплавов.

**Введение**

Испытания металлов и сплавов, из которых изготовлены механизмы и оборудование, проводимые под действием равномерно возрастающих статических нагрузок, не дают объективных данных для оценки надежности устройств в целом. Важное значение имеет определение механических характеристик в условиях, близких к реальным, когда под действием определенных факторов металлы и сплавы переходят в хрупкое состояние (действие концентраторов напряжения, увеличение скорости деформации, понижение температуры и др.). Малое сопротивление металлов и сплавов быстродействующим динамическим (ударным) нагрузкам опасно для работы оборудования и механизмов. В связи с этим во многих технических условиях на изготовление различных изделий предусмотрены динамические испытания материалов - испытания на ударный изгиб (определение ударной вязкости).

Метод испытания на ударный изгиб при пониженной (до -100оС), комнатной (до 20оС) и повышенной (до +100оС) температурах регламентирован ГОСТ 9454-78.

Метод основан на разрушении образца одним ударом маятникового копра. Образец имеет надрез, расположенный в зоне максимальных нормальных напряжений σ1 и σ2 (рис.1).

Под ударной вязкостью понимают работу удара, отнесенную к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза). Ударное нагружение и надрез в образце являются условиями, которые вызывают изменение свойств материалов по сравнению с их свойствами при статических испытаниях гладких образцов. Ударную вязкость определяют для выявления склонности сталей и сплавов к хрупкому разрушению.

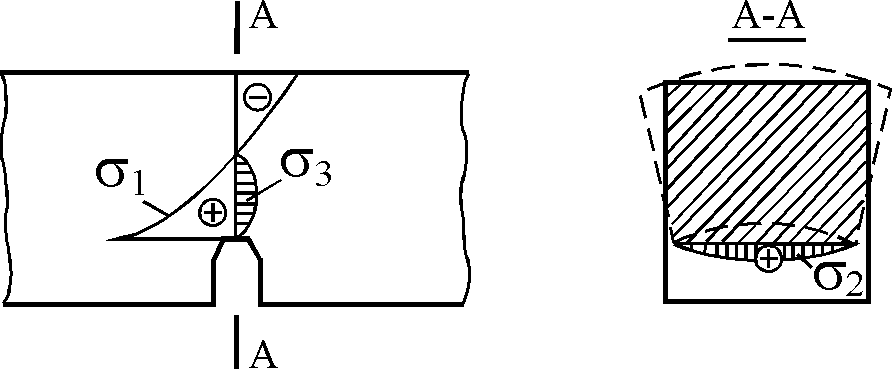


Рис.1. Схема напряжений, возникающих при испытании на ударную вязкость.

Результаты испытаний на ударный изгиб не дают конструктору необходимых сведений для расчетов на прочность. Однако значение ударной вязкости важно для технологов. Структурные изменения в металле или сплаве (рост зерна, выделение дисперсных фаз), наличие тех или иных дефектов структуры или обработки, изменения химического состава при ударных испытаниях в значительно большей степени влияют на ударную вязкость материала, чем при статических испытаниях.

По результатам испытания на ударный изгиб можно установить такие свойства материалов, как хладноломкость, тепловое охрупчивание и др., которые при статических испытаниях не всегда можно обнаружить. Известно, что деформируемые цветные сплавы меди, алюминия и др. нецелесообразно подвергать испытаниям на ударный изгиб, так как они при любых температурах не обнаруживают перехода в хрупкое состояние и не разрушаются. Нет необходимости в проведении ударных испытаний литых сплавов (чугун, литые алюминиевые и магниевые сплавы), которые разрушаются хрупко уже при статических испытаниях на растяжение.

**1. Образцы и оборудование для испытания на ударную вязкость**

Значение ударной вязкости существенно зависит от формы и размеров образцов. Следует применять образцы, рекомендованные ГОСТ 9454-78, и только в тех случаях, когда размеры изделия не позволяют вырезать стандартный образец, допускается испытывать образцы с уменьшенным сечением. Результаты испытаний образцов с уменьшенным сечением можно сравнивать только с результатами испытаний образцов таких же размеров.

Ударным испытаниям подвергают образцы сечением 10х10 мм с концентратором напряжений следующих видов: U-образный, V-образный и Т-образный с усталостной трещиной (рис.2). Соответственно этому удельная работа деформации и разрушения обозначается KCU, KCV и KCT.

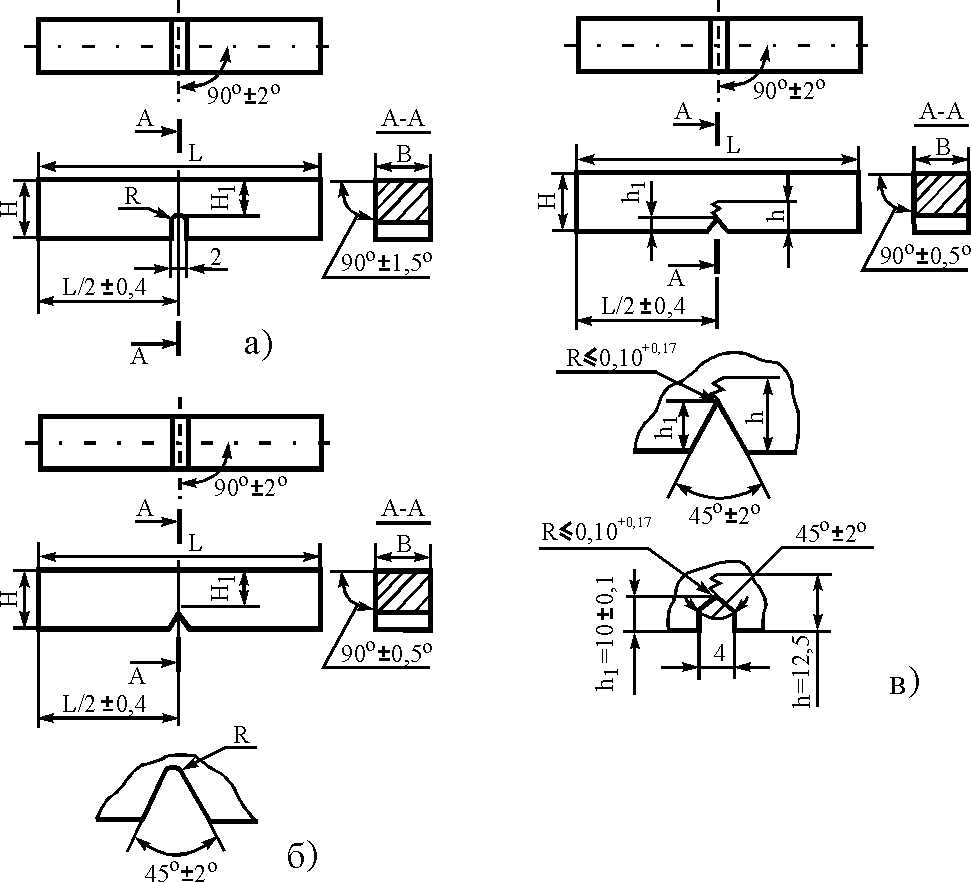


Рис.2. Образцы для испытаний на ударную вязкость с концентраторами видов U (а), V (б) и Т (в)

Для испытания образец устанавливают на опоры маятникового копра надрезом вниз так, чтобы удар маятника пришелся по стороне образца, противоположной надрезу. Определение ударной вязкости осуществляется на маятниковом копре с переменным запасом энергии МК-30А, либо другого типа. Принципиальное устройство копра показано на рис.3.

