

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Естественно-технический факультет

Кафедра механики им. Я.И. Рудаева

Методические указания
для выполнения лабораторных работ (1 – 13)
по дисциплине
«Материаловедение»

Бишкек 2023

Методические указания / Составитель к.т.н., доцент В.Ф. Зайцев, к.ф.-м.н., доцент К.А. Герман. Кыргызско-Российский Славянский университет. – Бишкек, 2023. – 38 с.

Настоящие указания, предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение». Включают 13 лабораторных работ, каждая из которых содержат вводный теоретический материал, иллюстрации, описание применяемых приборов и методику выполнения лабораторной работы.

Рассмотрено и утверждено кафедрой механики им. Я.И. Рудаева

Лабораторная работа № 1

Характеристика основных материалов

Цель работы:

Изучение основных свойств металлов, сплавов и др. промышленных материалов. Изучить визуально и с помощью простейших приборов и справочников определить основные показатели и составить общую характеристику рассматриваемых материалов. Все результаты изучения заносятся в табл. 1.

Основные характеристики

К основным характеристикам материалов относятся механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные свойства.

Механические свойства: К основным из них относятся: прочность, пластичность, твердость, ударная вязкость. Внешняя нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию. Напряжение – это нагрузка (сила), отнесенная к площади поперечного сечения

$$\sigma = P/F \text{ МПа,}$$

где P – нагрузка в МН, F – площадь поперечного сечения в м².

Напряжение, возникающее в металле, вызывает деформацию.

Деформация – это изменение формы и размеров тела под влиянием внешних сил или в результате физико-механических процессов, возникающих в самом теле (усадка и т.д.). Деформация может быть упругой (исчезающей после снятия нагрузки) и пластической (остающейся после снятия нагрузки). При увеличении нагрузки упругая деформация переходит в пластическую, а при дальнейшем увеличении нагрузки происходит разрушение тела.

Прочность – это способность твердого тела сопротивляться деформации или разрушению под действием внешних сил. Для определения прочности при статических нагрузках образцы испытывают на растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Пластичность – это способность материала получать остаточное изменение формы и размера без разрушения.

Твердость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого материала, не получающего остаточных деформаций тела.

Физические свойства. К физическим свойствам материалов относятся температура плавления или размягчения, плотность, температурный коэффициент расширения, теплопроводность, магнитные свойства, электросопротивление.

Химические свойства. Способность металлов и сплавов к химическому взаимодействию с агрессивными средами, коррозионная стойкость.

Технологические свойства. Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его технологическим свойствам. К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся литейные свойства, которые определяются жидкотекучестью, усадкой и склонностью к ликвации, т.е. к неоднородности.

Деформируемость – это способность принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения.

Свариваемость – это способность металлов и сплавов образовывать неразъемные, сварные соединения требуемого качества.

Эксплуатационные свойства. В зависимости от условий работы машины или конструкции определяют коррозионную стойкость, хладостойкость, жаропрочность, жаростойкость, антифрикционность материала.

Коррозийная стойкость – это сопротивление материала к действию агрессивных кислот и щелочей.

Хладостойкость – это способность материала сохранять пластические свойства при низких температурах.

Жаропрочность – способность материала сохранять механические свойства при высоких температурах.

Жаростойкость – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах.

Антифрикционность – это способность сплава прирабатываться к другому сплаву. Эти свойства определяются в зависимости от условий работы машины или конструкции специальными испытаниями.

Термостойкость – способность материала выдерживать резкий перепад температур.

Общие сведения о материалах в машиностроении

1. Сталь – сплав железа с углеродом при его содержании от 0 до 2,14 %. Самый распространенный машиностроительный материал. Твердость стали доходит до 1200 МПа. Может быть пластично упругой и хрупкой. Обрабатывается давлением.
2. Чугун – сплав железа с углеродом, при $C = 2,14...6,67\%$ материал хрупкий, твердость серого чугуна 1500- 2000 МПа применяется как литые корпусных изделий, рам и т.д.
3. Красная медь – чистая электролитическая медь 99,99 *Cu*. Материал пластичный, быстро приобретает наклеп, т.е. при деформации упрочняется, электропроводен и теплопроводен. Применяется в электротехнике и различных теплообменниках (радиаторах).
4. Латунь – сплав меди и цинка. Желтого цвета, пластичен и обладает теми же свойствами, как и медь.
5. Бронза – сплав меди с оловом, свинцом, алюминием и др. присадочными материалами. Желтовато-красного цвета. Хрупкий, с низким коэффициентом трения, применяется как подшипниковый материал.
6. Нержавеющая сталь - белого цвета, без коррозии, не магнитна. В деформированном виде проявляет слабые магнитные свойства.
7. Баббит – сплав олова и свинца. Антифрикционный материал для подшипников.
8. Фторопласт – полимер, пластмасса белого цвета, характерно «скользким».
9. Винипласт – полимер, пластмасса, желтого цвета.
10. Эбонит – материал на основе каучука с присадкой серы до 40 % от массы каучука. Твердый и прочный.
11. Резина – продукт вулканизации смеси каучука, серы 2...3 % и др. составляющих. Резина обладает высокой эластичностью.
12. Карболит – полимер на основе фенолформалегидной смолы, коричневого цвета, твердый.
13. Текстолит – композиционный материал из текстиля, пропитанного фенолформалегидной смолы.

Выполнение работы

Для составления общей характеристики материалов необходимо ознакомиться сданными методическими указаниями и ответить на вопросы задания. По предлагаемому набору образцов материалов изучить их визуально и с помощью простейших приборов дать их характеристики. Необходимые данные найти в справочнике.

Вычертить предлагаемую таблицу и заполнить ее по предлагаемому примеру. Помимо указанных в таблице материалов преподаватель может представить и другие материалы и их сплавы, характеристики которых также следует отразить в таблице.

Таблица 1

№	Наименование	Цвет	Кристаллическое	Аморфное	Плотность, г/см ³	Электропроводность	Магнитные свойства	Коэф. линейного расширения	Т °С. плавления
1.	Чугун								
2.	Олово								
3.	Сталь								
4.	Медь								
5.	Цинк								
6.	Свинец								
7.	Латунь								
8.	Бронза								
9.	Алюминий и другие								

Для определения плотности вещества необходимо определить его массу в кг или г и объем. Масса образца определяется взвешиванием на весах. Объем определяется окунанием образца в мензурку с делениями в см³. Зная массу и объем исследуемого образца определить плотность ρ по формуле

$$\rho = G/V \text{ г/см}^3,$$

где G – масса в граммах, V – объем в см³. Полученные результаты о плотности материала сравниваем с табличными, приведенными в справочниках.

Строение вещества в изломе определяется визуально при дневном освещении по поверхности излома.

Электропроводность материала определяется с помощью тестера. Магнитные свойства материала легко определяются с помощью магнита. Пластичность и деформируемость материала определяется путем приложения к нему некоторой внешней нагрузки и по результатам ее действия можно судить об этих свойствах материала. Температура плавления и другие физические данные берутся из справочников.

Контрольные вопросы:

1. Какие свойства материалов относятся к физическим?
2. Какие свойства материалов относятся к химическим?
3. Какие свойства материалов относятся к эксплуатационным?
4. Какие свойства материалов относятся к технологическим?

В отчете необходимо представить протокол – табл. 1 и описание процесса выполнения работы.

В выводах по работе необходимо отметить наиболее пластичные материалы, наиболее хрупкие, наиболее тугоплавкие и легкоплавкие. Выучить температуры плавления стали, меди алюминия и других часто встречающихся в машинах материалов.

Лабораторная работа № 2

Определение твердости металлов

Цель работы:

Ознакомиться с устройством приборов Бринелля и Роквелла и овладеть методикой определения твердости металлов: определить влияние содержания углерода на твердость отожженной углеродистой стали.

Теоретические сведения

Твердостью называют свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела, не получающего при этом остаточной деформации. Для определения твердости металлов чаще применяют методы Бринелля (ГОСТ 9012-59) или Роквелла (ГОСТ 9013-59).

Эти методы отличаются простотой, возможностью применять их на готовом изделии без его разрушения.

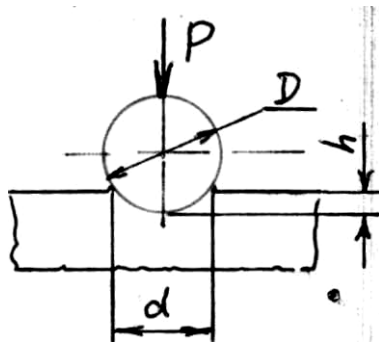


Рис. 1 Схема измерения твердости по Бринеллю.

Метод Бринелля основан на том, что металл под нагрузкой вдавливают закаленным стальным шариком D мм (рис. 1) и по величине диаметра шарового отпечатка d (глубине h) судят о его твердости. Твердость по Бринеллю (НВ) определяется из выражения: $HV = P/F$, где P – нагрузка, кН (кгс); F – площадь поверхности шарового отпечатка, мм.

Выразив площадь поверхности отпечатка через диаметр шарика и диаметр отпечатка, получим формулу

$$HV = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Нагрузку P , диаметр шарика D и продолжительность выдержки шарика под нагрузкой выбирают в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость диаметра шарика и нагрузки от твердости и толщины испытываемого образца

Материал	Твердость НВ, кгс/мм ²	Минимальная толщина образца, мм	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , кгс	Выдержка, с
Черные металлы	140...450	6...3	10	3000	10
		4...2	5	750	
		менее 2	2,5	187,5	
	менее 140	более 6	10	1000	10
		6...3	5	250	
		менее 3	2,5	62,5	
Цветные металлы	35...130	9...3	10	1000	30
		6...3	5	250	
		менее 3	2,5	62,5	
	8...35	более 6	10	250	60
		6...3	5	62,5	
		менее 3	2,5	15,6	

На рис. 2 приведена схема рычажного прибора Бринелля (тип ТШ). Прибор имеет станину 4. Испытуемый образец устанавливают на предметный столик 4. Вращая маховик 3, винтом 2 поднимают образец до соприкосновения его с шариком 5 и далее до полного сжатия пружины 7, надетой на шпindel 6. Пружина создает предварительную нагрузку на шарик, равную 1 кН (100 кгс), что обеспечивает устойчивое положение образца во время нагружения. После этого включают электродвигатель 13 и через червячную передачу редуктора 12, шатун 11 и система рычагов 8,9 с грузами 10 создают заданную нагрузку на шарик. На испытуемом образце получается шаровой отпечаток. После разгрузки прибора образец снимают и определяют диаметр отпечатка специальной лупой. За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По диаметру отпечатка в таблице при шарике 10 мм и нагрузке 30 кН (3000 кгс) находят соответствующее число твердости НВ и записывают, например НВ302. Твердость, измеренная по методу Бринелля для ряда металлов, связана эмпирической зависимостью с пределом их прочности при растяжении. Для кованных и катанных углеродистых сталей $\sigma_b = 0,36 \text{ НВ}$, для легированных сталей $\sigma_b = (0,33...0,35) \text{ НВ}$, для стального литья $\sigma_b = (0,3...0,4) \text{ НВ}$.

К недостаткам метода Бринелля необходимо отнести невозможность испытания металлов, имеющих твердость более НВ450 или толщину менее 2 мм. При испытании металлов с твердостью более НВ450 возможна деформация шарика и результаты будут неточными.

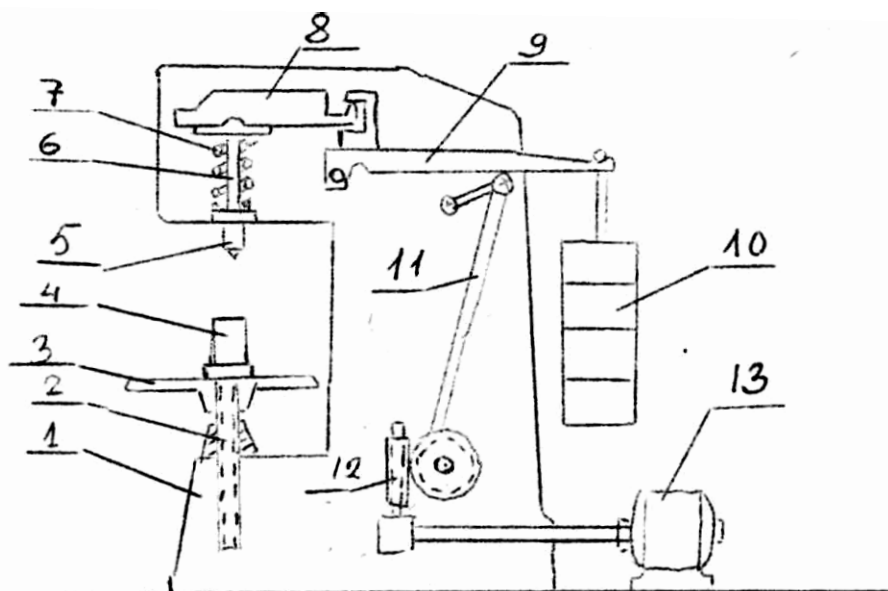


Рис. 2. Схема прибора Бринелля.

