



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЙ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
В Г. ВОЛГОДОНСКЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

(Институт технологий (филиал) ДГТУ в г. Волгодонске)



Лабораторный практикум

по дисциплине

«Материаловедение»

для обучающихся по направлению подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

профиль Технология машиностроения

2020 года набора

Лист согласования

Лабораторный практикум по дисциплине «Материаловедение» составлен в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности)

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «ТСиИТ» протокол № 10 от «26» апреля 2021 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ.....	5
2.ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ.....	12
3.ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ	19

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств профиль Технология машиностроения

Изучение курса «Материаловедение» совместно с другими специальными дисциплинами направлено на обеспечение общеинженерной подготовки, способствует глубокому усвоению профилирующих дисциплин, формирующих специальные знания будущих инженеров.

Усвоение материала курса должно дать студентам знания об основных закономерностях, определяющих строение и свойства наиболее распространенных материалов, а также научить выполнять широко применяемые в технике испытания материалов; уметь самостоятельно пользоваться технической и справочной литературой для выбора необходимых материалов и эффективных методов их обработки с целью повышения надежности и долговечности изготавливаемых из них деталей применительно к условиям их эксплуатации. Эта цель может быть достигнута в результате выполнения лабораторных работ. Именно поэтому, в настоящем учебном пособии приведены основные методы испытания и исследования материалов и даны теоретические основы формирования структуры этих материалов. Анализ полученных практических результатов способствует развитию у студентов навыков самостоятельной работы по исследованию микроструктуры и свойств металлических сплавов. Кроме того, дается возможность научиться обобщению полученных экспериментальных данных путем составления таблиц, построения графиков и схематического изображения микроструктур различных металлических сплавов. Поэтому в учебном пособии наряду с микроструктурами воспроизведенными при помощи металлографического микроскопа приведено и их схематическое изображение. Это позволит лучше усвоить строение металлических сплавов и сопоставить его с их свойствами.

1.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы

Усвоить понятие твердости, изучить сущность ее определения различными методами. Научиться самостоятельно измерять твердость наиболее распространенными методами.

Приборы и материалы

Приборы Бринелля и Роквелла, образцы из горячекатаной и термически упрочненной углеродистой стали и цветных сплавов, эталонные бруски известной твердости.

1.1. Основные положения

Под **твердостью** материала понимают его способность сопротивляться пластической или упругой деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

Этот вид механических испытаний не связан с разрушением металла и, кроме того, в большинстве случаев не требует приготовления специальных образцов.

Все методы измерения твердости можно разделить на две группы в зависимости от вида движения индентора: статические методы и динамические. Наибольшее распространение получили статические методы определения твердости.

Статическим методом измерения твердости называется такой, при котором индентор медленно и непрерывно вдавливаются в испытуемый металл с определенным усилием. К статическим методам относят следующие: измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу (рис. 1.1).

В динамических методах определения твердости нагрузка прилагается ударно. К динамическим методам относятся следующие: твердость по Шору, по Полюди.

Конкретный способ определения твёрдости выбирается исходя из свойств материала, задач измерения, условий его проведения, имеющейся аппаратуры и др.

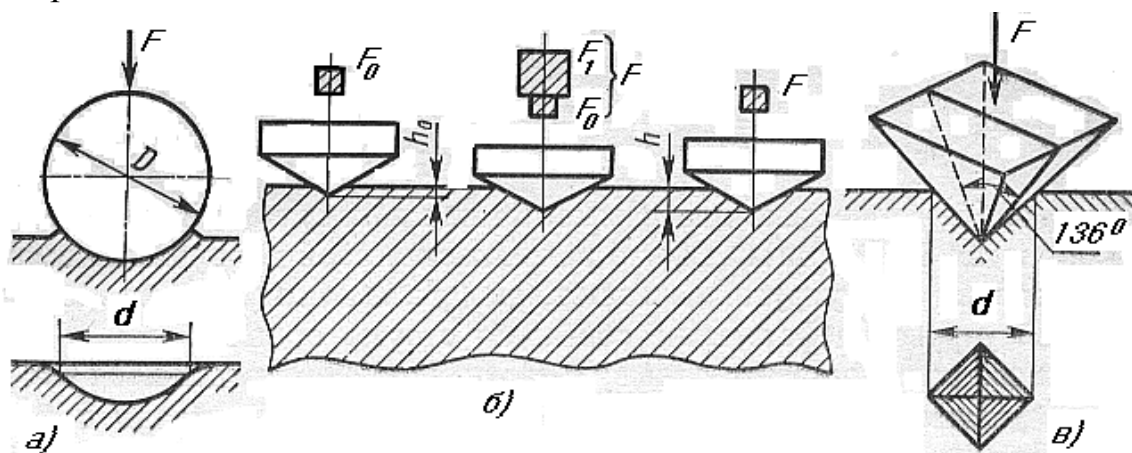


Рис. 1.1. Схема определения твердости:
а) по Бринеллю; б) по Роквеллу; в) по Виккерсу