Маятниковый копер состоит из станины, маятника с осью, опор, шкалы и приспособления для центрирования образца. Станина состоит из основания 13 и двух стоек 11. Сверху на стойках 11 укреплено расцепляющее (отсоединяющее) приспособление 6 для маятника 9. Приспособление состоит из рукоятки 7 и защелки 8, удерживающей маятник во взведенном состоянии.

|  |
| --- |
| metoda25  Рис. 3. Маятниковый копер |

На левой передней стойке 11 станины закреплена шкала 4, по которой определяют работу удара и угол подъема маятника от 0 до 160о. Ось 10 маятника установлена в шарикоподшипниках с повышенной точностью размеров и хода. На выступающем слева из подшипника конце оси 10 укреплен захват 3, фиксирующий стрелку 2 в момент удара ножа маятника 9 по установленному образцу 12. Для установки образцов у копра имеются две стальные закаленные опоры. Отпуская установочные болты гаечным ключом, и передвигая эти опоры, можно настроить пролет на требуемое расстояние в пределах от 40 до 160 мм, в зависимости от размеров образца. Работа деформации и разрушения образца отсчитывается по шкале, градуированной в килограммометрах, при помощи специального измерительного приспособления.

**2**. **Испытания на ударный изгиб.**

После установки образца на опоры маятникового копра поднимают маятник на заданный угол, закрывают копер ограждением и, проверив правильность положения указателя измерительного устройства, освобождают маятник, который при падении разрушает образец. Остановив маятник с помощью тормоза копра, снимают показания измерительного устройства - работу разрушения. Затем указатель измерительного устройства возвращают в нулевое положение. Убирают половинки разрушенного образца из зоны копра. Если образец не разрушился, испытания считают недействительными. Для обработки результатов испытаний заполняют таблицу испытаний. В ней указывают маркировку образца, его тип и размеры, площадь поперечного сечения в месте надреза, работу удара и значение ударной вязкости, вычисленное по формуле:

КС= А/ S,

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| где | А | -работа деформации и разрушения, Дж; |
|  | S | - площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м2, вычисляемая по формуле S=Н В, |
| где | Н | - высота рабочей части образца, м; |
|  | В | - ширина образца, м. |

**3. Определение порога хладноломкости**

Поскольку многие детали машин и конструкций работают в условиях значительных колебаний температуры (на открытом воздухе, в криогенной технике, в космосе), знание температурной зависимости вязкости (работы разрушения) сплавов имеет первостепенное значение для прогноза внезапных хрупких разрушений.

При любой схеме испытаний в подавляющем большинстве сталей с понижением температуры повышается модуль упругости, предел прочности и текучести, понижается относительное удлинение и относительное сужение. Если снижение пластичности значительное, то падает и вязкость. Снижение работы разрушения при охлаждении присуще в той или иной мере всем металлам и сплавам с решеткой ОЦК, в том числе сталям, и называется хладноломкостью.

Хладноломкость очень опасна для деталей машин и конструкций тем, что при достаточно низких температурах разрушение может быть внезапным, вообще без заметной пластической деформации. Критерием хладноломкости является температура или интервал температур, в котором происходит переход от вязкого к хрупкому разрушению, именуемые, соответственно, порогом или интервалом хладноломкости.

Для их определения исследуемая закаленная углеродистая сталь подвергается испытанию на ударную вязкость в заданном интервале температур через 50°. Получают массив измерений не менее 5 на каждую точку и статистически его обрабатывают: определяют среднее значение измеряемой величины, среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал с использованием критерия Стьюдента при уровне доверительной вероятности 0,95. Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 9454-60 - при комнатной температуре, ГОСТ 9455-60 - при пониженных температурах и ГОСТ 9456-60 - при повышенных температурах. Зависимость работы разрушения А или ударной вязкости aН (КС) от температуры испытания для многих конструкционных сталей имеет вид, представленный на рис.4; ниже температуры t1 ударная вязкость резко снижается.

|  |
| --- |
| metoda31  Рис.4. Сериальные кривые: В- количество волокна в изломе; tВ- верхний порог хладноломкости; tН- нижний порог хладноломкости; t50- условный порог хладноломкости (50% волокна в изломе); 1- вязкий излом, 2- смешанный излом, 3- хрупкий излом |

При температуре t2 ударная вязкость достигает минимального значения и дальше практически не меняется. Температуры tН и tВ называются соответственно верхним и нижним порогом хладноломкости, а интервал температур tН-tВ - интервалом перехода металла из вязкого в хрупкое состояние. Иногда определяют только один ("средний") порог как температуру, где ударная вязкость aН (КС) составляет половину от максимальной или (при большом рассеянии aН) половина образцов разрушилась вязко, а половина - хрупко.

Для вязкого разрушения выше порога хладноломкости характерен "волокнистый" излом, для хрупкого (ниже порога хладноломкости) - "кристаллический".

Хрупкое разрушение идет по определенным кристаллографическим плоскостям в зерне либо по границам зерна - в любом случае получаются плоские гладкие фасетки размером 10-100 мкм, дающие зеркальный блеск.

Bязкий излом получается последовательным разрывом отдельных вязко тянущихся перемычек между многими микротрещинами, зародившимися на неметаллических включениях.

|  |
| --- |
| metoda12 Рис.5. Схема измерения площади хрупкого разру-шения в изломе образца |

Расстояние между ними около 1 мкм, поверхности перемычек не плоские, поэтому вид излома - "волокнистый", не блестящий. Внутри температурного интервала хладноломкости - излом смешанный. Чтобы определить порог хладноломкости по виду излома, нужно оценить долю вязкой составляющей, измеряя участок хрупкого разрушения (определяя его площадь, как а**⋅**b (рис.5)) или сравнивая со схематической шкалой изломов.

Критическая температура хрупкости отвечает появлению в изломе образцов при серийных испытаниях (испытаниях большого числа образцов при последовательно снижающейся температуре испытаний) 50% вязкой составляющей (см. рис.4).

**4. Методика выполнения работы**

4.1. Уясните цель работы.

4.2. Изучите устройство маятникового копра.

4.3. Возьмите один из образцов закаленной углеродистой стали, изготовленный согласно чертежу рис.2.

4.4. Измерьте штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм размеры b и h рабочего сечения образца. Результаты занесите в таблицу. Установите образец на опоры маятникового копра.

4.5. Установите образец на опоры маятникового копра.

4.6. Приведите маятниковый копер в рабочее состояние согласно инструкции по эксплуатации, поднимите маятник копра на заданный угол, освободите маятник, который при падении разрушит образец.

4.7. Снимите показания измерительного устройства копра - работу разрушения А, внесите результат в таблицу.

4.8. Подсчитайте площадь сечения образца и значение ударной вязкости, используя рекомендации п.2, с округлением до 0,1 Дж/м2. Результаты занесите в таблицу.

4.9. Измерьте штангенциркулем площадь участка хрупкого разрушения в изломе образца согласно схеме рис.5 и подсчитайте с точностью до 10% долю вязкого излома. Для этого площадь вязкой части излома разделите на общую площадь излома . Результаты занесите в таблицу.

4.10. Повторите п.п.4.5-4.9 для образцов закаленной углеродистой стали, предварительно нагретых в кипящей воде до температуры 100оС, а также охлажденных в таящем льде до температуры 0оС и в смеси твердой углекислоты (или жидкого азота) с этиловым спиртом или другой незамерзающей жидкостью до температуры -50оС.

4.11. По результатам определения ударной вязкости, занесенным в таблицу, постройте сериальную кривую аналогично рис.4. На основании результатов определения доли вязкого излома определите верхний, нижний и условный порог хладноломкости стали.

Результаты испытаний образцов закаленной углеродистой

стали на ударный изгиб и определения хладноломкости стали

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Марка стали  или сплава | Начальная высота рабочей части образца, м | Начальная ширина образца, м | Начальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м2 | Работа деформации разрушения, Дж | Ударная вязкость, Дж/м2 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |

**5. Содержание отчета**

5.1. Цель работы.

5.2. Краткое описание образцов для проведения испытаний на ударный изгиб.

5.3. Краткая характеристика устройства и принципа работы маятникового копра.

5.4. Описание методик определения ударной вязкости и порога хладноломкости сталей и сплавов.

5.5. Анализ результатов испытаний образцов стали на ударную вязкость и определения порога хладноломкости с использованием данных таблицы.

5.6. Вывод на основании полученных результатов.

**6. Техника безопасности при работе с маятниковым копром**

При проведении испытаний на маятниковом копре необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

6.1. Копер должен быть надежно огражден во избежание несчастных случаев от удара маятника или от разлетающихся с большой скоростью обломков образца.