Метод Роквелла основан на том, что в испытуемый образец вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или резе закаленный стальной шарик с диаметром 1,59 мм.

Алмазный конус используют для твердых металлов, а шарик для мягких. Шарик или алмазный конус (рис. 3) вдавливают в испытуемый образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок - предварительной P_0 , равной 0,1 кН (10 кгс) и основной P_1 . При вдавливании алмаза к нему прикладывается общая нагрузка P , равная 0,6 кН (60 кгс) или 1,5 кН (150 кгс), а при вдавливании шарика - 1 кН (100 кгс). Соответственно этим нагрузкам на индикаторе прибора нанесены шкалы: черные А и С и красные В. Шкалой А пользуются при измерении твердости изделий с очень твердым поверхностным слоем, полученным посредством химико-термической обработки (цементация, азотирование и др.), а так же твердых сплавов с твердостью до HRA85. Шкалу С используют при измерении твердости закаленных сталей, обладающих

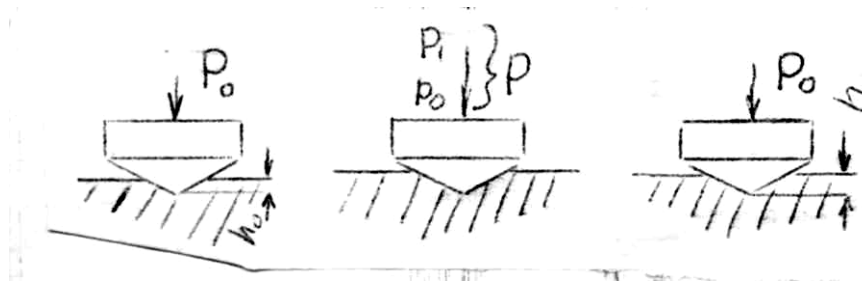


Рис. 3. Схема измерения твердости по Роквеллу.

твердостью до HRC67. Шкалой В пользуются при измерений твердости незакаленных сталей, цветных металлов и сплавов, имеющих твердость до HRB100. Числа твердости по Роквеллу HR измеряют в условных единицах:

а) при использовании в качестве индентора конуса из твердого сплава (нагрузка 150 кГс) или алмазного конуса (нагрузка 60 кГс), число твердости соответственно HRC и HRA, определяют по формуле

$$HRC = 100 - \frac{h - h_0}{0,002};$$

б) при измерении твердости индентором типа шарик (нагрузка 100 кГс) твердость определяется по формуле

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0,002},$$

где 100 – число черных делений шкалы С циферблата индикатора прибора, 130 – число красных делений шкалы В; h_0 – глубина алмаза (шарика) мм под действием предварительной нагрузки; h – глубина внедрения алмаза (шарика) под действием нагрузки, мм; замеренная после ее снятия с предварительной нагрузкой; 0,002 – глубина внедрения алмаза (шарика), мм соответствующая перемещению стрелки индикатора на одно деление.

Чтобы установить на приборе у мягкого металла малую твердость, а у твердого металла высокую твердость, полученное число делений $\frac{h - h_0}{0,002}$ вычитается из общего числа делений 100 для шкалы С и 130 для В.

На рис. 4 дана схема рычажного прибора Роквелла (тип ТК). Хорошо защищенный испытуемый образец устанавливают на предметный столик 2. Затем вращением штурвала 1 по часовой стрелке поднимают образец до соприкосновения с алмазом или шариком 3.

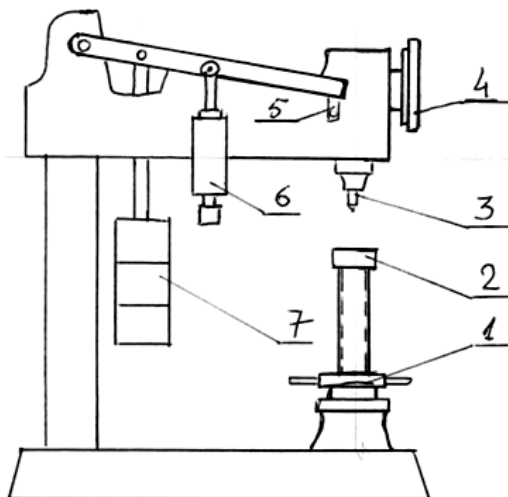


Рис. 4. Схема прибора Роквелла.

При дальнейшем вращении штурвала начинают перемещаться малая и большая стрелки циферблата индикатора 4 и создается предварительная нагрузка, равная 0,1 кН (10 кГс), препятствующая смещению образца во время испытания. Когда малая стрелка совместится с красной точкой, нанесенной на циферблат, вращение штурвала следует прекратить. После этого циферблат индикатора поворачивают так, чтобы нулевое деление черной шкалы С стало против конца большой стрелки и соответственно против деления красной шкалы В. Красная шкала В смещена относительно нулевого деления черной шкалы С на 30 делений, так как при испытании шариком большая стрелка может

поворачиваться более чем на 10 делений. Поворотом рукоятки 5, расположенной с правой стороны прибора, в направлении от себя или включением электрического привода посредством грузов 7 создают основную нагрузку P_1 на алмаз (шарик). Благодаря масляному демпферу 6, грузы плавно опускаются, алмаз (шарик) вдавливаются в металл, а большая стрелка циферблата поворачивается в сторону уменьшения числовых значений твердости, т.е. происходит то вычитание, о котором было сказано выше. После остановки большой стрелки через 1...3 с поворотом рукоятки 5 в направлении на себя (у электрического прибора автоматически) снимается основная нагрузка. При этом большая стрелка поворачивается в обратном направлении и останавливается против деления, показывающего значение твердости испытуемого металла.

За число твердости принимают среднее арифметическое значение, полученное при трех испытаниях. Число твердости по Роквеллу можно перевести на число твердости по Бринеллю.

Метод Роквелла отличается простотой и высокой производительностью, обеспечивает сохранение качественной поверхности после испытаний, позволяет испытывать металлы и сплавы, как низкой, так и высокой твердости, при толщине изделия (слоя) до 0,8 мм. Этот метод не рекомендуется применять для сплавов с неоднородной структурой (чугуны серые, ковкие и высокопрочные).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством приборов Бринелля и Роквелла и методикой измерения твердости.
2. Измерить твердость отожженных сталей марок 30, 60 и У8 на приборе Бринелля со стальным шариком диаметра 10 мм при нагрузке 30 кН (3000 кгс).
3. Измерить твердость отожженных сталей марок 30, 60, У8 на приборе Роквелла со стальным шариком диаметром 1,59 мм и при нагрузке 1 кН (1000 кгс).
4. Измерить твердости закаленных сталей 30, 60, У8 на приборе Роквелла с алмазным конусом при нагрузке 11,5 кН (1500 кгс).
5. Результаты измерений твердости сталей внести в протокол испытаний.
6. Построить график, зависимости твердости с отожженной и закаленной стали от содержания углерода.

Содержание отчета

В отчет необходимо включить понятие о твердости, области применения приборов; преимущества и недостатки определения твердости по Бринеллю и по Роквеллу; схему прибора для определения твердости; протокол результатов испытаний; график зависимости твердости от содержания углерода стали. В выводах указать факторы, влияющие на твердость стали, объяснить полученный график.

Лабораторная работа № 3

Диаграмма состояния сплавов

Цель работы:

Ознакомиться с построением и анализом диаграмм состояния сплавов.

Задачи работы:

1. Изучить термический анализ сплавов. 1
2. По данным кривых охлаждения построить диаграмму состояния.
3. Анализировать диаграмму состояния и обозначить зоны фазовых состояний сплавов.

Теоретические сведения

Сплавы, из которых изготавливают большинство деталей машины, представляют собой соединение двух или нескольких элементов. Эти элементы называют **компонентами**. Компоненты, по различному реагируя между собой, создают различные фазы. Фаза – однородная часть сплава, отделенная от других частей поверхностью раздела (границей). После затвердения сплав может иметь одну или несколько фаз. В твердом состоянии компоненты сплава могут химически взаимодействовать и образовывать структуры химического соединения, или взаимно диффундировать, образуя твердые растворы, и могут образовать механическую смесь из прочно сцепленных зерен.

Различные варианты фаз из одних и тех же компонентов будут создавать сплавы с различными свойствами. В свою очередь состояние компонентов в фазе зависит от ряда факторов и в первую очередь от температуры и их компонентов.

Построение диаграммы состояния выполняется на основании кривых охлаждения сплава, на которых выявляются критические точки. Под критической точкой понимается температура, при которой происходит структурное изменение сплава. Это явление сопровождается изменением поведения температуры, т.е. она может прекратить понижение при охлаждении или при сохранении прежних условий охлаждения температура будет падать с другой скоростью. Критических точек у сплава может быть несколько. Изменения структуры сплава или элемента называются **аллотропическими**. Например, углерод – графит, алмаз, сажа.

Диаграмма состояния строится в системе координат – по оси абсцисс откладывается процентное содержание компонентов, а по оси ординат – температура (рис. 1).

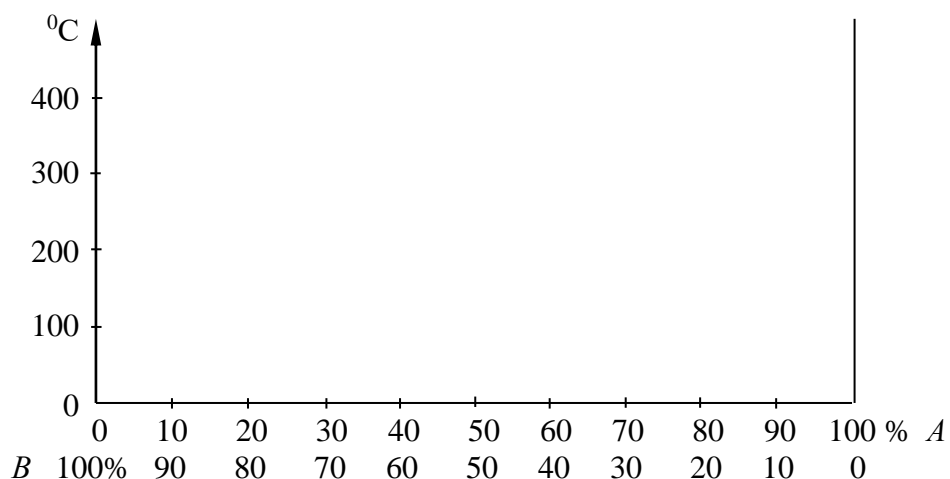


Рис. 1.

Слева направо откладывается процентное содержание компонентов A , а справа налево процентное содержание компонентов B . В таком случае в любой точке по оси абсцисс имеет место сплав, общая концентрация компонентов составит 100 %.

Для построения диаграммы состояния первоначально делают опыты и строят кривые охлаждения для всей системы сплавов, меняя концентрацию компонентов, например через 10 %. Найденные таким образом критические точки переносятся на диаграмму состояния и отмечаются на вертикали соответствующего сплава. Затем критические точки соединяются между собой в линии, из которых образуются определенные фигуры. По конфигурации и расположению линий на диаграмме состояния представляется возможность сделать заключение о фазовом составе сплава определенной концентрации при определенной температуре.

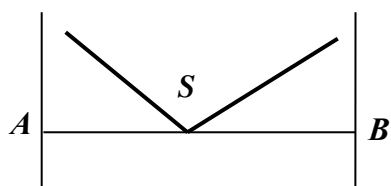


Рис. 2.

В случае образования на диаграмме сплавов фигуры, изображенной на рис. 2 можно утверждать, что ниже линии AB будет образовываться механическая смесь кристаллов.

Если будет образовываться фигура в виде чечевицы на рис. 3, то это свидетельствует об образовании, ниже линии СКД твердых растворов

атомов одного компонента в кристаллической решетке другого.