1.2. Измерение твердости по Бринеллю

Сущность метода заключается в том, что шарик (стальной или из твердого сплава) определенного диаметра под действием усилия, приложенного перпендикулярно поверхности образца, в течение определенного времени вдавливается в испытуемый металл (рис. 1, а). Величину твердости по Бринеллю определяют исходя из измерений диаметра отпечатка после снятия усилия.

При измерении твердости по Бринеллю применяются шарики (стальные или из твердого сплава) диаметром 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 мм.

При твердости металлов менее 450 единиц для измерения твердости применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава. При твердости металлов более 450 единиц – шарики из твердого сплава.

Величину твердости по Бринеллю рассчитывают как отношение усилия F , действующего на шарик, к площади поверхности сферического отпечатка A :

$$HB (HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где HB – твердость по Бринеллю при применении стального шарика; HBW – твердость по Бринеллю при применении шарика из

твердого сплава, *МПа (кгс)*; *F* – усилие, действующее на шарик, *H (кгс)*; *A* – площадь поверхности сферического отпечатка, *мм²*; *D* – диаметр шарика, *мм*; *d* – диаметр отпечатка, *мм*.

Одинаковые результаты измерения твердости при различных размерах шариков получаются только в том случае, если отношения усилия к квадратам диаметров шариков остаются постоянными. Исходя из этого, усилие на шарик необходимо подбирать по следующей формуле:

$$F = K \cdot D^2.$$

Диаметр шарика *D* и соответствующее усилие *F* выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах:

$$0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D. \quad (1)$$

Если отпечаток на образце получается меньше или больше допустимого значения *d*, то нужно увеличить или уменьшить усилие *F* и произвести испытание снова.

Коэффициент *K* имеет различное значение для металлов разных групп по твердости. Численное, же значение его должно быть таким, чтобы обеспечивалось выполнение требования, предъявляемого к размеру отпечатка (1).

Толщина образца должна не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка.

1.3. Последовательность измерения твердости по Бринеллю
Подготовка образца, выбор условий испытания, получение отпечатка, измерение отпечатка и определение числа твердости производится в строгом соответствии ГОСТ 9012–59 (в редакции 2007 г.). Необходимые для замера твердости значения выбираются из таблиц этого ГОСТа.

Значение *K* выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с табл. 1.1.

Таблица 1.1

Испытание твердости по Бринеллю

Диаметр шарика D, мм	Прикладываемое усилие F, Н				
	$K=F/D^2$				
	30	10	5	2,5	1
10	29420	9807	4903	2452	980,7
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,0	153,0	60,8
1	294,2	98,1	49,0	24,5	9,81
Диапазон твердости НВ	140–650	35–140	< 35	8–50	< 20
Измеряются	Сталь, чу- гун, высоко- прочные сплавы	Чугун, сталь, спла- вы меди, легкие спла- вы	Медь и ее сплавы, легкие сплавы	Подшип- никовые сплавы	Свинец, олово

Усилие, F в зависимости от значения K и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с табл. 1.1.

Рекомендуемое время выдержки образца под нагрузкой для сталей составляет 10 с, для цветных сплавов 30 с (при K=10) и 30 с или 60 с (при K=2,5).

Пример формы записи твердости по Бринеллю:

250 НВ 5/750 – твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усилии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с;

575 НВW 2,5/187,5/30 – твердость по Бринеллю 575, определенная при применении шарика из твердого сплава диаметром 2,5 мм, при усилии 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с

При определении твердости стальным шариком или шариком из твердого сплава диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твердость по Бринеллю обозначают только числовым значением твердости и символом НВ или НВW: например 220НВ, 500НВW.

Данные замеров занести в протокол.