6.2. Установка образца на опорные плоскости производится при опущенном маятнике.

6.3. Поднятый маятник должен быть захвачен храповиком на всю глубину зуба.

6.4. Спущенный маятник после разрушения образца нельзя останавливать руками. Необходимо пользоваться тормозом.

**7. Контрольные вопросы**

7.1. Каковы основные задачи испытаний сталей и сплавов на ударный изгиб?

7.2. Как выбираются образцы для испытаний на ударный изгиб?

7.3. Охарактеризуйте устройство и принцип работы маятникового копра.

7.4. Как практически определяется ударная вязкость сталей и сплавов?

7.5. Как определяется порог хладноломкости материалов и что он характеризует?

**Рекомендуемый библиографический список**

1. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. М.: Машиностроение. 1990.- 255 с.

2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия. 1989.- 455 с.

3. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. в 3-х т. Т.1. Методы испытаний и исследований / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия. 1983.- 120 с.

.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

**ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ.**

**АНАЛИЗ ДИАГРАММ ДЕФОРМАЦИИ**

Цель работы: Получение диаграмм деформации, их анализ, определение механических характеристик материалов

**1. Испытание на растяжение**

Испытание на растяжение - самый распространенный вид испытаний, потому что он дает хорошо воспроизводящиеся характеристики, имеющие четкий физический смысл. Однородное одноосное напряженное состояние на начальных стадиях испытания позволяет прямо сравнивать достигнутые напряжения с расчетными напряжениями в конструкциях.

Для всех испытаний на растяжение с заданной постоянной скоростью методика регламентирована государственными стандартами. ГОСТ 1497-84 “Металлы. Методы испытания на растяжение" регламентирует все испытания при комнатной температуре (15-30ОС), кроме испытания листа и ленты толще 0,5 мм, а также проволоки. ГОСТ 11150-65 "Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах" и ГОСТ 9651-61 "Металлы. Методы испытания на растяжение при повышенных температурах” переносят те же требования на испытания при Т=-100ОС и -196ОС и при нагреве до 1200ОС.

Испытания на растяжение заключаются в закреплении цилиндрических или плоских образцов в захватах испытательной машины и растягивании их под действием постепенно возрастающей нагрузки. Обычно испытания на растяжение проводят в статическом режиме, когда в любой момент испытания соблюдается равенство сил, приложенных к образцу и силоизмерительному устройству испытательной машины. Испытание на растяжение является наиболее универсальным по сравнению с другими видами испытаний, так как оно позволяет определять механические свойства материала на всех стадиях его деформации (от упругой деформации до разрушения).

Разрывная машина оснащена специальным регистрирующим прибором, автоматически вычерчивающим диаграмму растяжения.

Машинная диаграмма растяжения образца "нагрузка Р - удлинение образца Δ*l*” (рис.1, а) нормировкой σ= Р/F0, ε=Δ*l/l*0 переводится в диаграмму деформации материала σ(ε) (рис.1, б). Здесь *l*0 - начальная расчетная длина, а номинальные напряжения σ вычисляются всегда по начальной площади сечения образца F0.

|  |  |
| --- | --- |
| metoda3 | metoda4 |
| а | б |

Рис.1. а- машинная (первичная) диаграмма растяжения образца; б- диаграмма деформации материала

Условно диаграмму растяжения можно разделить на два участка: соответствующий упругой деформации, когда соблюдается закон Гука, и участок, где образец после снятия нагрузки имеет остаточную деформацию. Условное напряжение, отвечающее началу отклонения от пропорциональной зависимости между деформацией и напряжением, называется пределом пропорциональности σПЦ (рис.2, б).

Повышение нагрузки приводит к остаточному удлинению образца (пластической деформации). Пластичные материалы имеют на диаграмме растяжения площадку или «зуб» текучести (рис. 2 а), по которым и определяют напряжение, называемое пределом текучести σТ. В случае, если такая площадка на диаграмме отсутствует, пользуются условным пределом текучести σ0,2, при котором образец получает остаточное удлинение δ= 0,2 % первоначальной длины (рис.2, б).

|  |  |
| --- | --- |
| metoda5 | metoda5_2 |
| а | б |

Рис. 2. а- определение σт по диаграмме деформации; б- определение σ0,2 по диаграмме деформации

Напряжение, соответствующее нагрузке, которую выдержал образец до разрушения, называется пределом прочности на разрыв или временным сопротивлением (пределом прочности) σВ при растяжении (рис.1, б).

Основные прочностные характеристики материала по ГОСТ (рис.1, рис.2): условный предел текучести σ0,2, где достигается остаточная деформация в 0,2%; физический предал текучести σТ -напряжение в минимуме диаграммы σ(ε), если он существует, временное сопротивление разрыву ("условный предел прочности") σВ=РВ/F0 (номинальное напряжение при максимальной нагрузке РВ). Предел текучести σ0,2 определяется по схеме рис.2, б из диаграммы растяжения, если масштаб записи удлинения не хуже, чем 50:1 (ГОСТ допускает также 10:1). Характеристика пластичности - относительное удлинение после разрыва  и относительное сужение после разрыва  определяются по конечной длине *l*К , диаметру dК или площади сечения FК после разрушения.

Испытания на растяжение проводят на стандартных образцах с соблюдением соответствующих методик по проведению испытаний.

Следует иметь в виду, что из-за неоднородности состава, истинных режимов термообработки, состояния поверхностного слоя и геометрии образцов суммарная случайная ошибка характеристик прочности и пластичности всегда много выше ошибки измерительных средств. Поэтому во всех случаях надлежит испытывать несколько одинаковых образцов "на точку", то есть получить массив измерений не менее 5, и статистически его обработать (с помощью микрокалькулятора), определив среднее значение измеряемой величины, среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал с использованием критерия Стьюдента при уровне доверительной вероятности 0,95.

Диаграмма растяжения содержит гораздо больше информации о свойствах материала, чем определяется по ГОСTy. Кроме условного предела текучести σ0,2 полезно знать верхний и нижний пределы текучести σт верх. и σт ниж. (рис.1, б) и их разность (σт верх.-σт ниж.) - высоту зуба текучести, связанную с силой блокировки дислокаций примесями. Длина площадки текучести εЛ ("деформация Людерса") характеризует величину лавинной деформации при размножении свежих (не блокированных) дислокаций; она тем больше, чем сильнее были закреплены дислокации ниже площадки текучести.

Размеры и типы образцов установлены ГОСТ 1497-84, а правила отбора образцов установлены ГОСТ 7564-73. Испытания на растяжение проводят на стальных образцах с гладкими зажимными головками (плоскими или цилиндрическими), используя клиновые зажимные приспособления (рис.3).

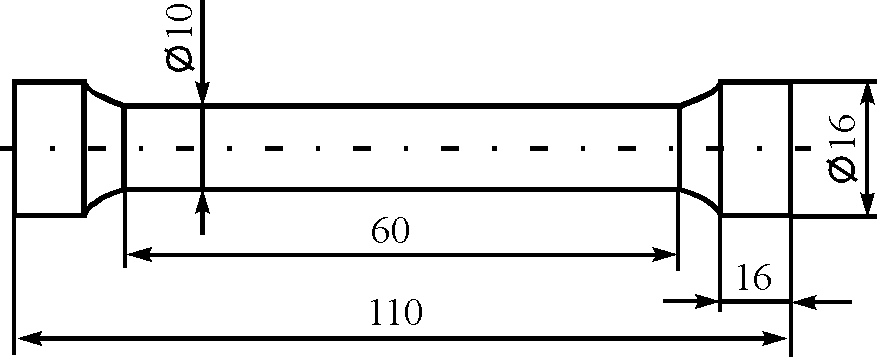


Рис.3. Чертеж образца для испытания на растяжение

На внутренней стороне захватов приспособления имеется насечка, которая прочно удерживает головку образца при приложении к нему нагрузки.

Испытание образцов на растяжение осуществляют на серийно выпускаемых испытательных машинах типа 2054 Р-5, либо ИМ-4А (требует образцов другой геометрии).