Образование химического соединения на диаграмме состояния сплавов обнаруживается делением ее на две, а иногда и три самостоятельные диаграммы, в которых химическое соединение выступает как самостоятельный компонент.

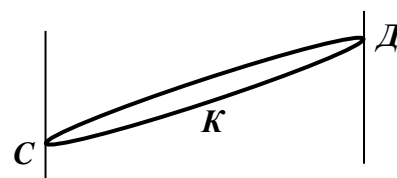


Рис. 3.

Выполнение работы

В качестве задания студент получает от преподавателя табличные материалы о результатах определения критических точек сплава. По этим данным строится диаграмма состояния.

Масштаб для построения диаграммы рекомендуется выбирать для концентрации сплава $10\% = 15$ мм, т.е. ширина диаграммы составляет 150 мм. Масштаб температур необходимо выбирать с учетом наибольшей температуры сплава. Однако можно рекомендовать $100^\circ\text{C} = 10$ мм.

После построения диаграммы необходимо проанализировать ее и в соответствующих зонах указать фазовые составляющие. Указать так же какие происходят изменения на линиях критических точек.

В отчете должны быть представлены:

1. Исходные данные.
2. Настроенная диаграмма состояния с обозначением фазовых зон.
3. Перечень структурных превращений по линиям критических точек.

Лабораторная работа № 4

Изучение методики построения кривой охлаждения сплава и определение критических точек

Цель работы:

Освоение методики построения кривых охлаждения сплавов.

Задачи работы:

1. Освоить последовательность проведения опытов по методике термического анализа сплавов.
2. Выполнить опыты и составить протокол зависимости изменения температуры от времени при охлаждении сплава.
3. Построить кривую охлаждения и определить критические точки данного сплава.

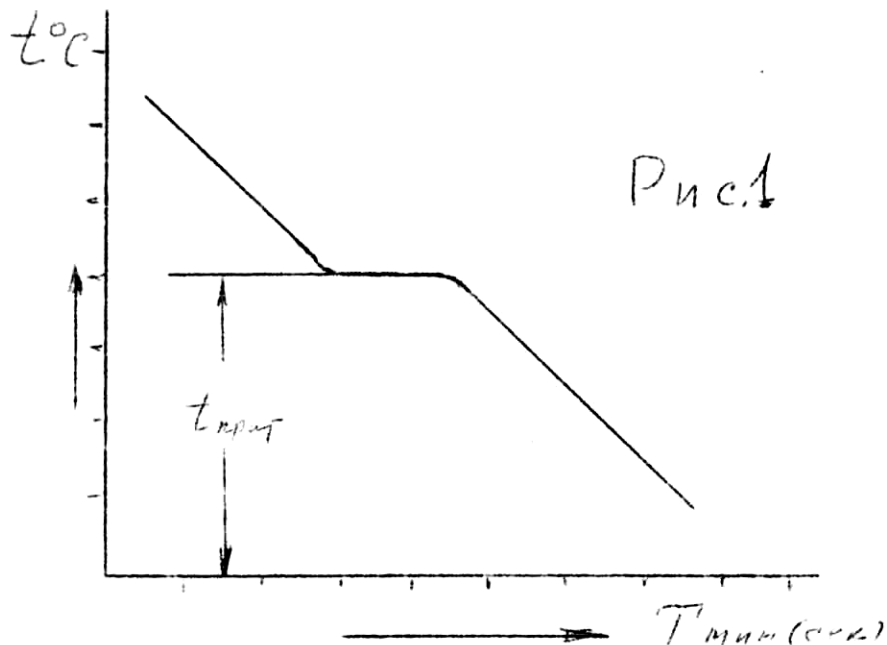
Теоретические сведения

Одним из методов изучения состояния сплавов является метод термического анализа. В результате термического анализа строится диаграмма состояния сплавов. Для ее построения необходимо иметь кривые охлаждения сплавов с различной концентрацией исходных компонентов.

Термический анализ основан на том, что любые изменения состояния металла или сплава, происходящие в них при охлаждении или нагревании, сопровождаются поглощением или выделением тепла. Это явление несложно наблюдать при помощи приборов, которыми измеряется температура, т.е. термопарами или пирометрами.

Температуры, при которых изменяется фазовый состав сплава, называют критическими (критическими точками) и обозначают при нагревании $A_{C_1}, A_{C_2}, A_{C_3}$ или при охлаждении A_{r_1}, A_{r_2} и т.д. Критических точек у сплава может быть несколько.

Пример кривой охлаждения показан на рис.1.



По оси абсцисс откладывается время в минутах или секундах (обычно 1 деление = 15 сек. и до 1 минуты), а по оси ординат откладывается температура в $^{\circ}\text{C}$. Для измерения температуры могут применяться термометры, если температура сплава не выше 300°C , или пирометры, если температура сплава не выше 1300°C . Пирометр представляет собой 2 проволоочки из

разнопородных материалов, на одном конце сваренных воедино. В таком виде эти 2 проволоочки присоединяют к милливольтметру. Наиболее часто применяются для термопар следующие материалы:

1. Хромель - копель предел измерения 600°C .
2. Хромель - алюмель предел измерения 900°C .
3. Платина - платинародий предел изменения 1200°C .

Схема установки пирометра показана на рис. 2.

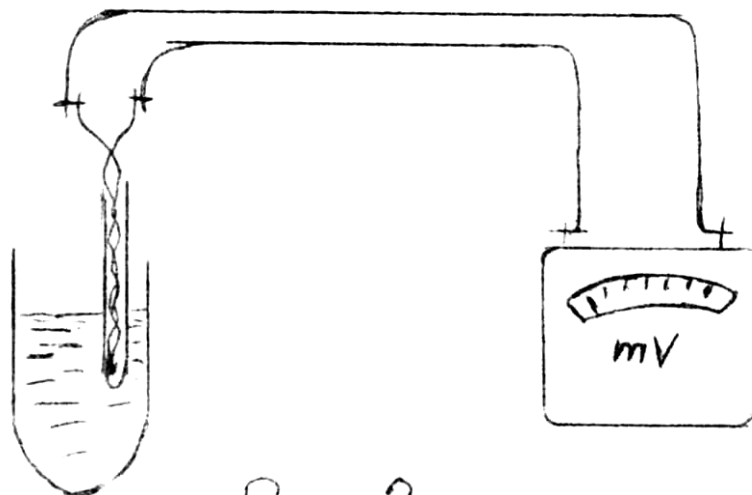


Рис. 2

Порядок выполнения работы

Для построения кривой охлаждения в учебных целях применяется очень легкоплавкая кристаллическая масса с температурой плавления около 60°C .

Полученная кристаллическая масса нагревается на электроплитке до жидкого состояния. Затем в нее устанавливается термометр и начинается запись изменения температуры через каждые 30 секунд. Указанное время и температура записываются в журнал. Охлаждение должно производиться до комнатной температуры.

На основании полученных данных строится кривая охлаждения данного сплава. На этой кривой необходимо выявить и отметить критические точки фазовых превращений.

Содержание отчета

В отчете необходимо представить назначение метода термического анализа построения кривых охлаждения, схему установки для проведения опыта, протокол записей опыта, кривую охлаждения с указанными на ней критическими точками. Личное заключение студента о проведенной работе.

Литература

1. Практикум по технологии конструкционных материалов под редакцией проф. С.С.Некрасова. – М.: Колос, 1983.

Лабораторная работа № 5

Проверка термопары

Цель работы:

Изучить измерение температуры при помощи термоэлектрического комплекта.

Задачи работы:

1. Изучить и собрать схему для проверки термопары.
2. Произвести проверку термопары в пределах по указанию руководителя.
3. Найти ошибку проверяемой термопары.
4. Построить сравнительную таблицу показаний термопар.

Теоретические сведения

1. Общие понятия

Под термоэлектрическим комплектом понимают измерительную установку, предназначенную для измерения температур, состоящую из чувствительного элемента-термопары (или нескольких термопар), соединительных проводов (обычно полностью или частично заменяемых компенсационными проводами) и измерительного прибора, милливольтметра или автоматического потенциометра. Кроме того, в комплект могут входить переключатель (при работе нескольких термопар с одним милливольтметром), уравнивательные подгоночные катушки, служащие для подгонки сопротивления внешней цепи, промежуточные коробки с зажимами, коробки для автоматической компенсации температуры свободных концов термопар и прочая вспомогательная аппаратура.

В стационарных энергетических установках термоэлектрические комплекты собираются в процессе монтажных работ из термопар, приборов, проводов и аппаратуры, поставляемой раздельно. Поэтому поверку термоэлектрических комплектов полностью почти никогда не производят, а ограничиваются проверкой отдельных звеньев комплекта; прежде всего термопар и измерительных приборов: милливольтметров или автоматических потенциометров.

2. Термопары и их особенности

Принцип действия термопары, как известно, основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.) в зависимости от температуры концов термопары.

Термопара состоит из двух разнородных проводников (термоэлектродов), соединенных (сваренных) с одного конца, называемого рабочим. Рабочий конец погружается в среду, температура которой измеряется. К другому концу термопары, называемому свободным, присоединяются провода, направляемые к прибору, измеряющему термо-э.д.с. термопары. Если температура рабочего и свободных концов термопары различна, то в термопаре возникает термо-э.д.с. Последняя зависит от материала термоэлектродов и температур рабочего и свободных концов.

Температура свободных концов обоих термоэлектродов должна быть одинакова. Удобно поддерживать ее равной нулю, что в лабораторных условиях обычно не представляет затруднений. Допустимо поддерживать температуру свободных концов и не равной нулю, но непременно одинаковую для обоих свободных концов.

Наибольшее распространение имеют стандартизованные термопары, приведенные в табл. 1.

Термопары изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 6616-61. Термоэлектродвижущая сила, развиваемая стандартизованными термопарами, при температурах рабочего конца и температуре свободных концов 0°C должна

соответствовать градуировочным таблицам, приведенным в ГОСТ 3044-61. Допустимые отклонения (\pm) термо-э.д.с. технических (рабочих) термопар от градуировочных таблиц приведены в табл. 2.

Таблица 1

Наименование термопар	Условное обозначение градуировки	Верхний предел дополнительного применения термопары, °С
Платинородий-платина	ПП-1	1300
Хромель-Алюмель	ХА	1000
Хромель-Копель	ХК	600

Таблица 2

Наименование термопар	Условное обозначение градуировки	Допустимые отклонения термо-э.д.с., мв, при температурах	
		от 0 до 300 °С	свыше 300 °С
Платинородий-платина	ПП-1	0,01	$0,01+2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (t-300)$
Хромель-Алюмель	ХА	0,16	$0,16+2,0 \cdot 10^{-4} \cdot (t-300)$
Хромель-Копель	ХК	0,20	$0,20+6,0 \cdot 10^{-4} \cdot (t-300)$

3. Проверка термопар

Целью поверки технических (рабочих) термопар является определение соответствия градуировочной характеристики поверяемой термопары стандартной.

В качестве поверяемых термопар в учебной практике применяются термопары из неблагородных металлов. Такие термопары должны поступать для поверки без защитных чехлов. Термоэлектроды термопар не должны иметь сварок (кроме рабочего конца), поверхность их должна быть чистой и гладкой.

При поверке технических неблагородных термопар в интервале температур от 300 до 1100 °С должны применяться: образцовая платинородий-платиновая термопара 2-го или 3-го разрядов, горизонтальная электрическая нагревательная печь и лабораторный потенциометр класса 0,03 или более высокого класса точности. Поверка термопар при температурах до 300 °С производится в жидкостных нагревательных ваннах (водяном или масляном термостате), путем сравнения с показаниями образцовых стеклянных ртутных термометров 2-го разряда.

Для обеспечения равенства температуры рабочих концов поверяемых и образцовых термопар рекомендуется помещать их в никелевый блок и вместе с блоком погружать в печь так, чтобы рабочие концы находились в зоне максимальной температуры печи.

После закладки никелевого блока с термопарами в печь она плотно закрывается пережженным асбестом. Отдельные частицы асбеста не должны попадать в рабочее пространство печи. Температуру свободных концов термопар рекомендуется поддерживать равной 0 °С. Для этого свободные концы термопар соединяют (спаивают) с медными соединительными проводами и погружают в пробирки с сухим трансформаторным маслом. Пробирки устанавливаются в смесь льда с водой.

Допускается поверка термопар при температуре свободных концов и неравной 0 °С. В этом случае пробирки со свободными концами термопар помещают в водяной термостат, температура в котором измеряется с погрешностью $\pm 0,1$ °С. Температуру в термостате за время поверки необходимо неоднократно контролировать.