Протокол испытаний

Марка металла	D шарика, мм	F, Н (кгс)	Продол. выдержки, с	Диаметр отпечатка, мм		Среднее арифм., d_{cp} мм	НВ (НВW)
				d ₁	d ₂		

1.4. Измерение твердости по Роквеллу

Сущность метода состоит в измерении твердости, определяемой глубиной проникновения в испытуемый металл алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм под действием заданного усилия.

Усилие на наконечник (рис. 1, б) прилагается последовательно: вначале предварительное F_0 , равное 10 кгс, затем основное F_1 . Сумма предварительного и основного усилий составляет общее усилие F.

Для различных комбинаций нагрузок и наконечников прибор Роквелла имеет три измерительных шкалы: А, В, С.

Шкала А. Наконечник с алмазным конусом, общее усилие равняется 60 кгс (10+50) или 588 Н. Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов, твердого листового металла, а так же тонких твердых диффузионных поверхностных слоев и покрытий и упрочненных слоев. Предел измерения 20–88 единиц.

Шкала С. Наконечник с алмазным конусом, общее усилие равняется 150 кгс (10+140) или 1471 Н. Эта шкала используется при испытании твердости сталей, подвергнутых упрочняющей термической обработке. Предел измерения 20–70 единиц.

Шкала В. Наконечник со стальным шариком. Общее усилие равняется 100 кгс (10+90) или 981 Н. Эта шкала применяется при испытании сталей, не подвергнутых упрочняющей термической обработке, а также цветных сплавов: бронз, латуней и др. Предел измерения 20– 100 единиц.

Измерение твердости по Роквеллу осуществляется в строгом соответствии ГОСТ 9013–59 (в редакции 2002 г.).

Твердость, измеренную по методу Роквелла, отсчитывают непосредственно по индикатору твердомера в условных единицах HR, за которыми следует буква, указывающая шкалу отсчета чисел твердости, например: 70 HRA, 58 HRC, 50 HRB.

Данные замеров занести в протокол.

Протокол испытаний

Марка металла	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Общее усилие, кгс	Результаты измерения	Примечание

1.5. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Протокол испытаний твердости по методу Бринелля.
4. Протокол испытаний твердости по методу Роквелла.
6. Выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое твердость?
2. Классификация методов измерения твердости.
3. Сущность измерения твердости по Бринеллю.
4. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
5. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются шарики из твердого сплава?
6. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Из каких условий выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?

8. Как определяется нагрузка при испытании на твердость по Бринеллю?
9. От чего зависит время выдержки при испытании на твердость по Бринеллю?
10. Пример записи твердости по Бринеллю?
11. Сущность измерения твердости по Роквеллу?
12. Чему равны усилия: основное, предварительное и общее в методе Роквелла?
13. При замере какой твердости снимается отсчет показаний по шкалам А, С, В?
14. Пример формы записи твердости по Роквеллу?

2. ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы

Ознакомиться с проведением испытания на растяжение и определением показателей прочности и пластичности.

Приборы и материалы:

Разрывная машина Р 0,5, штангенциркуль, мерительная линейка, набор проволочных образцов.

2.1. Основные положения

Металлы и сплавы, используемые в качестве конструкционных материалов, должны обладать определенными механическими свойствами – прочностью, упругостью, пластичностью, твердостью.

Прочность – это способность металла сопротивляться деформации и разрушению.

Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил. Деформации подразделяются на упругие и пластические. Упругие деформации исчезают, а пластические остаются после окончания действия сил. В основе пластических деформаций

– необратимые перемещения атомов от исходных положений на расстояния, большие межатомных, изменение формы отдельных зерен металла, их расположения в пространстве.

Способность металлов пластически деформироваться называется пластичностью. Пластичность обеспечивает конструктивную прочность деталей под нагрузкой и нейтрализует влияние концентраторов напряжений – отверстий, вырезов и т.п. При пластическом деформировании металла одновременно с изменением формы меняется ряд свойств, в частности при холодном деформировании повышается прочность, но снижается пластичность.

Большинство механических характеристик металла определяют в результате испытания образцов на растяжение (ГОСТ 1497–84).

При растяжении образцов с площадью поперечного сечения F_0 и рабочей (расчетной) длиной l_0 строят диаграмму растяжения в координатах: нагрузка P – удлинение Δl образца (рис. 2.1).