Подготовка машины к испытанию состоит в следующем:

1. установить захваты или выбрать приспособление для крепления образцов;
2. установить шкалу силоизмерителя;
3. подготовить записывающий прибор (диаграммный аппарат);
4. определить масштаб записи диаграммы;
5. заправить ленту и перо (подготовить самописец диаграммы);
6. убрать с машины посторонние предметы;
7. включить двигатель машины и опробовать ее без нагрузки для проверки влияния перемещения подвижных частей машины на чувствительность силоизмерительного устройства, стрелку которого необходимо установить на нуль шкалы, а также проверить действие тормозного устройства силоизмерителя;
8. установить рабочий стол (траверсу) машины в положение, необходимое для фиксации испытательного образца;
9. при включенной машине установить образец, соосно закрепив головки (захваты для крепления образца).

**3. Методика проведения испытаний на растяжение**

3.1. На рабочей части образца низкоуглеродистой стали (см. рис.3) нанесите керном две отметки на расстоянии по 10 мм от их головок. Измерьте расстояние между ними (расчетная длина *l*о) штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм. Занесите результаты в таблицу.

Результаты определения свойств стали

при испытаниях на растяжение и сжатие

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид  испы-тания | Размеры рабочей части  образца | | | | | | Механические свойства  стали | | | | |
| до испытания | | | после  испытания | | | σПЦ,  МПа | σ0,2,  Мпа | σВ,  МПа | δ,  % | ψ,  % |
| dо,  мм | Fо,  мм2 | lо,  мм | dк,  мм | Fк,  мм2 | lк, мм |
| Растяжение |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3.2. Измерьте микрометром со сферическими наконечниками или индикаторным приспособлением сечения образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью не ниже 0,01 мм. Заполните соответствующую графу таблицы.

3.3. Приведите испытательную машину 2054 Р-5 в рабочее состояние согласно инструкции и п.1, установите захваты, соответствующие форме образца.

3.4. Установите образец в захваты и дайте предварительное нагружение для устранения зазоров и люфтов.

3.5. Включите установку, приведите в исходное положение силоизмерительный, тензометрический блоки, а также самописец диаграммы. Установите величину скорости нагружения до заданного (выбранного) значения нагрузки на образец, рекомендуемые инструкцией по эксплуатации и ГОСТ 1497-84.

3.6. Произведите испытания на растяжение до разрушения образца. Выключите установку, записав максимальную нагрузку. Снимите образец и диаграмму растяжения с регистрирующего самописца.

3.7. Измерьте размеры правильно составленных половинок разрушенного образца после испытаний и занесите результаты в таблицу.

3.8. Используя рекомендации п.1, по графическому анализу диаграммы растяжения найдите нагрузки, соответствующие пределу пропорциональности, пределу текучести и пределу прочности.

3.9. Рассчитайте напряжения, соответствующие этим нагрузкам, путем их деления на площадь поперечного сечения образца до испытаний и внесите полученные значения в таблицу.

3.10. Исходя их значений длины и поперечного сечения образца до и после испытаний, рассчитайте значения относительного удлинения и относительного сжатия, внесите их в таблицу.

**5. Порядок оформления отчета**

5.1. Указать цель работы.

5.2. Получить диаграммы растяжения заданных стальных образцов.

5.3. Проанализировать полученные диаграммы деформации и определить основные прочностные характеристики сталей.

5.4. Заполнить таблицу результатов экспериментов.

5.5. Сделать заключение и выводы по проделанной работе.

**6. Вопросы техники безопасности**

При проведении испытаний на разрывной машине необходимо соблюдать правила техники безопасности.

6.1. Проверить состояние электропроводки и заземления.

6.2. При работе на машине с помощью ручного привода рубильник на щитке должен быть включен.

6.3. При испытании разрывного образца в гнездах верхней и нижней головки машины должны быть вставлены пружины, предохраняющие вылет разорванного образца.

6.4. Испытание на сжатие должно производиться в специальном контейнере.

6.5. Окна контейнера должны быть направлены в противоположную сторону от работающих.

6.6. При работе на машине с электроприводом рукоятка ручного привода должна быть снята.

**7. Контрольные вопросы**

7.1. В чем достоинства испытаний материалов на растяжение?

7.2. Какова последовательность работы на разрывной машине 2054 H-5?

7.3. Проведите анализ типовых диаграмм растяжения сталей.

7.4. Какие характеристики диаграмм растяжения предусмотрены ГОСТ?

7.5. Какие нестандартные параметры можно определить из диаграммы деформации?

7.6. Чем различаются условный и физический предел текучести?

7.7. От чего зависят ошибки определения прочностных характеристик?

**Рекомендуемый библиографический список**

1. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. М.: Машиностроение. 1990.- 255 с.

2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия. 1989.- 455 с.

3. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. в 3-х т. Т. 1. Методы испытаний и исследований / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия. 1983.- 120 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СТАЛИ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ**

**Цель работы:** методом гидростатического взвешивания определить плотность стали 45, после различных режимов термической обработки.

Плотностью материала *d* называется масса его единицы объема. Зная массу *т* и объем *V* материала, можно вычислить плотность по формуле:

 . (1)

Удельный объем *Vу* материала характеризует объем единицы его массы и является величиной, обратной плотности:

 . (2)

Из формулы (I) следует, что определение плотности материала сводится к определению массы и объема испытуемого образца. Масса измеряется при помощи аналитических весов ВЛА-200М. Что касается определения объема, то его можно производить двумя методами: пикнометрическим и гидростатическим.

Для исследовательских целей чаще используют гидростатический метод. Он основан на законе Архимеда. Испытуемый образец дважды взвешивается на аналитических весах: на воздухе и после погружения в жидкость, хорошо смачивающую поверхность образца (дистиллированная вода, спирт и т.д.). Если масса образца на воздухе *Р,* а в жидкости *Q,* то *P-Q* равняется массе вытесненной жидкости. Зная плотность этой жидкости *,* можно вычислить ее объем, вытесненный образцом, или, другими словами, объем образца:

* ,* (3)

а также его плотность:

 (4)

или с учетом поправки на плотность воздуха λ:

. (5)

Образец обычно подвешивают на волоске или тонкой нити малого диаметра. Массу волоска или нити измеряют и учитывают при вычислении плотности.

С плотностью тесно связано понятие молярного объема – объема моля вещества:

, (6)

где *М* -молярная масса.

Под атомным объемом понимают объем, приходящийся на один атом вещества, который связан с молярным объёмом формулой:

 , (7)

где *NА*=6,022 , 1023 моль-1 - число Авогадро.

# **Влияние различных режимов термической обработки на удельный объём стали.**

Установлено, что максимальным удельным объёмом обладает мартенсит закалки, а с повышением температуры отпуска, по мере приближения фазового состава и структуры стали к равновесному состоянию, этот показатель снижается. Однако уменьшение удельного объёма стали при отпуске не носит монотонный характер. Например, распад остаточного аустенита, всегда присутствующего в том или ином количестве в структуре стали после закалки, сопровождается увеличением удельного объёма. Регистрируя объёмные изменения закалённой стали в процессе отпуска, получают информацию о протекании в ней фазовых и структурных превращений. На этом физическом явлении основан один из широко распространённых методов исследования в металловедении - дилатометрический анализ.

С помощью дилатометрического анализа при отпуске углеродистой закаленной стали выявлены четыре темпера­турных интервала изменения длины закалённого образца: уменьшение при 80-200°С, увеличение при 200-300°С и последующие уменьшения длины сначала в температурном интервале 300-400°С, а затем при 400-650°С (рис. 1).

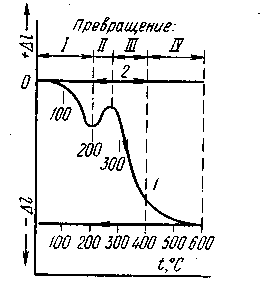


Рис. 1. Дилатометрическая кривая отпуска стали

Соответствующие превращения принято называть первым, вторым, третьим и четвёртым превращениями при отпуске. Следует отметить, что реальные температурные интервалы протекания этих превращений в значительной степени перекрываются, однако наиболее интенсивно они протекают при указанных выше температурах.