Общая схема установки для поверки технических рабочих термопар при температурах выше 300 °С показана на рис. 1.

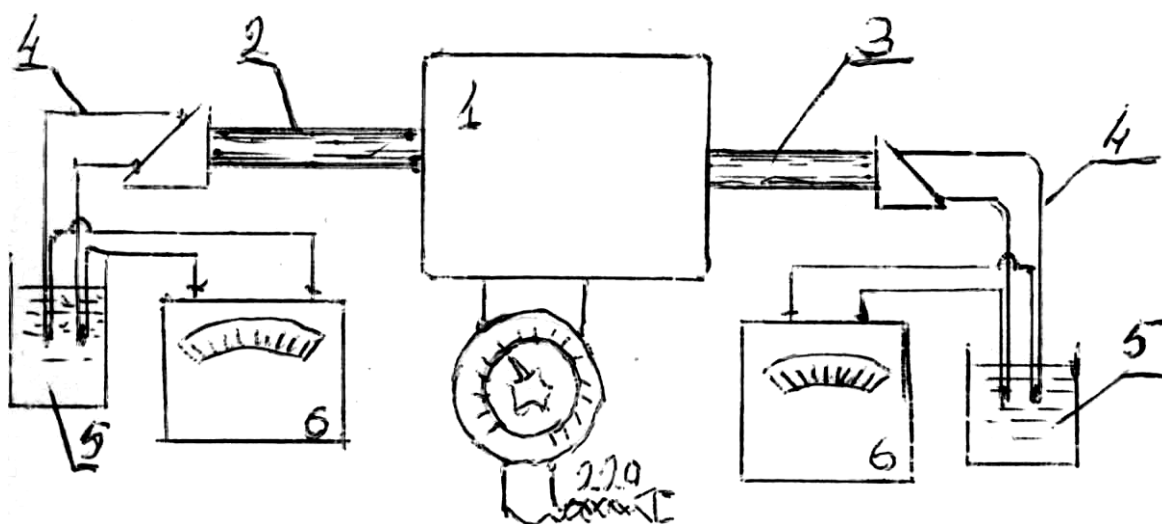


Рис. 1. Схема установки для поверки технических термопар в электрической нагревательной печи: 1 – металлический блок; 2 – образцовая термопара; 3 – поверяемая термопара; 4 – медные провода; 5 – термостат для свободных концов термопар; 6 – к образцовому потенциометру.

Поверка термопар производится не менее чем в 4-х температурных точках, равномерно расположенных в интервале температур градуировки. Одновременно может поверяться не более 6 термопар, т.к. при большем их числа нельзя получить равномерного температурного поля.

Поверка термопар производится при постепенном повышении или понижении температуры. Вблизи намеченной для поверки температурной точки скорость изменения температуры в печи не должна превышать $\pm 0,4$ град/мин. Если такая скорость в момент поверки и не менее чем за 5 минут до нее не выдерживается, то поверку производить нельзя. По этой причине приходится иногда смещать намеченную температурную точку.

Отсчет термо-э.д.с. всех термопар в поверяемой точке производится последовательно, начиная с образцовой, потом 1-й, 2-й и т.д. поверяемой термопары и затем в обратном направлении; отсчеты повторяются несколько раз и заканчиваются тогда, когда для каждой термопары будет сделано не менее 4-х отсчетов. Термо-э.д.с. поверяемых и образцовой термопар определяется по средним арифметическим значениям, найденным из отсчетов показаний каждой из этих термопар в соответствующей точке.

По окончании работы составить краткий отчет с выводами о качестве термопары.

Лабораторная работа № 6

Наклеп и рекристаллизация стали

Цель работы:

Изучение явления наклепа стали как следствия пластической деформации и явления рекристаллизации.

Задачи работы:

Опытным путем создать различный наклеп на образце и затем убрать этот наклеп термической обработкой.

Теоретические сведения

Рентгеноструктурный анализ показал, что металлы и сплавы, подвергнутые обработке давлением, т.е. деформированные, имеют искаженную решетку, в которой возникают напряжения. После пластической деформации зерна структуры металла приобретают продолговатую форму, вытянутую в сторону действия силы. Такую структуру после действия холодной пластической деформации называют волокнистой или текстурой.

В результате холодной пластической деформации металлы упрочняются, т.е. у них повышается предел прочности и твердость, а относительное удлинение понижается, коррозионные свойства тоже понижаются.

Упрочнение металла в результате пластической деформации называется наклепом.

Наклеп образуется от удара молотком, от сжатия или растяжения, прокатывания между валками, в местах изгиба металла и т.д.

Металл, подвергнутый холодной деформации, обладает запасом свободной энергии и поэтому находится в неустойчивом напряженном состоянии, о чем свидетельствует повышение твердости. Со временем происходит перегруппировка атомов и снятия напряжения, что называется естественным старением.

Если же металл или сплав подогреть до 150...200 °С процесс перегруппировки атомов ускоряется. В результате этого процесса внутренние напряжения в рекристаллизационной решетке уменьшаются, иногда до 0, но микроструктура не меняется, хотя твердость и уменьшается. Это явление называется возвратом.

После восстановления микроструктуры и снятия наклепа, вызванного деформацией, происходит при нагреве до t -ры, которая называется порогом рекристаллизации. Считается, что абсолютная t -ра рекристаллизации

$$T_{п.р.} = 0,4T_{плавления} .$$

Процесс рекристаллизации связан с перемещением атомов на межатомные расстояния, поэтому происходит рост старых и возникновение новых зерен. Величина зерен после рекристаллизации может быть меньше размеров их до деформации и может превышать эти размеры в несколько раз.

С увеличением температуры нагрева и времени выдержки, величина зерна увеличивается.

При определенной степени деформации, называемой критической, при рекристаллизации получаются наибольшие размеры зерен.

Изменение структуры и основных механических показателей представлено на схеме (рис. 1).

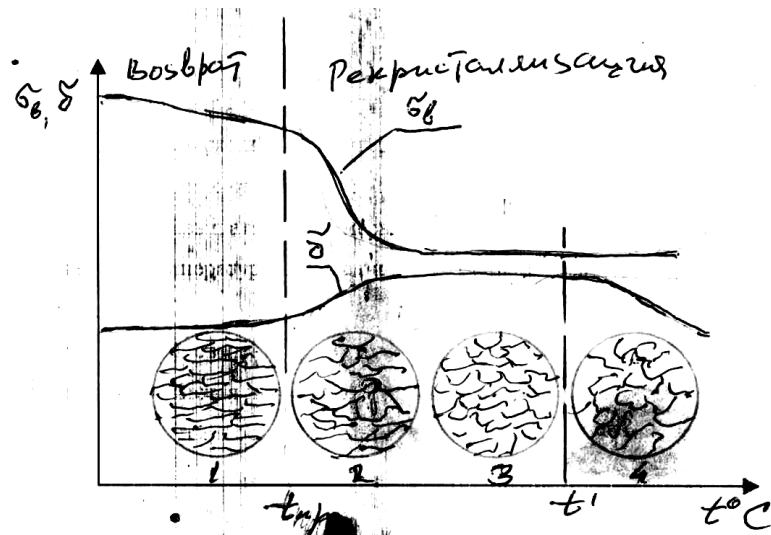


Рис. 1.

Выполнение работы

1. Полученный от преподавателя образец подвергнуть деформации (расклепать) таким образом, чтобы его толщина уменьшилась на 1, 2, 3, 4 мм. Например - первоначальная толщина образца была 5 мм. Его необходимо расклепать в одном месте до 4 мм, во втором месте - до 3 мм, в третьем - до 2 мм, в четвертом - до 1 мм (рис. 2).



Рис. 2.

2. Измерить твердость каждого расклепанного места на приборе Роквелла и записать в протокол.

№ пп.	Наименование образца	Толщина после деформации	Твердость		
			до деформации	после деформации	после рекристаллизации
1.	сталь	5	24	24	
2.	сталь	4	24	26	24
3.	сталь	3	24	34	25
4.	сталь	2	24	42	25
5.	сталь	1	24	54	24

3. Определить температуру рекристаллизации по формуле проф. Бочвара.
4. Подвергнуть образец рекристаллизации, измерить твердость и внести в протокол.
5. Сделать выводы.

В отчет включить описание приемов работы, применяемое оборудование и результаты.

Литература

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980. - 115 с.

Лабораторная работа № 7

Влияние углерода на твердость стали

Цель работы:

Выявить изменение свойств стали в зависимости от содержания углерода.

Задачи работы:

1. Изучить изменение твердости стали в зависимости от содержания углерода;
2. Получить образцы сталей 10, 20, 30, 50, 60 и измерить твердость.
3. Получить кривую $HV = f(c \%)$.

Теоретические сведения

Сталь является многокомпонентным сплавом, в котором содержится углерод и неизбежные примеси Mn, St, S, P, O, N, H и др. элементов. Эти элементы находят место в стали как результат технологий выплавки.

Структура стали после медленного охлаждения вместе с печью состоит из 2-х фаз - феррита и цементита. С увеличением углерода содержание цементита в сплаве увеличивается прямо пропорционально.

Твердая и хрупкая фаза цементита заметно повышает сопротивление движению дислокаций, таким образом увеличивает сопротивление деформации.

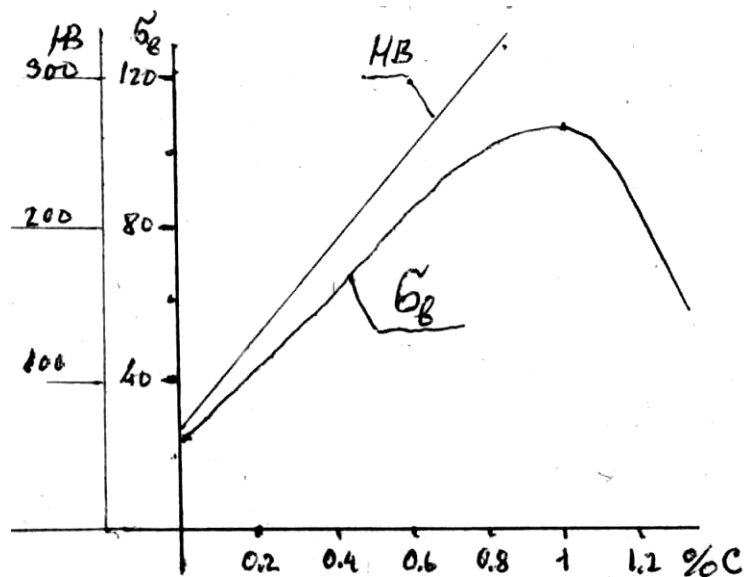


Рис. 1.

Прямым следствием этого явления, т.е. увеличением содержания углерода в стали повышается твердость, предел прочности и текучести, уменьшается относительное удлинение и ударная вязкость.

Повышение предела прочности σ_b за счет увеличения цементита в стали может происходить непрерывно. При повышении углерода свыше 1,0...1,1 % твердость будет возрастать, а предел прочности начнет уменьшаться. Это явление связано с выделением цементита в отдельную фазу в виде сетки на краях зерен. Создание растягивающих напряжений в сетке, которая образуется на границах зерен, вызывает высокие напряжения, и цементит, являясь хрупкой фазой, разрушается.

Выполнение работы

Для выполнения задания студенты должны получить от преподавателя образцы сталей с различным содержанием углерода. Желательно чтобы содержание углерода изменялось через 0,05 % или 0,1 % С. Т.е. необходимо иметь сталь 10, 20, 30 и т.д. Однако это не обязательно.

Измерение твердости необходимо выполнять на прессе Бринеля. Нагрузка и диаметр отпечатка выбирается по нормативным требованиям.

Измерение должно производиться не менее 3-х раз.

Результаты измерения заносят в таблицу 1.

Таблица 1

№ пп.	Марка стали	D шарика	P нагрузки	d отпечатка			d среднее	НВ	Примечание
				I	II	III			

По данным таблицы строится график в масштабе, 0,1 % С = 20 мм, а 100 НВ = 40...50 мм.

После выполнения работы составить отчет, в котором следует отобразить:

1. Поставленную цель работы.
2. Методику выполнения работы.
3. Ход выполнения (последовательность).
4. Таблицу с результатами.
5. Заключение исполнителя о результатах изучения и измерения.

При составлении отчета необходимо объяснение результатов обосновать теоретическими ссылками.

Лабораторная работа № 8

Определение марки стали по искре

Цель работы:

Изучение методов определения марки стали по искре.