Диаграмма растяжения характеризует поведение металла при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца. На диаграмме выделяют три участка: упругой деформации – до нагрузки $P_{упр}$; равномерной пластической деформации от $P_{упр}$ до P_{max} и сосредоточенной пластической деформации от P_{max} до P_k . Если образец нагрузить в пределах $P_{упр}$, а затем полностью разгрузить и измерить его длину, то никаких последствий нагружения не обнаружится. Такой характер деформирования образца называется упругим. При нагружении образца более $P_{упр}$ появляется остаточная (пластическая) деформация. Пластическое деформирование идет при возрастающей нагрузке, так как металл упрочняется в процессе деформирования. Упрочнение металла при деформировании называется наклепом. При дальнейшем нагружении пластическая деформация, а вместе с ней и наклеп все более увеличиваются, равномерно распределяясь по всему объему образца. После достижения максимального значения нагрузки P_{max} в наиболее слабом месте появляется местное утонение образца – шейка, в которой в основном и протекает дальнейшее пластическое деформирование. В это время между деформированными зернами, а иногда и внутри самих зерен могут зарождаться трещины. В связи с развитием шейки, несмотря на продолжающееся упрочнение металла, нагрузка уменьшается от P_{max} до P_k и при нагрузке P_k происходит разрушение образца. При этом упругая деформация образца ($\Delta l_{упр}$) исчезает, а пластическая ($\Delta l_{ост}$) остается (рис. 2.1).

При деформировании твердого тела внутри него возникают внутренние силы. Величину сил, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца, называют напряжением. Размерность напряжения $кгс/мм^2$ или $МПа$ ($1кгс/мм^2=10 МПа$).

Отмеченные выше нагрузки на кривой растяжения ($P_{упр}$, P_T , P_{max} , P_k) служат для определения основных характеристик прочности (напряжений): предела упругости, физического предела текучести,

временного сопротивления (предела прочности) и истинного сопротивления разрушению.

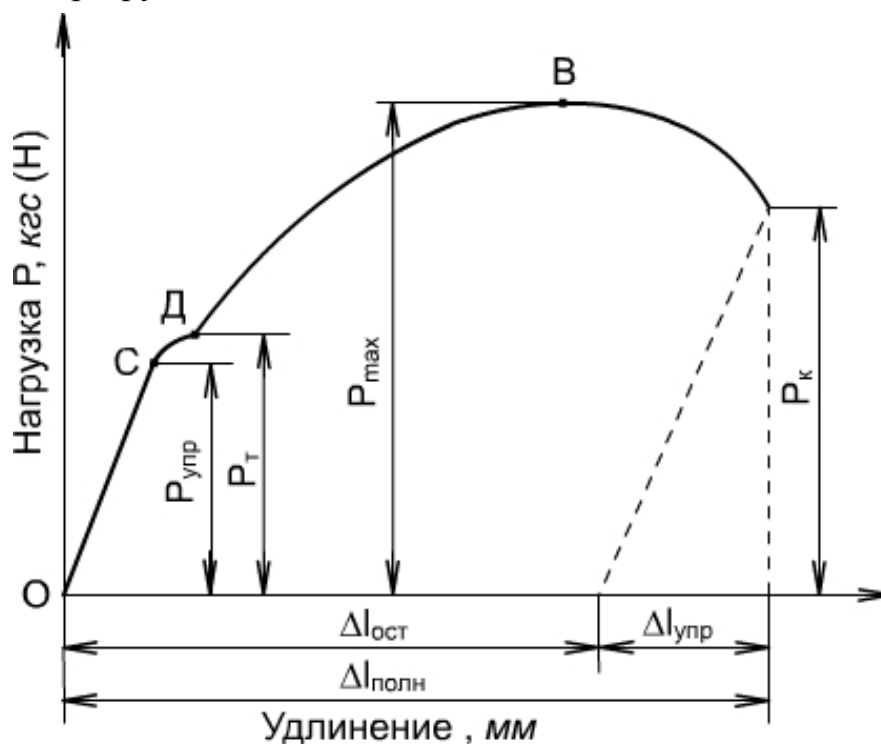


Рис. 2.1. Диаграмма растяжения металла

В технических расчетах вместо предела прочности обычно используется условный предел текучести, которому соответствует нагрузка $P_{0,2}$ (рис. 2.2).