После закалки структура стали состоит из мартенсита и небольшого количества остаточного (не превращённого) аустенита. Мартенсит обладает максимальным удельным объёмом.

Первое превращение связано с распадом мартенсита, которое в интервале температур 80—200°С не вызывает видимых в металлографический микроскоп изменений в структуре. При этом уменьшается степень тетрагональности кри­сталлической решетки мартенсита вследствие выделения из нее углерода в виде промежуточного -карбида. Кристаллическая ре­шетка -карбида когерентно связана с решеткой мартенсита. Уменьшение степени тетрагональности мартенсита сопровождается уменьшением удельного объёма стали и укорочением образца. Сталь после такого отпуска имеет структуру мартенсита отпуска.

При температурах 200-300°С в закалённой углеродистой стали распадается остаточный аустенит. Он превращается в структуру, очень напоминающую мартенсит отпуска, а поскольку аустенит имеет меньший удельный объём чем мартенсит, то это превращение сопровождается увеличением удельного объёма стали и, следовательно, удлинением образца.

При температурах 300-400°С усиливаются диффузионные процессы,  -карбид превращается в карбид железа (цементит), который обосабливается от решетки мартенсита в виде высокодисперсных зёрен. Протекает так называемое карбидное превращение, снимаются напряжения, которые были обусловлены упругой когерентной связью решёток мартенсита и промежуточного -карбида и всё это происходит на фоне дальнейшего обеднения мартенсита углеродом. Все перечисленные явления сопровождаются уменьшением удельного объёма стали и укорочением образца. Структура стали после среднего отпуска состоит из слегка пересыщенного углеродом α–железа (мартенсита) и дисперсных частиц карбида зернистой формы и её называют трооститом отпуска.

В интервале темпе­ратур 500—650°С (высокий отпуск) наблюдается окончательный выход углерода из решётки железа, при температурах близких к *Ас1* достигается его равновесная концентрация и параллельно протекает сфероидизация и укрупнение (коалесценция) частиц цемен­тита. Перечисленные процессы также сопровождаются уменьшением удельного объёма и укорочением образца закалённой стали. Микроструктура стали после высокого отпуска состоит из ферритной матрицы с вкраплением цементитных зёрен более грубодисперсных, чем в троостите отпуска и носит название сорбита отпуска.

Нормализацией называют: нагрев стали до аустенитного состояния с последующим охлажде­нием на воздухе. При нормализации происходит пере­кристаллизация стали. В результате охлаждения на воздухе происходит диффузионный распад аусте­нита с образованием феррито-цементитной смеси.

Отжигом называют: нагрев стали до аустенитного состояния с последующим медленным охлаждением (обычно вме­сте с печью). При отжиге, также, как и при нормализации, происходит диффузионный распад аустенита на феррито-цементитную смесь, но при более медленном охлажде­нии, поэтому структура стали приближается к фазовому равновесию.

В данной работе исследуется плотность шести образцов из качественной конструкционной стали 45 после различных видов и режимов термической обработки: закалки; закалки с низким, средним и высоким отпуском; нормализации и отжига. Нагрев образцов осуществлялся в лабораторной электропечи типа СНОЛ 1,6. Режимы нагрева были выбраны стандартными для данной марки стали.

# Порядок выполнения работы.

1. Следуя нижеприведенной инструкции, провести проверку и настройку аналитических весов.
2. В заарретированном положении весов, на прикреплённую к их левой чаше нить, подвесить испытуемый образец.
3. Открыть правую створку весов, с помощью пинцета поместить на правую чашу необходимый груз в виде разновесов. Закрыть створку. Также необходимую массу груза (до грамма) можно вывесить с помощью двух лимбов (малого и большого). Малый лимб вывешивает десятки миллиграммов, большой сотни.
4. Разарретировать весы. Следя за показаниями светового индикатора, вычислить массу образца. При необходимости (если световой указатель выходит за крайнее деление шкалы) повторить пункты b) и c).
5. По окончании лабораторной работы необходимо: заарретировать весы, удалить пинцетом разновесы, установить лимбы на ноль.

**При работе с весами ВЛА – 200М запрещается:**

* подвешивать образец, устанавливать или снимать разновесы в разарретированном положении весов;
* во время и после работы, оставлять открытыми створки весов;
* помещать и удалять разновесы руками.

2. Взвесить образец на воздухе *(тi).*

3. Установить под левой чашей весов подставку и установить на нее емкость с дистиллированной водой.

4. Погрузить подвешенный образец в воду и, убедившись в отсутствии на образце пузырьков воздуха, произвести взвешивание *(т’i)*.

5. Вычислить массу воды, вытесненной образцом *(тж)*:

*тi*  - масса образца на воздухе;

*т’ i -*масса образца в воде;

*тi – т’i =тж -* масса воды, вытесненной образцом.

6. Вычислить объём образца, равный объёму вытесненной жидкости.

*Vобразца = ,* (8)

где  - плотность воды.

7. Вычислить плотность образца:

. (9)

8. Полученные результаты определения плотности всех шести образцов стали занести в таблицу. Образцы (помечены рисками) имеют следующую маркировку: закалка - одна риска; закалка +отпуск 200°С – две риски; закалка + отпуск 400°С – три риски; закалка + отпуск 600°С – четыре риски; нормализация – пять рисок; отжиг - шесть рисок.

9. По результатам эксперимента построить график зависимости плотности стали от режима термической обработки (закалка, закалка с низким (200°С), средним (400°С) и высоким (600°С) отпуском, нормализация и отжиг).

10. Сделать выводы и дать объяснение влияния режима термической обработки на плотность (удельный объём) качественной конструкционной стали с содержанием углерода 0,45% (по массе).

# Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, краткое описание теории, расчетные формулы, таблицу с результатами, график, выводы и объяснения по экспериментальной части.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРА- И ДИАМАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Цель работы**: определить магнитную восприимчивость алюминия, эбонита, стекла и сплава Вуда (Bi – 50%, Pb – 25%, Sn – 12,5%, Cd – 12,5%).

Интенсивностью намагничивания *J* называется магнитный момент единицы объема *V:*

 . [А/м]

Между напряженностью внешнего магнитного поля *Н* и интенсивностью намагничивания тела существует зависимость:

,

где *-* магнитная восприимчивость вещества.

Различают магнитную восприимчивость, приходящуюся на единицу объема *( -*безразмерная), удельную (м3/кг) и молярную (м3/моль), связанные между собой следующими соотношениями:

* и *,

где *d -* плотность, *V-* объем, М - молярная масса.

В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости, а также ориентации магнитных моментов атомов вещества подразделяют на пять групп:

1. Диамагнетики

2. Парамагнетики

3. Антиферромагнетики

4. Ферримагнетики

5. Ферромагнетики

**1. Диамагнетики** характеризуются тем, что их магнитная восприимчивость невелика (), отрицательна и не зависит от напряженности магнитного поля. В результате диамагнетики выталкиваются из области с наибольшей напряженностью (рис.1). К диамагнетикам относятся благородные металлы (Аu, Ag), Сu и некоторые соединения.

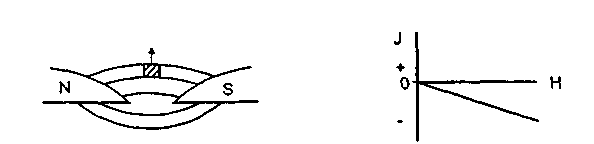


Рис. 1. Влияние магнитного поля на диамагнетики

**2. Парамагнетики** характеризуются небольшой по величине, но положительной магнитной восприимчивостью. При помещении в магнитное поле парамагнетики втягиваются в область с наибольшей напряженностью (рис.2). Магнитная восприимчивость парамагнетиков зависит от температуры и подчиняется закону Кюри-Вейса:

,

где С - константа Кюри,

Q - парамагнитная точка Кюри.

К парамагнетикам относятся щелочные металлы (Na, К) и все переходные, за исключением Fe, Co, Ni.