Задачи работы:

1. Ознакомление с оборудованием и техникой безопасности при выполнении операций и работе на шлифовальном станке.
2. Изучение инструкции и организацию работы.
3. Получить у преподавателя образцы стали, определить их марку.
4. Составление отчета по работе.

Принцип определения марки стали

В настоящее время на машиностроительных, инструментальных и станкостроительных заводах для определения состава стали оборудованы специальные лаборатории химического и спектрального анализа. Многие методы анализа химического состава автоматизируются, наиболее значительные успехи достигнуты в области автоматизации спектрального анализа. Однако в производственных цехах, располагающих первоклассно оборудованными лабораториями, часто возникает потребность в быстрой проверке марки стали детали или инструмента. В таком случае марки стали определяются по искре. Этот метод остался основным для анализа в небольших мастерских или заводах, где служба по определению химического состава стали не приспособлена для немедленного обслуживания рабочих участков завода.

Наиболее часто возникает необходимость проверки марки стали в инструментальных термических цехах, поскольку инструмент должен иметь высокую твердость. Отклонение состава стали по содержанию углерода или легирующих элементов вызывает либо пониженную твердость после термической обработки, либо перегрев при закалке, а также трещины и повышенную деформацию изделия.

Марку стали по искре определяют на основании цвета искры и количества «звездочек». Например, присутствие вольфрама в стали придает искре темнобордовый цвет, а поэтому все стали, содержащие более 3-4 % W, по искре резко отличаются от углеродистой стали. По искре всегда можно безошибочно отличить быстрорежущую сталь от углеродистой. Углеродистая сталь дает светло-желтую искру в виде нитей, на которых появляются «звездочки», количество которых увеличивается по мере повышения содержания углерода стали. При определенном навыке можно различать стали по содержанию углерода с точностью 0,1-0,15 %. Но качественную сталь *нельзя* отличить от стали обычного качества, которая содержит, кроме того, серу, фосфор и другие примеси. Из-за малого количества эти примеси не придают особой окраски искре. Например, сталь 20 в среднем содержит 0,2 % С и столько же углерода содержится в сталях Ст.3 Ст.4, а следовательно, искра в этих сталях будет одинакова.

В приложении показаны искры для некоторых марок стали. Рабочий, контролирующий сталь по искре, должен привыкнуть и приобрести навык, то есть заранее просмотреть искру различных образцов – эталонов, сталей известного химического состава. Обычно число марок сталей, употребляемых в данном цехе, ограничено, а поэтому их можно рассматривать по искре.

Правильность определения марки стали могут подтвердить дополнительные характеристики. К числу таких характеристик относится излом. Излом можно получить, если пруток стали надрезать на $\frac{1}{4}$ диаметра или толщины, а затем сломать ударом. Например, быстрорежущая сталь (P18, р9 и др.) хрупко ломается, а излом получается

мелким и несколько темноватым. Углеродистые стали (марки Ст.3, Ст.10, 20 и др.) имеют излом более светлый и крупный, чем быстрорежущие стали. Если сопоставить данные, полученные по искре, с данными характеристиками излома, то создается большая уверенность в правильном определении марки стали. В некоторых случаях, когда возникают сомнения, можно прибегнуть к пробной закалке. Низкоуглеродистая сталь, содержащая меньше 0,25 % С (марки Ст.3, Ст.4, Ст. 10, 20), после закалки от температуры 850-900 °С с охлаждением в воде остается мягкой и хорошо пилится напильником. Углеродистую сталь от легированной можно отличить по твердости после закалки с охлаждением в масле. Углеродистые стали, содержащие до 1,3 % С, после закалки в масле и охлаждения пилят напильником, в то же время легированные стали (марки 9ХС, ХВГ) при охлаждении в масле после нагрева (до 820 °С стали марки ХВГ и до 875 °С стали марки (ХС) приобретают высокую твердость и напильник скользит.

Таким же образом можно отличить стали марок 40 или 50 от стали марок 40Х или 50Х, которые по искре мало отличимы. Сталь марки 40Х после закалки с охлаждением в масле будет иметь относительно высокую твердость, и напильник будет скользить или пилить ее слабо, а стали марки 40 и 50 останутся мягкими.

Организация работы

Марку стали по искре определяют на рабочем месте, имеющем точильный станок с односторонним или двусторонним шпинделем для установки одного или двух шлифовальных кругов. Каждый шлифовальный круг должен быть огражден кожухом с отверстием сверху с тем, чтобы проверяемая заготовка прутков или готовая деталь подводилась к кругу. Работать можно при дневном свете или неярком постоянном освещении.

Точильный станок устанавливают таким образом, чтобы его шпиндель был расположен на высоте не более 1200 мм от пола; кроме того, необходимо, чтобы на станок не попадал прямой солнечный свет.

Применяют шлифовальные круги следующих характеристик:

Для проверки прутков, отливок и поковок

Диаметр круга	300-350 мм
Ширина круга.....	40-60 мм
Зернистость	36-40
Твердость.....	СТ1
Скорость вращения.....	2000 об/мин
Правку круга производят шарошкой	

Для проверки готовых деталей:

Диаметр круга.....	150-200 мм
Ширина круга.....	25-40 мм
Зернистость	25-16
Твердость.....	СТ1
Скорость вращения.....	1500 об/мин
Правку круга производят карандашом из черного карборунда.	

Изменять характеристику шлифовальных кругов не рекомендуется, так как круги различных характеристик дают при испытании одной и той же марки стали различный вид искры. Не следует также применять очень твердые шлифовальные круги, так как при работе такими кругами искры плохо видны, а круги быстро засаливаются. Не рекомендуется применять круги и более мягкие, чем СТ1, так как при работе мало искр, а круги быстро изнашиваются. Наличие станка и шлифовальных кругов, на рабочем месте, где имеется набор эталонов сталей всех марок, применяемых на данном заводе – обязательно. Эталоны служат для облегчения в случае, если на проверку поступит сталь, дающая искру, по характеру которой трудно определить марку. В этом случае, сравнивая

искру, полученную от образца стали с искрой, получаемой от эталона можно разрешить возникшее затруднение.

Эталоны особенно нужны начинающему, недостаточно опытному рабочему, которому применение их может значительно облегчить работу и предотвратить возможность ошибок. Размеры эталонов надо подобрать так, чтобы применение их не утомляло рабочего. опытом установлен наиболее удобный размер эталонов, а именно диаметр 10-20 мм, длина до 200 мм, вес до 200 г. Эталоны могут быть и большего диаметра, но короче, с тем, чтобы вес их не превышал указанного. На каждом эталоне должна быть четко выбита клеймом марки стали. Эталоны следует хранить в специальных ящичках, причем все эталоны надо сгруппировать по маркам сталей (углеродистые, легированные и т.д.).

Рабочий, проверив каждый пруток или каждую заготовку, маркирует их яркой краской маленькой кистью.

Если на проверку поступают крупные тяжелые заготовки или детали, нет необходимости поднимать их к кругу. Достаточно отрубить зубилом небольшой кусок металла и проверить его. Рабочий делает отметку в наряде, сопровождающем партию стали, что сталь проверена.

При проверке на искру перед термической обработкой готовых деталей рекомендуется прижимать их к кругу не рабочей поверхностью и не останавливать деталь над кругом в одном месте. При таком способе проверки след от круга на детали будет мало заметен, а искра будет видна достаточно отчетливо.

При проверке на искру прутков, поковок, или отливок необходимо снять слой окалины, так как определение марки стали при наличии окалины не дает правильных результатов. В зависимости от количества окалины приходится снимать слой толщиной 1-4 мм при проверке поковок и отливок; 0,5-2 мм – при проверке прутков.

В качестве примера можно указать на случай, взятый из практики. Поковка из стали марки У8А со значительным слоем окалины была проверена на искру. Когда был сошлифован слой толщиной 0,5-1 мм, то искра показала марку стали 20. Когда был сошлифован слой толщиной около 2 мм, искра показала сталь 40 и только после того, как был сошлифован слой толщиной в 3-4 мм, искра показала сталь марки У8А.

Лабораторная работа № 9

Микроструктурный анализ сталей

Цель работы:

1. Изучить методику анализа структуры сталей при помощи металлографического микроскопа.
2. Освоить работу с микроскопом.
3. Сделать сравнительную характеристику изучаемых образцов.

Задачи работы:

1. Изучить устройство металлографического микроскопа типа МИМ.
2. Научиться настраивать микроскоп для наблюдения структуры.
3. Рассмотреть образцы доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей зарисовать их структуры.
4. Обозначить составляющие фазы, определить их количество в процентах «на глаз».
5. Рассчитать содержание углерода в сталях.

Теоретические сведения

Металлическим сплавом называется тело, образовавшееся в результате затвердевания двух или нескольких расплавленных, химически индивидуальных исходных веществ. Химические элементы или их соединения, образующие сплав, принято называть компонентами. Сплав может содержать два и более компонентов, которые образуют одну или несколько фаз.

Для микроструктуры сталей наиболее характерны следующие фазы:

1. **Феррит** - твердый раствор углерода в железе альфа (Fe_α).

Феррит имеет кристаллическую решетку ОЦК, в центре которой расположен атом углерода. До температуры $768^\circ C$ феррит магнитен, а выше – немагнитен, твердость НВ – 80...100, предел прочности $\sigma_b = 25$ кГс/мм, относительное удлинение – 50 %, т.е. он весьма пластичен. Под микроскопом феррит имеет белый цвет, это почти чистое железо.

2. **Аустенит** – твердый раствор внедрения углерода в железе гамма (Fe_γ). Аустенит в зависимости от температуры растворяет в себе от 0,8 % углерода при $727^\circ C$ до 2,14 % при $114^\circ C$. Решетка у аустенита – ГЦК, он немагнитен, твердость его НВ – 200...220, под микроскопом он белого цвета с характерными двойниками (кристаллами с поперечными параллельными границами зерен). При комнатной температуре в углеродистых сталях аустенит отсутствует, но если в стали велико содержание легирующих элементов (например, хрома, никеля, молибдена) более 13 %, сталь при комнатной температуре сохраняет аустенит, который хорошо противостоит коррозии. Эти стали называются нержавеющими.

3. **Цементит** – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа (Fe_3C). В цементите содержится 6,67 % углерода. Он имеет сложную ромбическую решетку. До температуры $210^\circ C$ цементит ферромагнитен, его твердость НВ = 1000, почти непластичен. Цементит является метастабильной фазой (неустойчивой).

4. **Графит** – углерод, имеющий гексагональную кристаллическую решетку слоистого типа. Межатомные расстояния в решетке составляют 1,42 ангстрема, а между плоскостями – 3,40 ангстрема. Графит мягкий и обладает низкой прочностью.

5. **Перлит** – механическая смесь, состоящая из цементита в ферритной основе. Образуется в результате распада аустенита при $727^\circ C$. Содержание углерода в перлите составляет 0,8 %. В зависимости от формы цементита перлит бывает пластичный и зернистый. Перлит является эвтектоидом, т.к. эта смесь подобна эвтектике, но

образовалась в отличие от нее не из жидкого сплава, а при превращении твердого раствора.

По структуре в равновесном состоянии стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,025 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а количество перлита в структуре увеличивается (рис. 1, 2, 3).

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода и состоит только из перлита, имеющего пластинчатое строение (рис. 4).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 до 2,14 % углерода. Их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 5).

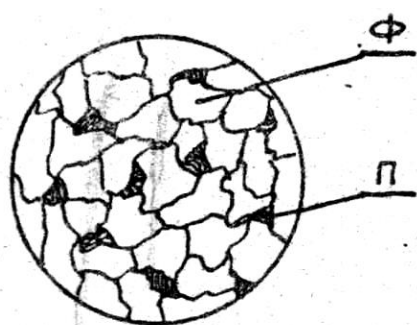


Рис. 1. Микроструктура стали 30 (0,3 %).

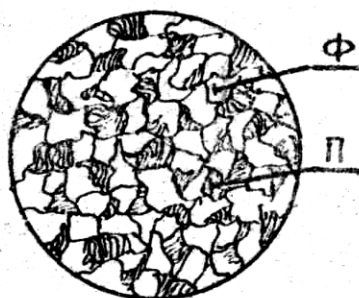


Рис. 2. Микроструктура стали 45 (0,45%).



Рис. 3. Микроструктура стали 60 (0,6 %).