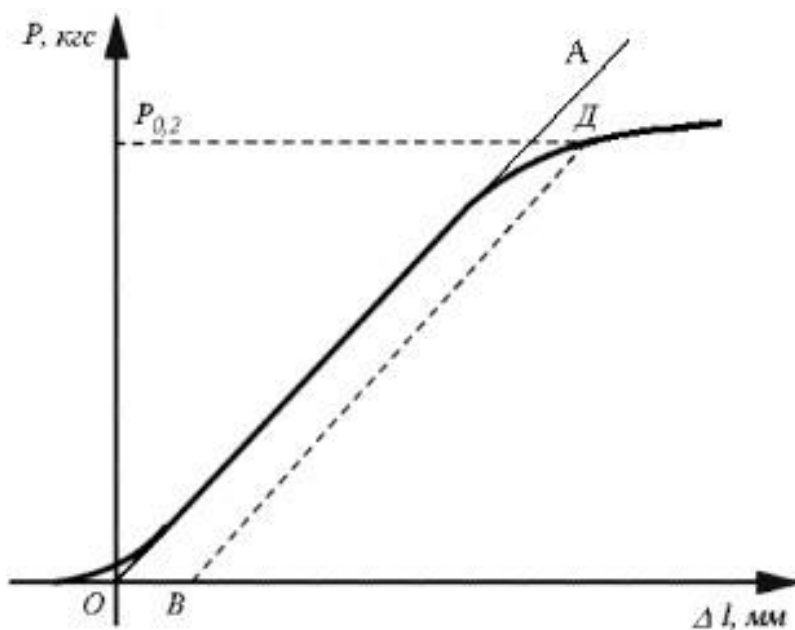


Рис. 2.2. Участок диаграммы растяжения металла

При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается. Но поскольку площадь поперечного сечения образца в каждый данный момент определить сложно, то при расчете предела упругости, предела текучести и временного сопротивления пользуются условными напряжениями, считая, что поперечное сечение образца остается неизменным. Истинное напряжение рассчитывается только при определении сопротивления разрушению.

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – это напряжение, при котором образец получает остаточное (пластическое) удлинение, равное 0,2 % своей расчетной длины.

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F}$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное (пластическое) удлинение; равное 0,2 %, кгс (Н); F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Временное сопротивление (предел прочности) σ_B – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению, кгс (Н).

Временное сопротивление (предел прочности) характеризует несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению.

Истинное сопротивление разрушению (S_k) – истинное напряжение, предшествующее моменту разрушения образца.

$$S_k = \frac{P_k}{F_k}$$

где P_k – нагрузка, непосредственно предшествующая моменту разрушения, кгс (Н); F_k – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения, мм².

Несмотря на то, что P_{\max} больше P_k , истинное сопротивление разрушению $S_k > \sigma_B$, поскольку площадь поперечного сечения образца в месте разрушения F_k значительно меньше начальной площади поперечного сечения F_0 .

Для оценки пластичности металла служат относительное удлинение образца после разрыва (δ , %) и относительное сужение образца после разрыва (Ψ , %).

Относительное удлинение после разрыва (δ , %) определяется по формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad ,$$

где l_k – рабочая длина образца после испытания, мм; l_0 – рабочая длина до испытания, мм.

Относительное сужение поперечного сечения после разрыва (Ψ , %) определяется из выражения:

$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100,$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм²; F_k – площадь сечения образца вместе разрушения, мм².

Практически для определения нагрузки, которая вызывает деформацию, соответствующую условному пределу текучести, следует выполнить следующие действия.

На диаграмме растяжения провести прямую ОА (рис. 2.2), совпадающую с прямолинейным участком диаграммы растяжения.

Определить положение точки О. Через точку О провести ось ординат ОР. Масштаб записи диаграммы по нагрузке: одному миллиметру ординаты соответствует 2 кгс нагрузки. Численная величина искомой нагрузки Р (кгс) равна соответствующей ординате диаграммы (мм), умноженной на масштаб диаграммы (2 кгс/мм).

Для определения нагрузки, соответствующей условному пределу текучести $R_{0,2}$, необходимо от начала координат по оси абсцисс отложить отрезок ОВ, величина которого равна заданному остаточному удлинению 0,2 %. Длина отрезка ОВ (мм) рассчитывается по формуле:

$$OB = \frac{l_0 \cdot 0,2 \cdot M}{100},$$

где l_0 – рабочая длина образца, мм; М – масштаб записи диаграммы по деформации.

Из точки В провести прямую ВД, параллельную прямолинейному участку диаграммы растяжения (рис. 2.2), до пересечения с диаграммой.