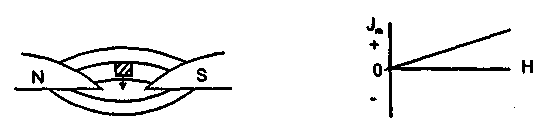


Рис. 2. Влияние магнитного поля на парамагнетики

**3. Антиферромагнетики**, как и парамагнетики, характеризуются невысокими значениями магнитной восприимчивости. Локализованные магнитные моменты атомов расположены строго определенно в пространстве, причем, соседние атомы имеют антипараллельные моменты. Примером антиферромагнетика является Сr при низких температурах и некоторые интерметаллиды.

**4. Ферримагнетики** аналогично антиферромагнетикам характеризуются антипараллельными магнитными моментами, которые, однако, не равны по величине друг другу. Ферримагнетизм проявляется в основном в химических соединениях: Fe3O4 (магнетит).

**5. Ферромагнетики** характеризуются тем, что магнитные моменты их атомов, даже в отсутствие внешнего магнитного поля выстраиваются строго параллельно друг другу и создают собственное внутреннее магнитное поле. Они обладают высокой магнитной восприимчивостью. Необходимым условием возникновения ферромагнетизма является наличие недостроенной d- и f-оболочек электронов. Такое условие выполняется в элементах триады железа (Fe, Ni, Со) и редкоземельных элементах с недостроенной 4g-оболочкой (церий - Се, самарий - Sm и др.). Как было отмечено, в ферромагнетиках магнитные моменты располагаются параллельно друг другу. Однако такое расположение в крупных масштабах термодинамически не выгодно, поскольку приводит к увеличению магнитной энергии тела. Поэтому весь объем ферромагнетика разбивается на небольшие участки - так называемые области спонтанного намагничивания или домены, имеющие определенно направленный магнитный момент. Друг от друга домены отделены слоями (стенками), в которых происходит изменение ориентации магнитных моментов соседних доменов.

# Определение магнитной восприимчивости пара- и диамагнитных материалов.

Методы измерения восприимчивости пара- и диамагнитных материалов могут быть разделены на две группы в зависимости от численных значений магнитной восприимчивости.

Первую группу составляют методы, основанные на измерении напряженности магнитного поля, создаваемого испытуемым образцом под действием внешнего магнитного поля. Это методы Фарадея, Гуи, позволяющие измерять восприимчивость образца порядка 10-8 ед. и более.

Метод Фарадея заключается в измерении силы *F,* действующей на образец малых размеров, помещенный в неоднородное магнитное поле. Сила *F* пропорциональна магнитной восприимчивости образца ** и его объему *V:*

**,

где **- магнитная проницаемость воздуха;

*К* - коэффициент, величина которого зависит от напряженности поля и его градиента в направлении наибольшего изменения напряженности.

При изменении магнитной восприимчивости пара- и диамагнитных материалов методом Гуи, один конец цилиндрического образца помещается в сильное однородное магнитное поле напряженностью *Н*, а другой - также в однородное магнитное поле малой напряженности *Н0*. Сила, действующая на образец, один конец которого находится между полюсами электромагнита в поле напряженностью *Н*, в вертикальном направлении *Z* связана с его магнитной восприимчивостью соотношением:

 ,

где *S* - площадь сечения образца;

*H*- напряженность у второго конца образца.

Эта сила может быть уравновешена с помощью рычажных весов (рис.3):

*Fz=m·g ,*

где *т -* масса гирь.

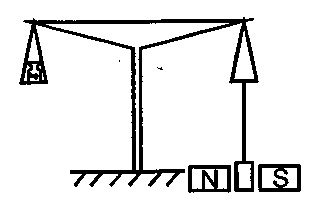


Рис. 3. Принципиальная схема метода Гуи

В зависимости от того, пара- или диамагнитен материал, образец будет втягиваться в поле или выталкиваться из него и соответственно этому изменится знак разности масс гирь в поле и без поля. Тогда, удельная магнитная восприимчивость выразится формулой:

,

где *D –* плотность образца;

S - площадь сечения образца.

Если необходимо внести поправку на восприимчивость воздуха и его плотность, получим:

 ,

где  - магнитная восприимчивость воздуха;

- плотность воздуха.

Образцы должны подвешиваться по оси симметрии электромагнита для того, чтобы на них не действовала сила в горизонтальном направлении при наличии градиента напряженности поля в горизонтальной плоскости.

Чтобы погрешность измерений восприимчивости была минимальной, поле между полюсами должно быть, как можно более однородным. Для этого полюсные наконечники изготавливаются из однородного материала с плоскопараллельными поверхностями в области максимальной напряжённости поля и имеют специальную конфигурацию для создания заданного градиента напряжённости магнитного поля по длине образца.

# Порядок выполнения работы

1. Изучить схему лабораторной установки (рис.4).

2. Убедиться в правильности её сборки.

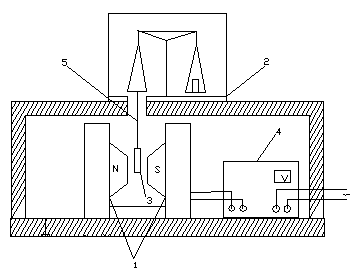


Рис. 4. Схема лабораторной установки для определения магнитной восприимчивости:

1- электромагнит; 2- весы; 3-образец; 4- выпрямитель; 5- нить

З. Следуя нижеприведенной инструкции, провести проверку и настройку аналитических весов.

* 1. В заарретированном положении весов, на нить, прикреплённую к их левой чаше, подвесить испытуемый образец между полюсами электромагнита.
  2. Открыть правую створку весов и с помощью пинцета поместить на правую чашу необходимую массу в виде разновесов. Закрыть створку. Также необходимую массу (до грамма) можно вывесить с помощью двух лимбов (малого и большого). Малый лимб вывешивает десятки миллиграммов, большой - сотни.
  3. Разарретировать весы. Следя за показаниями светового индикатора вычислить массу образца. При необходимости (если световой указатель выходит за крайние деления шкалы) повторить пункты b) и c).
  4. По окончании лабораторной работы: заарретировать весы, удалить пинцетом разновесы, установить лимбы на ноль.

**При работе с весами ВЛА – 200М запрещается:**

* подвешивать образец, устанавливать или снимать разновесы в разарретированном положении весов;
* во время и после работы оставлять открытыми створки весов;
* помещать и удалять разновесы руками.

4. Измерить массу образца в отсутствие магнитного поля ().

5. Включить выпрямитель.

6. Измерить массу образца в поле электромагнита *()* .

7. Рассчитать величину магнитной восприимчивости образца по формуле:

,

где - при выталкивании;

 - при втягивании.

В качестве эталона выбран кварц, имеющий следующие показатели:

*-* магнитная восприимчивость -;

*mЭ* - масса эталона - 1г;

- сила, действующая на эталон гс.

При напряжении источника питания 75В максимальная напряжённость магнитного поля в зазоре электромагнита составляет 0.4Т, а значение первого сомножителя в вышеприведенной расчётной формуле – константа:

** .

1. Определить, к какой группе магнетиков принадлежит каждое из исследуемых веществ (Al, эбонит, стекло и сплав Вуда).
2. Сделать выводы о принадлежности исследованных образцов к соответствующей группе магнетиков.

# Требования к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, краткое описание теории, расчетные формулы, полученные результаты и выводы по экспериментальной части.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФЕРРМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МАГНИТНЫМ МТОДОМ**

**Цель работы:** изучить связь структуры стали, формирующейся в результате различных видов термической обработки, с её магнитными свойствами, путем сравнения кривых намагничивания.

**Процесс намагничивания ферромагнитных материалов в переменных полях**

Из металлов с особыми физическими свойствами широкое применение получили ферромагнетики Fe, Co, Ni, PЗM и их сплавы.

3Ферромагнетики по сравнению с парамагнетиками имеют большую магнитную восприимчивость и могут быть намагничены до насыщения в сравнительно малых полях.