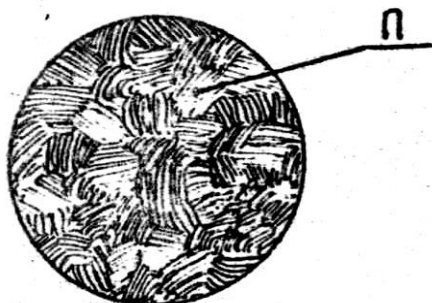


Рис. 4. Микроструктура стали У8 (0,8 %).

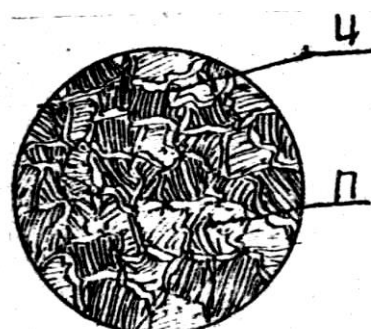


Рис. 2. Микроструктура стали 12 (1,2%).

Вторичный цементит располагается на границах зерен перлита в виде сетки или ручейков белого цвета. Чтобы отличить феррит от цементита, применяют специальный реактив – пикрат натрия, который окрашивает цементит в темный цвет и совершенно не

действует на феррит. Выделение цементита на границах зерен перлита нежелательно, так как такая структура отличается повышенной хрупкостью.

Таким образом, с увеличением содержания углерода в углеродистых сталях, находящихся в равновесном состоянии, меняется их структура и фазовый состав: уменьшается количество мягкого феррита, увеличивается количество твердого цементита и, как следствие, возрастают твердость НВ, предел прочности σ_B и уменьшается пластичность a_k . При содержании углерода свыше 1 % предел прочности снижается, что объясняется образованием в стали сплошной цементитной сетки.

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно приблизительно определить содержание углерода, а затем и марку стали. Для этого на микроструктуре, рассматриваемой под микроскопом, ориентировочно («на глаз») определяют площади, занимаемые перлитом, ферритом и цементитом. Условно принимают содержание углерода в феррите равным «0», в чистом перлите (100 %) – равным 0,8 %, а в чистом цементите (100 %) – равным 6,67 %.

Например, ориентировочно «на глаз» в доэвтектоидной стали перлит занимает 50 % всей площади структуры, видимой в микроскоп, а феррит – остальные 50 %. Тогда содержание углерода в стали можно определить из пропорции:

$$\begin{aligned} 100 \% \text{ перлита} &- 0,8 \% \text{ C,} \\ 50 \% \text{ перлита} &- X \% \text{ C,} \\ \text{откуда } X &= \frac{50 \cdot 0,8}{100} = 0,4 \% \text{ C.} \end{aligned}$$

Такое содержание углерода имеет конструкционная сталь марки 40.

Для изучения строения материала и наблюдения микроструктуры необходимо использовать металлографический микроскоп. На таких микроскопах структуру исследуют при помощи шлифов, которые представляют собой изучаемый материал с отполированной им протравленной поверхностью. Эту поверхность рассматривают в микроскоп. Строение материала или сплава, наблюдаемое в микроскопе, называется микроструктурой, которая представляет собой изображение весьма малого участка поверхности, составленное из отраженных от него световых лучей. Металлографические микроскопы рассматривают структуры в отраженном свете согласно схеме на рис. 6. Увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива.

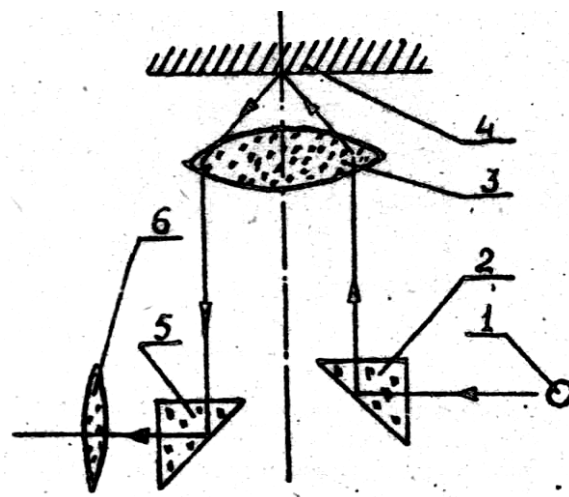


Рис. 6. Схема оптической системы:

1 – осветитель, 2 – призма, 3 – объектив, 4 – шлиф, 5 – призма, 6 – окуляр.

Общее устройство микроскопа МИМ-7 показано на рис. 7. Основными узлами металлографического микроскопа являются: корпус микроскопа (1), источник света (2), рабочий столик (3), окуляр (4), объектив (5) и фотокамера (6). Для наблюдения структуры

исследуемый шлиф устанавливается на рабочий столик таким образом, чтобы протравленная поверхность была обращена в сторону объектива. Обычно эта поверхность обращена вниз.

Наведение на резкость производится настроечными рукоятками (7) и (8). Рукоятка (7) предназначена для грубой настройки. Перемещение шлифа осуществляется микрометрическими винтами (9).

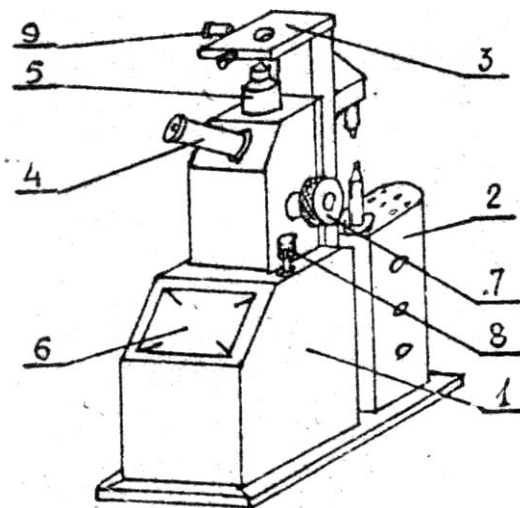


Рис. 7. Металлографический микроскоп МММ-7.

Следует обратить внимание на необходимость аккуратного обращения с микроскопом, т.к. это прибор оптический и не допускает применения чрезмерных усилий. Если какая-либо ручка перестает вращаться, нельзя применять силу, необходимо позвать руководителя занятиями и получить консультацию и помощь.

Порядок выполнения работы

1. Рассмотреть и изучить устройство микроскопа типа МММ и овладеть навыками управления его элементами.
2. Рассмотреть и изучить микрошлифы под микроскопом, определить структурные составляющие, указать класс стали (доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная).
3. По структуре подсчитать содержание углерода.
4. Зарисовать схемы микроструктур.

Содержание отчета

В отчете необходимо представить рисунки микроструктур с указанием и обозначением фаз, их количества в структуре в процентах; выполненный расчет количества углерода в каждой стали, марку стали; механические свойства определить по справочнику.

Литература

1. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / Под ред. проф. С.С.Некрасова. – М.: Колос, 1983.
2. ЛахтинЮ.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 121-133.

Лабораторная работа № 10

Изучение микроструктуры и свойств чугунов

Цель работы:

Научиться по структуре определять вид чугуна.

Задачи работы:

Получить навыки определения по микроструктуре виды чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный), оценить приближенно его механические свойства и установить область применения.

Теоретические сведения

По химическому составу чугуны отличаются от сталей более высоким содержанием углерода (более 2,14 %) и постоянных примесей (S, P, Si, Mn). Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь. Однако его хорошие технологические свойства (литейные, обрабатываемость режущим инструментом, износостойкость, антифрикционные свойства и т.д.) делают чугун пригодным для изготовления различных деталей машин.

В зависимости от состояния углерода чугуны подразделяются на две группы: чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C), и чугуны, в которых весь углерод или большая его часть находится в свободном состоянии в виде графита.

К первой группе относятся белые чугуны. Их структура зависит от содержания углерода и соответствует диаграмме равновесного состояния железо-цементит.

По структуре белые чугуны делятся на следующие.

Доэвтектический чугун (2,14...4,3 % C). Структура включает три составляющие – перлит, ледебурит, вторичный цементит (рис. 1). Перлит наблюдается под микроскопом в виде темных зерен, цементит – светлых полос, а ледебурит – в виде участков с темными точками. Каждый такой участок представляет собой смесь мелких округлых или вытянутых темных зерен перлита, равномерно расположенных в белой цементитной основе.

Эвтектический чугун (4,3 % C) состоит из ледебурита, представляющего собой равномерную механическую смесь перлита с цементитом (рис. 2).

Заэвтектический чугун (4,3...6,7 % C) характеризуется двумя структурными составляющими – первичным цементитом (вытянутая форма) и ледебуритом (рис. 3).



Рис. 1.

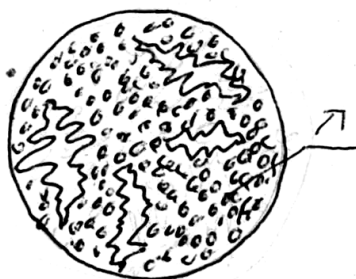


Рис. 2.

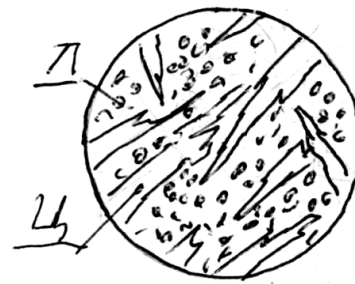


Рис. 3.

Характерная особенность структуры белого чугуна – наличие в ней весьма твердых и малопластичных составляющих: цементита и ледебурита. Получение такой структуры в белых чугунах способствует повышенное содержание в них марганца, пониженное кремния и сравнительно быстрое охлаждение. Белые чугуны очень хрупки и тверды, плохо поддаются обработке режущим инструментом. Поэтому такие чугуны в

машиностроении используются редко (дробильные шары, звездочки для очистки литья). Они обычно идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна.

Ко второй группе чугунов относятся серые, высокопрочные и ковкие.

Структура их представляет собой металлическую основу, пронизанную графитными включениями. От структуры металлической основы, которая выявляется после травления шлифа (ферритно-перлитная, перлитная или ферритная), зависят такие свойства, как предел прочности при сжатии, твердость, износостойкость. Такие свойства чугуна, как пластичность, сопротивление растяжению и износостойкость, зависят главным образом от формы, размеров, количества и характера расположения графитовых включений. Прочность графита по сравнению с металлической основой ничтожна, его присутствие равносильно надрезу – пустоте. Поэтому чем равномернее расположены графитовые включения в металлической основе, чем они мельче и их форма ближе к округлой, тем меньше будет разобщена металлическая основа чугуна и прочностные свойства будут выше. В соответствии с отмеченным качеством чугунов оценивается не только структурой металлической основы, но и формой, размером и характером распределения в ней графитовых включений.

В чугунах встречается три формы графитовых включений: *пластинчатая* (рис. 4), *шаровидная* (рис. 5), *хлопьевидная* (рис. 6).



Рис. 4.

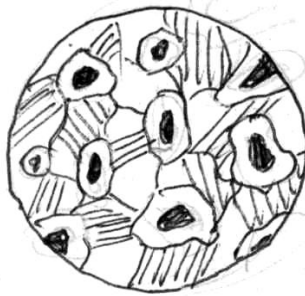


Рис. 5.



Рис. 6.

Пластинчатая (лепестковая) форма графита свойственна, серым чугунам. Такую форму можно рассматривать как трещины (надрезы), создающие концентрацию напряжений в перлитной, ферритно-перлитной металлических основах. Получение серых чугунов способствует медленному охлаждению отливок и наличие в них повышенного содержания кремния и пониженное – марганца. Пластинчатая форма графита резко снижает прочностные свойства чугуна.

Повышение механических свойств серых чугунов достигается модифицированием, т.е. воздействием на процесс графитизации за счет введения в жидкий расплав чугуна особых добавок (модификаторов). Модификаторами являются ферросилиций, силикакальций, вторичный алюминий. Будучи введенным в жидкий перед его разливкой, модификаторы раскисляют его и образуют в нем тугоплавкие окислы типа SiO_2 , CaO , которые, находясь во взвешенном состоянии, служат дополнительными центрами графитизации и способствуют размельчению графита. Из серых чугунов изготавливают блоки цилиндров, картеры, маховики и др. В автотракторостроении и сельскохозяйственном машиностроении часто применяют следующие марки серых чугунов: СЧ18, СЧ20, СЧ25 (немодифицированные) и СЧ30, СЧ35 (модифицированные).