Используя известный масштаб записи диаграммы по нагрузке, определить численные значения нагрузок $P_{0,2}$, P_{max} , P_k , после чего рассчитать соответствующее напряжения: $\sigma_{0,2}$, σ_b , S_k . Полученные данные занести в протокол испытания.

Протокол испытания Марка материала ___

№ п/п	Снимаемые параметры	Обозначение	Размер	Численная величина
<i>Исходные данные</i>				
1.	Рабочая длина образца до испытания	l_0	мм	
2.	Диаметр образца до испытания	d_0	мм	
3.	Площадь поперечного сечения образца до испытания	F_0	мм ²	
4.	Масштаб записи диаграммы по деформации	M		
<i>Результаты испытаний</i>				
5.	Нагрузка, соответствующая пластическому удлинению образца на 0,2 %	$P_{0,2}$	кгс	
6.	Максимальная нагрузка при испытании	P_{max}	кгс	
7.	Нагрузка в момент разрушения	P_k	кгс	
8.	Диаметр образца в месте разрушения	d_k	мм	
9.	Площадь поперечного сечения образца в месте разрушения	F_k	мм ²	
10.	Рабочая длина образца после испытания	l_k	мм	
<i>Характеристики прочности и пластичности</i>				
11.	Условный предел текучести	$\sigma_{0,2}$	кгс/мм ²	
12.	Временное сопротивление (предел прочности)	σ_b	кгс/мм ²	
13.	Истинное сопротивление разрушению	S_k	кгс/мм ²	
14.	Относительное удлинение после разрыва	δ	%	
15.	Относительное сужение после разрыва	ψ	%	

2.2. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма растяжения (рис. 2.1).
4. Определения основных характеристик прочности и пластичности.
5. Протокол испытаний.
6. Выводы.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какими механическими свойствами характеризуются конструкционные материалы?
2. Что такое прочность?
3. Что называется деформацией?
4. Что называется упругой деформацией?
5. Что называется пластической деформацией?
6. Как влияет холодная пластическая деформация на прочность и пластичность?
7. Какие характерные участки можно выделить на диаграмме растяжения?
8. Почему пластическая деформация идет при возрастающей нагрузке?
9. Что такое наклеп?
10. Что такое напряжение?
11. Почему различают истинные и условные напряжения?
12. Что такое условный предел текучести, временное сопротивление и истинное сопротивление разрушению?
13. Какие вы знаете характеристики пластичности?

3. ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов. Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве.

Наглядные пособия

Диаграмма состояния системы Fe – Fe₃C.

Фотографии микроструктур железоуглеродистых сплавов.

3.1. Основные положения

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе "железо – карбид железа", и стабильном, отражающем превращения в системе "железо – графит". Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния "железо – карбид железа", т.к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме.

Карбид железа (Fe₃C) называют цементитом, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния "железо – цементит" (Fe – Fe₃C).

3.2. Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

Основными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод, которые относятся к полиморфным элементам. В железоуглеродистых сплавах эти элементы взаимодействуют, образуя различные фазы. Под фазой в общем смысле понимается однородная часть системы, имеющая одинаковый химический состав, физические свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела. Взаимодействие железа и углерода состоит в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Помимо этого он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом, в железоуглеродистых сплавах могут

образовываться следующие фазы: жидкий раствор, аустенит, феррит, цементит.

Аустенит (обозначают А или γ) – твердый раствор внедрения углерода в Fe γ . Имеет ГЦК-решетку, растворяет углерода до 2,14 %, немагнитен, твердость (160–200 НВ).

Феррит (обозначают Ф или α) – твердый раствор внедрения углерода в Fe α . Имеет ОЦК-решетку, растворяет углерода до 0,02 % (727 °С), при 20 °С менее 0,006 %, ферромагнитен до температуры 769 °С, твердость (80-100 НВ).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (Fe $_3$ C). Содержит 6,67 % С. При нормальных условиях цементит тверд(800 НВ) и хрупок. Слабо ферромагнитен до 210 °С.

3.3. Превращения в железоуглеродистых сплавах Диаграмма состояния Fe – Fe $_3$ C (рис. 5.1) показывает фазовый состав и превращения в сплавах с концентрацией от чистого железа доцементита.