Рис.1 Цилиндрический образец в соленоиде

Рассмотрим поведение ферромагнитного, например, железного цилиндрического образца в магнитном поле. На рис. 1 этот обра­зец помещен в соленоид, по которому течет электрический ток, создавая внутри катушки магнитное поле. При пропускании тока в направлении L1 в соленоиде справа образуется северный полюс N, а слева — южный S (пунктирная стрелка вверху); при этом обра­зец намагничивается в направлении магнитного поля соленоида Н, что показано на рис. 1 сплошной стрел­кой (стрелка 1).

При увеличе­нии силы тока возрастает магнитное по­ле H, а вместе с ним индукция В: сначала круто на участке кривой О*а* (рис. 2), затем полого на участке *a*b'. Линия О*а*b' на рис. 2 называется *первоначальной кривой намагничивания*.

Ход магнитной проницаемости на рис. 2 представлен кривой lmn, из рассмотрения которой следует, что проницаемость сначала воз­растает на участке lm (до точки *а* на кривой намагничивания), затем падает по ветви mn (соответственно намагничиванию *a*b'), приближаясь асимптотически к единице в сильных полях.

Процессы намагничивания характерны своей необратимостью. Так, если при первоначальном намагничивании стержня поле увеличивается с Н' до HS (рис. 2), то индукция образца возрастает от b' до bs. При обратном процессе размагничивания уменьшение поля HS до Н' влечет за собой падение индукции от bs до b, причем b > b'. В этом заключается явление *магнитного гистерезиса*. Участок bss' является безгистерезисным участком кривой намагничивания.

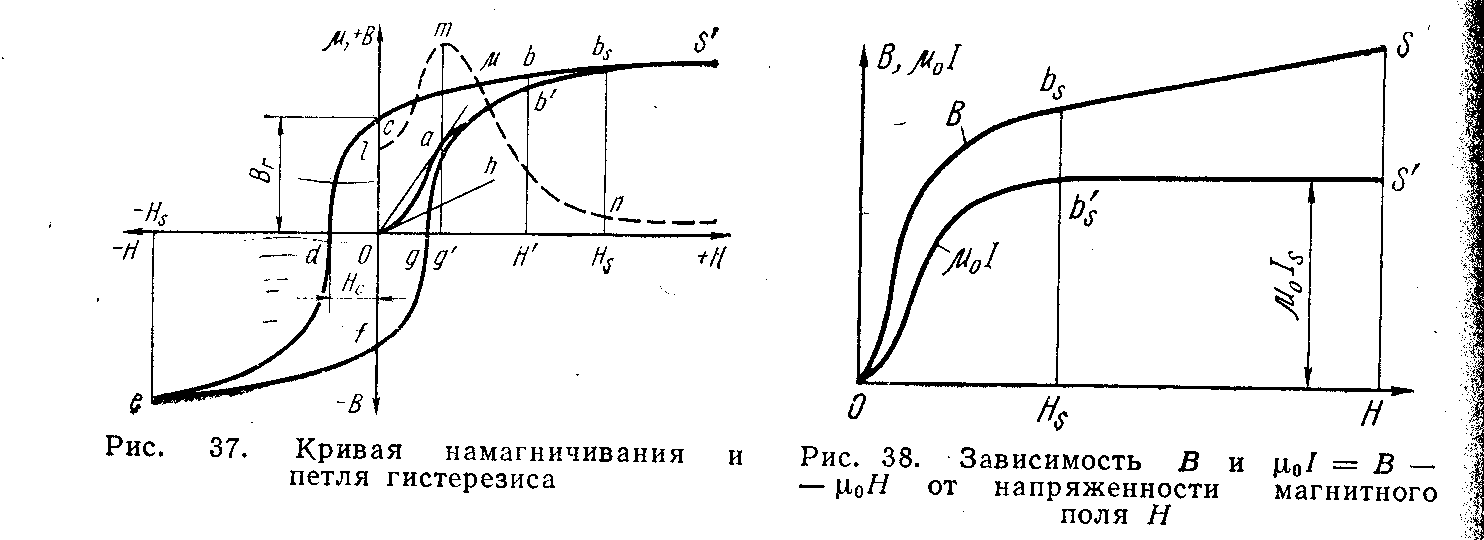


Рис.2 Кривая намагничивания и петля гистерезиса

Если в соленоиде (рис. 1) ток после доведения его до значения, соответствующего HS (рис. 2), уменьшить до нуля, то индукция не вернется к нулю, а сохранит определенное значение Ос, называемое *остаточной индукцией*, или *реманенцем*. Реманенц, обозначаемый Вr, является той полезной величиной, которую стремятся сохранить максимальной в постоянном магните после его намагничивания.

Если после снижения тока L1 в соленоиде до нуля включить его в обратном направлении (L2 на рис. 1), то полюсы соленоида переменят свои места: слева станет N, а справа S. Поле H будет направлено навстречу индукции образца (пунктирная стрелка снизу). Если теперь увеличивать это поле обратного знака (увели­чением тока L2), то оно будет размагничивать образец. На рис. 2 этот процесс соответствует участку cd на кривой размагничивания. При определенной величине тока L2 мы получим поле Od, при кото­ром индукция образца падает до нуля — он будет размагничен. Это поле, обозначаемое НS, называется *коэрцитивной силой*.

Кривая efgbs симметрична и подобна кривой bcde; Od = Og и Of = Ос. При изменении поля от +Hs до - Hs и снова до +Hs индукция изменяется по замкнутой кривой bsсdefgbs, которая называется *петлей гистерезиса*.

Площадь, ограниченная петлей гистерезиса, пропорциональна работе Q (Дж/м3), затрачиваемой на перемагничивание 1 м3 металла за один цикл. Эту работу называют величиной *потерь на гистерезис*.

При перемагничивании железа стараются уменьшить потери на гистерезис и получить наименьшую площадь петли гистерезиса.

Форма кривой намагничивания и петли гистерезиса зависит как от свойств материала, так и от размеров образца.

Ферромагнетизм в любом ферромагнетике ослабевает с повышением температуры (степень спинового или спин-орбитального упорядочения уменьшается) и исчезает при некоторой температуре θс , называемой *точкой Кюри*.

**Связь структуры сталей с их магнитными характеристиками**

Существование закономерной связи между структурой ферромагнитных материалов и их магнитными характеристиками позволило применить магнитный анализ для оценки фазового состава сталей и изучения структурно-фазовых превращений, протекающих в них, при термической обработке.

На рис.3 при­ведено сопоставление магнитных свойств отожженных и закаленных сталей с различной концентрацией углерода.

Падение намагниченности насыщения при увеличении концен­трации углерода в отожженной стали объясняется тем, что появ­ляется новая слабоферромагнитная фаза, Fe3С (цементит).

4Коэрцитивная сила зави­сит не только от количества цементита, но и от его формы.

Рис.3 Сопоставление магнитных свойств отожжённой и закалённой стали

Из экспериментальных данных следует, что в отож­женной стали со струк­турой зернистого цементита коэрцитивная сила возрастает прямо пропорционально числузерен карбида в 1 мм3. Показано также, что НS и НВ повышаются вследствие измельчения зерен ферритной фазы при одной и той же дисперсности карбидов.

Закалка сильно повышает коэрцитивную силу и пони­жает магнитную проницаемость μmax . При этом кривые, характеризующие величину НS отожженной и закаленной стали, расходятся по мере увеличения концентрации углерода. Влияние закалки на магнит­ные свойства тем сильнее, чем выше содержание углерода в стали. Умень­шение величины намагниченности насыщения Js в данном случае указывает на то, что в резуль­тате закалки появляется парамагнитный аустенит и в количестве тем большем, чем выше содержание углерода в стали. Если бы удалось получить 100% мартенсита, то намагниченность насыщения после закалки была бы больше, чем после отжига, так как все железо находилось бы в α-фазе (мартенсите).

Повышение коэрцитивной силы в результате закалки стали обусловлено в основном образованием мартенсита. Некоторое дополнительное увеличение НS получается в том случае, если наряду с мартенси­том в стали присутствует остаточный аустенит, причем максимум увеличения коэрцитивной силы соответствует определенному ко­личеству аустенита.