Шаровидная форма графита свойственна высокопрочному чугуну. Его получают двойным модифицированием серого чугуна: добавкой в жидкий чугун незадолго перед заливкой двух модификаторов - ферросилиция для создания большого количества центров графитизации и магния или церия для получения шаровидной формы графита (рис. 5). Структура высокопрочного чугуна состоит из ферритной или перлитно-ферритной металлической основы, в которой располагаются графитовые включения в форме шаров. Такая форма графита не нарушает сплошности металлической основы, и это способствует

повышению прочности и пластичности. Высокопрочный чугун хороший заменитель литой стали и применяется для изготовления коленчатых и распределительных валов, гильз цилиндров автомобильных двигателей. В сельскохозяйственном машиностроении часто применяют высокопрочные чугуны марок ВЧ60-2, ВЧ45-5.

Хлопьевидная форма графита (рис. 6) присуща ковкому чугуну, который получают специальным графитизирующим отжимом (томлением) белых доэвтектических чугунов, содержащих от 2,2 до 3,2 % С. Такая форма графита способствует повышению пластических свойств – чугун лучше переносит удары, обладает достаточной вязкостью. В зависимости от вида отжига белого чугуна металлическая основа может иметь структуры: при одностадийном отжиге – ферритно-перлитную или перлитную, при двухстадийном – ферритную. Наиболее часто применяют ферритный ковкий чугун, так как он характеризуется высокой (для чугунов) пластичностью.

В автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении применяют ковкие чугуны марок КЧ37-12, КЧ35-10, КЧ50-4. Из них изготавливают картеры редукторов, рулевых механизмов, ступицы колес, педали и др.

Порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо иметь коллекцию микрошлифов, состоящую из нетравленных шлифов серого чугуна (немодифицированного и модифицированного), протравленных шлифов белого, серого, высокопрочного и ковкого чугунов.

1. Изучить под микроскопом микрошлифы и определить структурные составляющие.
2. По структурным составляющим определить наименование чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный).
3. Определить увеличение микроскопа.
4. Зарисовать схемы микроструктур.

Содержание отчета

В отчет необходимо включить участок диаграммы состояния железо-цементит для чугунов, проанализировать изменение структуры с увеличением содержания углерода. Описать виды чугунов, их структуру, свойства и применение. Рядом с зарисованными схемами микроструктур указать структурные составляющие, наименование чугуна, условия и метод получения механических свойств ($HВ$, σ_s , δ – используя справочный материал). Объяснить влияние формы графита на механические свойства чугунов.

Лабораторная работа № 11

Исследование влияния температуры отпуска на твердость стали

Цель работы:

Изучить зависимость твердости стали от температуры отпуска.

Задачи:

1. Рассчитать режимы закалки низкого, среднего и высокого отпуска для образцов из стали 40 диаметром 15 мм.
 2. Закалить образцы, измеряя твердость до и после закалки.
 3. Сделать отпуск при 200 °С, 400 °С и 600 °С и опять сделать измерение твердости.
- По результатам измерений построить график.

Теоретические сведения

Термической обработкой называются операции, которые производят с изделиями перед чистой обработкой с целью изменения свойств исходного материала. Свойства изменяют для увеличения или уменьшения твердости и предела прочности, изменения износостойкости, снятия внутренних напряжений в материале и т.д.

Термическая обработка включает следующие основные операции.

1. Закалка – нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_{C3} на 30...50 °С и последующее резкое охлаждение, и нагрев заэвтектоидной стали на 30...50 °С выше точки A_{C1} и последующее резкое охлаждение. В качестве охлаждающей среды может быть вода, масло, эмульсия и растворы солей. При закалке аустенит не успевает распасться в перлит, а превращается в мартенсит, который представляет собой твердый пересыщенный раствор углерода в альфа железе. Закаленная сталь приобретает высокую твердость и высокую прочность. Однако при этом сталь, имея внутренние напряжения, становится хрупкой.

2. Отжиг – нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_{C3} на 30...50 °С, а заэвтектоидной стали на 30...50 °С выше точки A_{C1} и последующее медленное охлаждение, желательное вместе с печью. В условиях мастерской, где нет печи, а есть горн, нагретую деталь оставляют в горячем шлаке или закрывают в сухой отработанный шлак горна. Во время отжига успевают пройти все диффузионные процессы, благодаря чему снимаются все внутренние напряжения, структура становится равновесной, а, следовательно, мягкой. При отжиге зерно измельчается – сталь становится вязкой. Отжиг является подготовительной операцией перед закалкой.

3. Отпуск – нагрев стали ниже температуры фазовых превращений, т.е. ниже точки A_{C1} (727 °С). Закаленная на мартенсит сталь, имея высокую твердость, обладает плохой пластичностью, высокими внутренними напряжениями и поэтому мало пригодна для использования. Для улучшения свойств закаленной стали делают её отпуск. Отпущенная сталь по сравнению с неотпущенной менее напряжена и менее хрупка. В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск заключается в нагреве до температуры 150...200 °С. При этом образуется отпущенный мартенсит, твердость которого почти не меняется, но снижаются внутренние остаточные напряжения, и повышается пластичность. Низкий отпуск делают режущему инструменту.

Средний отпуск. Детали нагревают до 350...500 °С, структура такой стали состоит из тростита отпуска. Твердость находится в пределах НВ 450–500. Средний отпуск должен применяться для изделий с максимальными упругими свойствами при относительно высокой твердости. Сюда относятся пружины, рессоры, ударный инструмент – зубило, штампы и др.

Высокий отпуск. В этом случае закаленные изделия нагреваются в течение расчетного времени в интервале температур 500...650 °С. Твердость понижается до НВ 250...300. Снижаются внутренние напряжения, а пластичность и ударная вязкость возрастают. После высокого отпуска получается структура, называемая сорбитом отпуска. Высокому отпуску подвергаются изделия, которые работают при знакопеременной нагрузке: шатуны, полуоси, валы, пальцы, шкворни и др. Закалку с последующим высоким отпуском часто называют улучшением стали.

Охлаждение изделий после отпуска можно производить с любой скоростью, обычно охлаждают в воде.

Выполнение работы

1. Работа начинается с определения режимов закалки и отпуска образцов, которыми будут температура нагрева и выдержки образцов в печи и охлаждающая среда. Температуру нагрева для закалки выбирают по диаграмме железо-углерод, по содержанию углерода в стали. Например: в стали 55 содержание углерода 0,55%. Найдя на диаграмме содержание углерода 0,55%, восстанавливается перпендикуляр до линии A_{C_3} . Из точки пересечения на линии SG проводят горизонталь до оси ординат, где и находится искомая температура. Она будет 775 °С. Следовательно, температура закалки будет $775+30 = 805$ °С. Температуры отпуска принимаем для низкого – 200 °С, среднего – 400 °С и высокого – 600 °С.

2. Время нагрева и выдержки зависит от сечения и теплопроводности материала. Для стальных деталей время нагрева можно определить по формуле

$$T_1 = 0,8 h,$$

где h – наибольшая толщина или диаметр изделия в мм.

3. Время выдержки детали в камерной печи будет

$$T_2 = 0,2 h$$

4. Общее время нахождения детали в печи получится

$$T = T_1 + T_2 = 0,8 + 0,2 = h \text{ минут,}$$

5. Для получения структуры полной закалки (мартенсита) в качестве охлаждающей среды рекомендуется применять воду с комнатной температурой (18 °С).

6. Процесс погружения в воду должен производиться быстро, без охлаждения на воздухе во время переноса изделия из печи в сосуд с охлаждающей средой (водой).

Последовательность выполнения работы

1. Измерить образцы штангенциркулем или линейкой. Определить наибольшую толщину или диаметр образца.

2. На приборе Роквелла определить твердость всех 6-ти образцов в исходном состоянии и сделать запись.

3. Произвести закалку всех образцов.

4. Измерить твердость после закалки и записать.

5. Произвести низкий отпуск 2-х образцов.

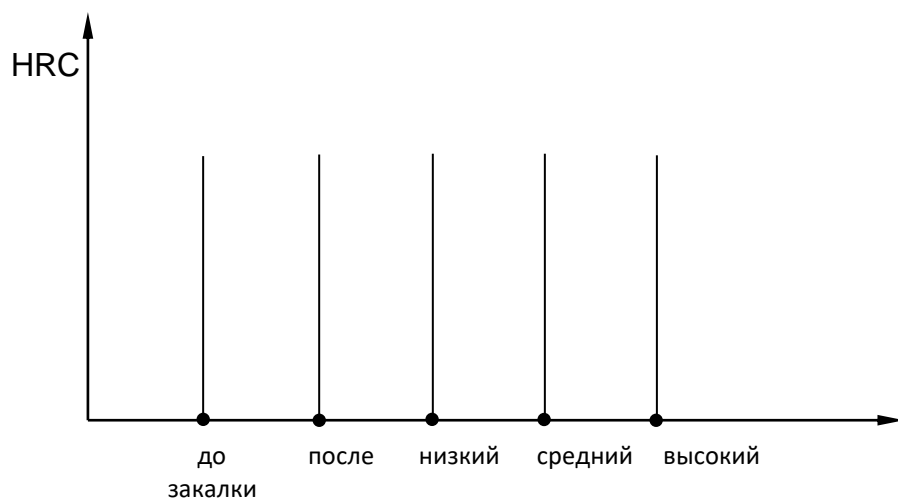
6. Средний отпуск 2-х образцов.

7. Высокий отпуск 2-х образцов.

8. Измерить твердость отпущенных образцов и записать.

9. По результатам измерений построить график $HRC = f(T_{от})$ согласно рисунку.

10. По оси абсцисс на равном расстоянии откладываются точки характеризующие вид термообработки.



Содержание отчета

В отчет необходимо включить краткие сведения о видах термической обработки, её технологии, включить краткое описание всей работы с обоснованием выбора режимов. В работе должны быть представлены: часть диаграммы железо-углерод, где выбираются температуры закалки и отпусков; график зависимости твердости от вида отпуска.

Литература

Практикум по технологии конструкционных материалов под редакцией профессора С.С.Некрасова. – М.: Колос, 1983.

Лабораторная работа № 12

Исследование влияния температуры отпуска на твердость стали

Цель работы:

Изучить методику определения зернистости сплава.

Задачи:

1. Настроить микроскоп для наблюдения объект-микрометра.
2. Определить масштаб увеличения микроскопа.
3. Наблюдая шлиф образца, измерить размер 10 зерен.
4. Произвести расчеты и определить класс зернистости по стандартной шкале размеров зерна.

Теоретические сведения

Плоская протравленная поверхность шлифа, видимая под микроскопом, представляет собой впадины и выступы. Впадины под микроскопом видятся темным цветом. Таким образом, зная интенсивность травления элементов, можно определять их наличие и взаимное расположение в объеме материала, т.е. в изучаемой структуре.

Различная форма зерен в плоскости шлифа объясняется закономерным расположением атомов кристаллического тела, которые наращиваются формируя кристаллические решетки (рис. 1).

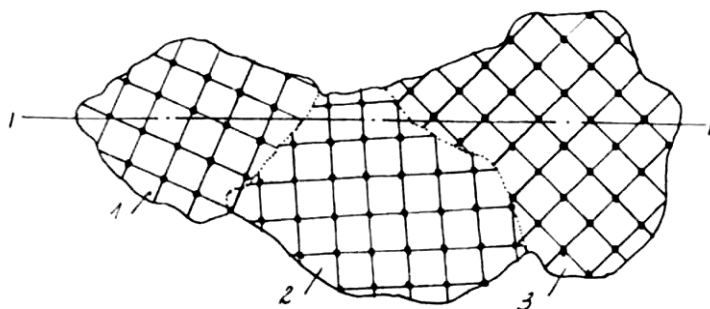


Рис. 1. Схема образования сечения зерен плоскостью шлифа.

I-I – образовавшиеся сечения отличаются строением – числом и расположением атомов, а также размером.

Величина зерен зависит, главным образом, от скорости охлаждения. При большой скорости охлаждения будет появляться большое количество центров кристаллизации (зародышей) и структура будет мелкозернистая, т.к. зерна не смогут расти: они будут мелкими, мешая друг другу.

При малой скорости охлаждения центров кристаллизации будет меньше, и они начнут расти за счет образующихся на их крайних атомах новых кристаллических решеток. Следовательно, зерна будут увеличиваться до тех пор, пока не столкнутся их крайние кристаллические решетки.

Зерна иначе называются кристаллитами.

В зависимости от размеров зерна металлы или их сплавы бывают мелкозернистыми или крупнозернистыми. Мелкозернистые более предпочтительны, чем металлы или их сплавы с крупным зерном.