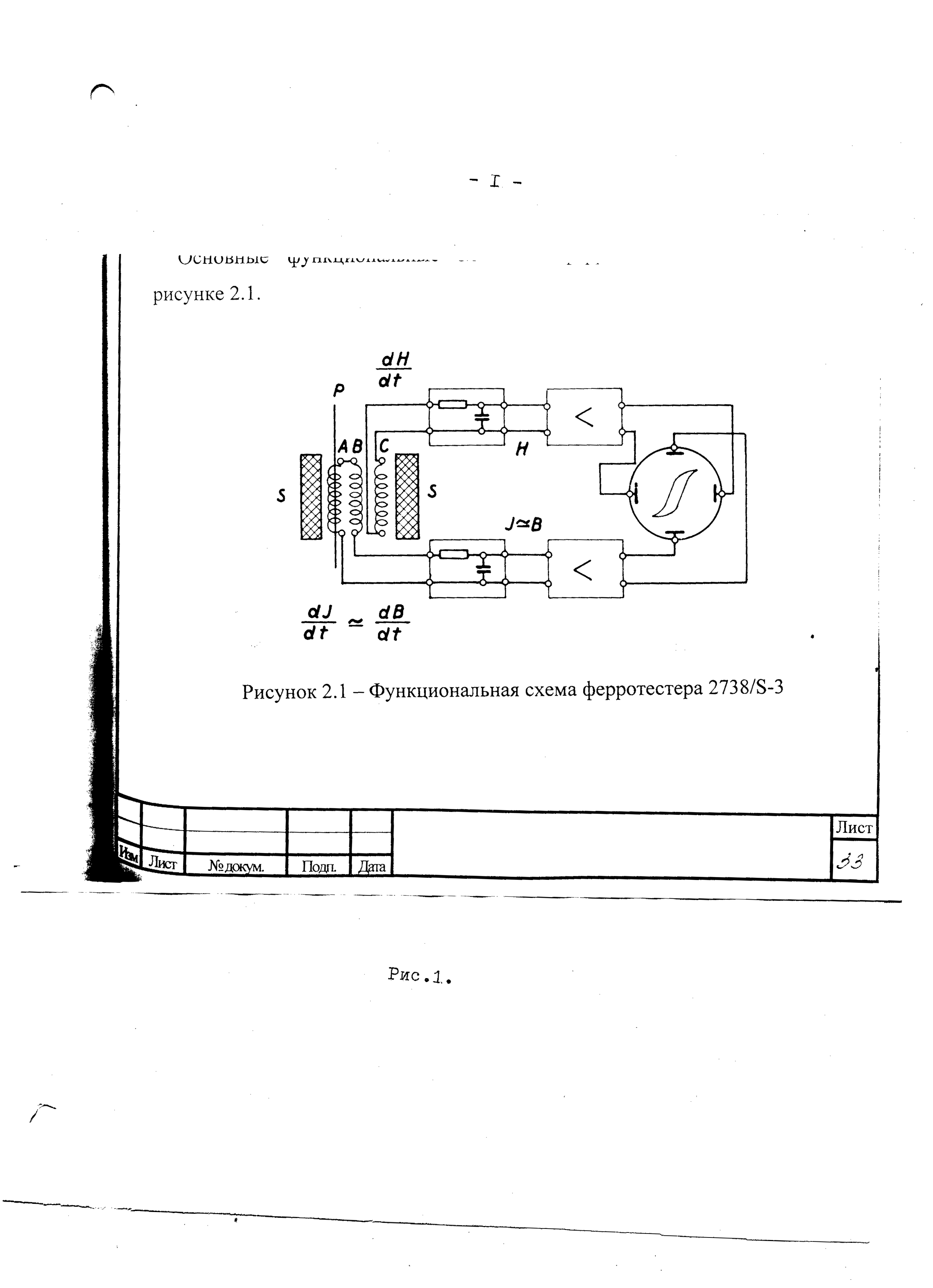
Влияние отпуска на магнит­ные свойства противоположно влиянию закалки. Так, коэрцитивная сила падает, а остаточная индукция возрастает. Увеличиваются также проницаемость и на­магниченность насыщения. Последняя резко возрастает при от­пуске углеродистых сталей на 210—250°С в связи с превращением (распадом) остаточного аусте­нита. При более высоких температурах отпуска она несколько уменьшается вследствие образования Fe3C.

**Установка для регистрации петли гистерезиса ферромагнитных материалов**

Соленоид S (рис. 4) состоит из трёх обмоток, две из которых А и В соединены последовательно навстречу друг другу. При возбуж­дении соленоида S переменным током на обмотке С возникает напряжение, пропорциональное производной по времени напряженности магнит­ного поля внутри соленоида. В отсутствие ферромагнитного материала в соленоиде напряжение, снимаемое с двух последовательно включенных и одинаковых обмоток А и В, равно нулю. При наличии в обмотке А или В ферромагнит­ного материала Р в них возникает напряжение, пропорциональное про­изводной по времени интенсивности магнитного поля J, создава­емого в образце. Оба из полученных напряжений (с обмоток А, В и обмотки С) подаются сначала на интегрирующую цепь, а затем после усиления – к отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки осциллографа, в результате чего на экране осциллографа становится видимым полный цикл намагничивания образца.

На изложенном принципе работает установка для регистрации петли гистерезиса, которая состоит из датчика-соленоида, двухканального интегратора с усилителями, осциллографа и автотрансформатора.

Для измерения магнитной индукции В, испытуемого материала, служит усилитель I, а для измерения напряженности магнитного поля Н служит усилитель II. На входе двух усилителей имеются интегрирующие цепи, пред­назначенные для получения напряжения, пропорционального Н и В, снимаемого с измерительных обмоток А, В и С. Постоянная времени интегри­рующих элементов и чувствительность усилителей подобраны из условия получения качественного изображения на экране осциллографа петли гистерезиса стальных образцов выбранных размеров.



Интегратор

Осциллограф

Датчик

10 220

Автотрансформатор

I

II

Рис.4 Структурно-функциональная схема регистратора петли гистерезиса

Следует отметить, что ферромагнитные материалы заметно изменяют свои ферромагнитные свойства под действием упругих и пластических деформаций. Поэтому при магнитных из­мерениях необходимо исключить механические воздействия на испытуемый образец, так как это может привести к существенным погрешностям при определении магнитных характеристик материала.

В данной лабораторной работе исследуется магнитный гистерезис шести цилиндрических (диаметр – 6мм, длина – 140мм) образцов из стали 65 после различных видов термической обработки.

Образцы помечены рисками, которые соответствуют следующим видам их термической обработки:

| - нормализация (охлаждение на воздухе)

|| - закалка + отпуск при 200°С

||| - отжиг (охлаждение с печью)

|||| - закалка + отпуск при 600°С

||||| - закалка

|||||| - закалка + отпуск при 400°С

**Порядок выполнения работы**

1. Проверить правильность сборки лабораторной установки.
2. С разрешения преподавателя включить установку.
3. Поместить образец с риской I в датчик и, перемещая его относительно обмотки датчика, добиться наиболее четкого изображения петли гистерезиса на экране осциллографа.
4. Скопировать на кальку (либо сфотографировать цифровой фотокамерой) с экрана осциллографа полученное изображение петли гистерезиса с указанием основных её параметров в относительных единицах.
5. Повторить действия п.п.3,4 для оставшихся пяти образцов.
6. Сравнить и проанализировать отличия полученных петель гистерезиса образцов, в зависимости от вида термической обработки.

**Содержание отчёта:**

1. Цель работы.

2. Краткие теоретические предпосылки, необходимые для выполнения лабораторной работы.

3. Принципиальная схема лабораторной установки для регистрации гистерезисных кривых.

4. Осциллограммы петель гистерезиса всех образцов.

5. Выводы по работе, содержащие анализ кривых гистерезиса образцов стали 65 после различных видов и режимов термической обработки с объяснением особенностей изменения магнитных параметров стали в зависимости от её структуры.