Для определения размеров зерна существует стандартная шкала (рис. 2).

Определение размеров зерна производится сравнением зерен наблюдаемого материала с зернами стандартной шкалы. В этом случае микроскоп должен иметь увеличение ($\times 100$). Настроив микроскоп, исследователь «на глаз» сравнивает какая из шкал (образцов зерен)

ближе подходит к наблюдаемой в микроскопе структуре.

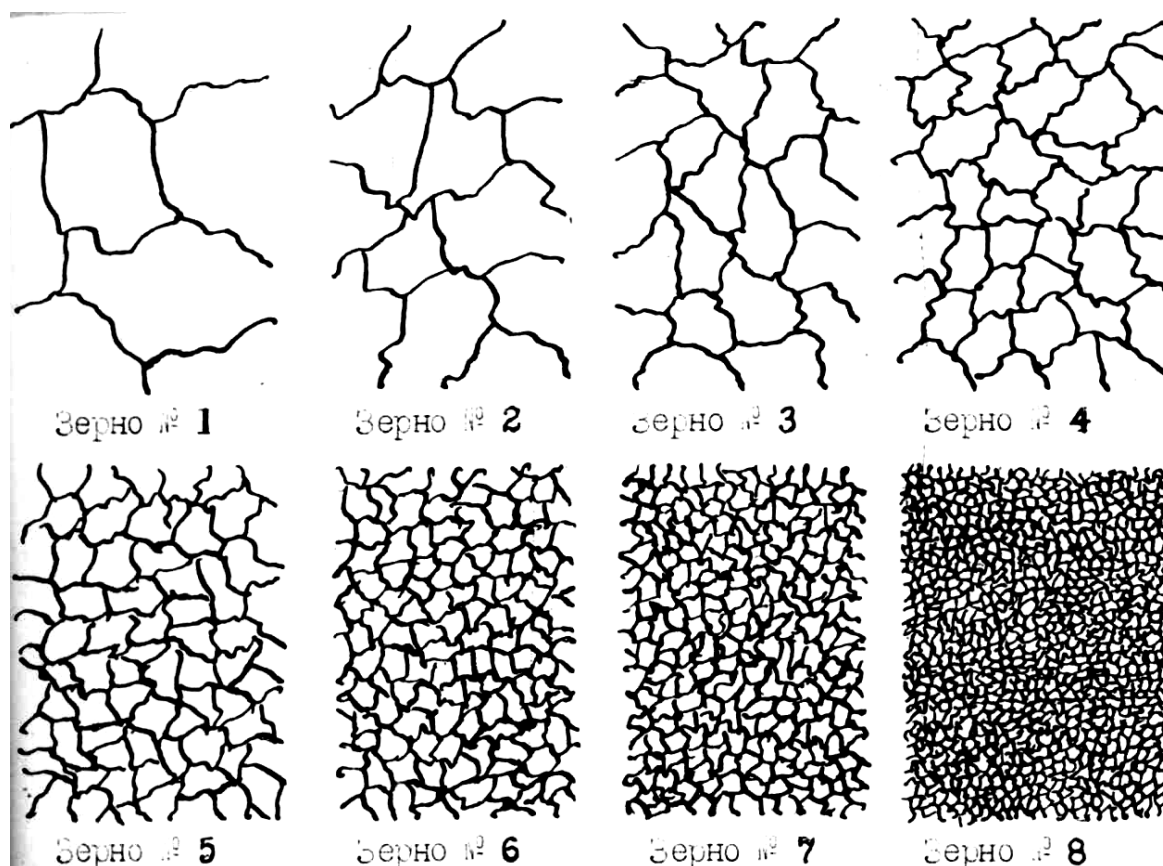


Рис. 2. Стандартная шкала размеров зерна ($\times 100$).

Более точное определение размеров зерна производится измерением зерен специальным окуляром со шкалой, цена деления которой в мм и заранее известна. Увеличение в этом случае подбирается так, чтобы в наибольшем диаметре поля зрения располагалось 15...18 зерен. Цена деления окуляра устанавливается с помощью объект-микрометра. Последний представляет собой пластинку, на которой нанесены деления через 0,01 мм, имеющую шкалу (обычно таковым является окуляр с увеличением $\times 7$). Наблюдают какое число делений «п» объект-микрометра размещается в одном или «В» делениях шкалы окуляра. Цена одного деления окуляра «К» составит

$$K = \frac{n \cdot 0,01}{B}, \text{ мм.}$$

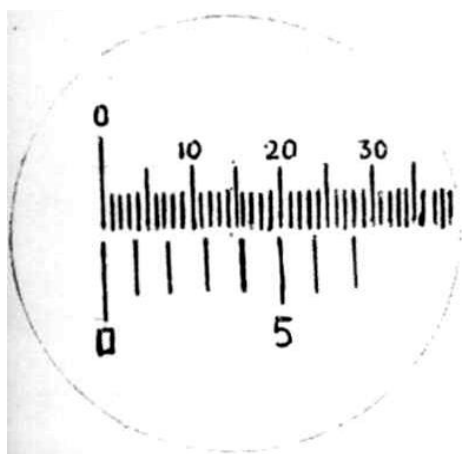


Рис. 3.

В поле зрения шкала объект-микрометра видна белым цветом, а шкала окуляра – черным цветом. Допустим, что, совместив левые начальные большие штрихи обеих шкал, выяснено, что 28 делений объект-микрометра соответствует 7 делениям шкалы окуляра (рис. 3), т.е. 28-е деление объект-микрометра совпало с 7-м делением шкалы окуляра. Тогда цена деления окуляра определяется в результате вычисления

$$K = \frac{28 \cdot 0,01}{7} = \frac{0,28}{7} = 0,04 \text{ мм.}$$

Зная цену деления окуляра, можно приступить к измерению зерна. Для этого шкалу

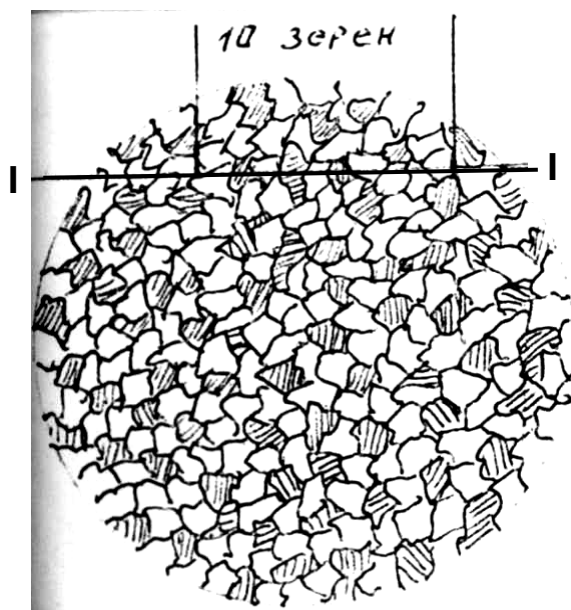


Рис. 4.

окуляра располагают по наибольшему диаметру поля зрения, по линии I–I (рис. 4). Затем, выбрав четкую границу зерна, с левой стороны отсчитывают 10 зерен, отмечая при этом край десятого зерна и вычисляя расстояние от границы первого зерна до края десятого. Полученную величину следует разделить на 10, т.к. было измерено 10 зерен.

Номер зерна определяется по таблице.

№	Наименование	Среднее значение в мм
1.	Зерно № 1	0,11 и более
2.	Зерно № 2	от 0,09 до 0,11
3.	Зерно № 3	от 0,07 до 0,09
4.	Зерно № 4	от 0,055 до 0,07
5.	Зерно № 5	от 0,04 до 0,055
6.	Зерно № 6	от 0,02 до 0,04
7.	Зерно № 7	от 0,01 до 0,02
		0,01 и менее

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя шлиф и объект микроскопа.
2. Настроить микроскоп для определения цены деления объектива, для чего установить объект-микрометр на рабочий столик и, оперируя рукояткой тонкой настройки, получить в поле зрения резкое изображение двух шкал.
3. Оперирова винтами настройки столика, совместить в левой части поля наблюдения две начальные (или большие) черты шкал и выявить, какие последующие черты делений обеих шкал наиболее точно совпадают. Таким образом, определяется число делений «n» объект-микрометра и число делений «B» объектива. Расчетом определить цену деления объектива.
4. Установить на рабочий столик шлиф (образцы).
5. Измерить по шкале окуляра 10 зерен и сделать заключение о зернистости материала.
6. Записать данные и составить отчет по работе. В отчет включить описание работы, необходимые пояснения и заключение о зернистости сплава.

Литература

1. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Metallurgizdat, 1975. – 37 с.

Лабораторная работа № 13

Определение окалиностойкости стали

Цель работы:

Изучить методику исследования сталей на окалиностойкость.

Задачи:

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями по работе, получить образцы для испытаний.
2. Выполнить отчет по регламенту.
3. Сделать заключение об окалиностойкости каждой из сталей.

Теоретические сведения

Испытания на общую коррозию выполняются с учетом назначения материала, предполагаемой среды, давления и температуры.

Для испытания применяют образцы с большим соотношением поверхности к объему.

Полученные результаты оценивают количественно, по скорости коррозии, характеризуемой потерей массы (при удалении продуктов коррозии с поверхности образца) в течение заданного промежутка времени, отнесенной к единице поверхности. По скорости коррозии определяют величину проникновения коррозии

$$P = \frac{\kappa}{\gamma} 10^{-3}, \text{ мм/год,}$$

где κ – скорость коррозии г/м² год; γ – плотность металла г/см³.

Такая оценка приемлема только в случае однородного коррозионного. При появлении локальных нарушений данный метод оценки неприемлем.

Наряду с определением изменения массы выполняют визуальное (или под микроскопом) наблюдение поверхности образцов. Это позволяет определить стойкость против точечной коррозии. В этом случае измеряют плотность (количество коррозионных точек на единицу поверхности) и глубину точек. Микроисследования позволяют обнаружить возникновение очень малых точек и начало глубинной коррозии.

Другим доказательством развития коррозии является изменение механических свойств образцов. Общая коррозия, приводящая к уменьшению сечения, сопровождается снижением разрушающей нагрузки. В результате точечной коррозии снижается также пластичность (относительное удлинение).

Коррозионную стойкость металла оценивают по шкале, в которой меньшим баллом характеризуются более стойкие металлы (табл. 1).

Таблица 1

Группа стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	$0,001 > P$	1
Весьма стойкие	$0,001 < P < 0,005$	2
Стойкие	$0,005 < P < 0,001$	3
	$0,001 < P < 0,05$	4
	$0,05 < P < 0,1$	5
Понижено стойкие	$0,1 < P < 0,5$	6
	$0,5 < P < 1,0$	7
Малостойкие	$1,0 < P < 5,0$	8
	$5,0 < P < 10,0$	9
Нестойкие	$10,0 < P$	10

В лабораторных условиях испытания проводят в печах нагреваемых в течении 30...60 мин. Эти опыты дают предварительную характеристику такого важного свойства сталей, используемых при высоком температурном нагреве, как окалиностойкость, а также влияние на нее основных легирующих элементов.

Для большей ясности, испытания носят сравнительный характер, т.е. одновременно определяют окалиностойкость испытуемой стали и какой-то известной углеродистой стали.

Для повышения чувствительности испытания следует применять образцы с большой поверхностью, например толщиной 2...3 мм, шириной 5...8 мм и длиной 60...80 мм. Поверхность образцов должна быть без грязи и ржавчины (коррозии).

Порядок выполнения работы

1. Измеряют поверхность образцов и укладывают каждый из них лодочку (предварительно прокаленную). Взвешивают на аналитических весах.
2. Все образцы нагревают в печи при определенных температурах и с выдержкой t минут.
3. После нагрева образцы остужают и вновь взвешивают. Точность взвешивания 0,1 мг.
4. Относительная окалиностойкость определяется по формуле по привесу $г/см^2 \cdot ч$.
В итоге работы заполняется протокол (табл. 2).

Таблица 2

№ пп.	№ образца	Материал образца	Масса образца с тарой		Относительная окалиностойкость
			до нагрева	после нагрева	

По итогам измерений сделать заключение.

О работе составить отчет. В отчете пояснить, что такое коррозия, её проявления и значение для машин и оборудования. Объяснить методику испытаний на коррозионную стойкость. В заключении объяснить причину различной коррозионной стойкости сталей.

Литература

1. Геллер Ю.А., Рахшоят А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургиздат, 1975. – 37 с.