Превращения в железоуглеродистых сплавах происходит как при кристаллизации (затвердевании) жидкой фазы (Ж), так и в твердом состоянии. Первичная кристаллизация идет в интервале температур, ограниченных линиями ликвидус (ACD) и солидус (AECF).

Вторичная кристаллизация происходит за счет превращения железа одной аллотропической модификации в другую и за счет изменения растворимости углерода в аустените и феррите, которая уменьшается с понижением температуры. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цементита. В сплавах системы Fe – Fe $_3$ C происходят следующие изотермические превращения:

Эвтектическое превращение на линии ECF (1147 °С)

Ж $_C$ → (А $_E$ +Ц $_F$);

Эвтектоидное превращение на линии PSK (727 °С)

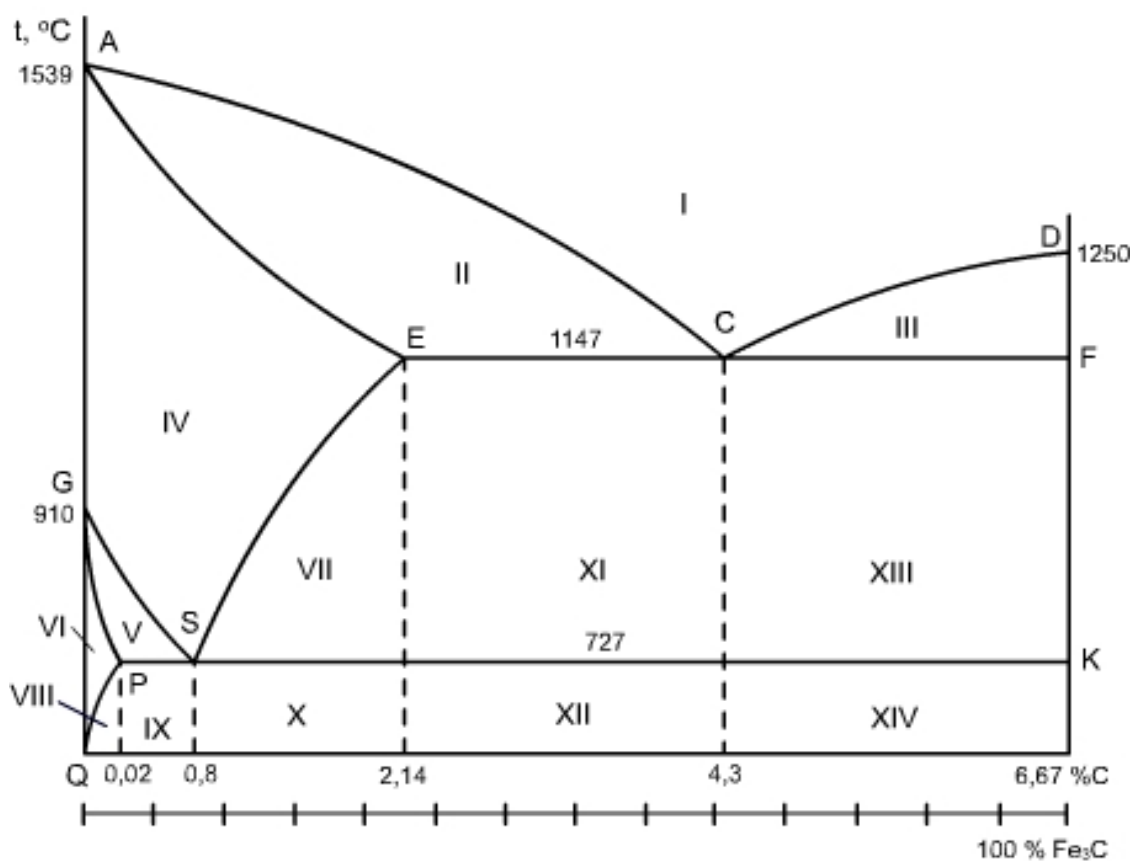
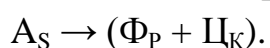


Рис. 1. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C(в упрощенном виде)

Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется **ледебуритом** (Л), а эвтектоидная смесь феррита и цементита – **перлитом** (П). Ледебурит содержит 4,3 % углерода. При охлаждении ледебурита ниже линий PSK входящий в него аустенит превращается в перлит и при нормальной температуре ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита и называется ледебуритом превращенным (Лпр). Цементит в этой структурной составляющей образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита объясняет его большую твердость (700 НВ) и хрупкость.

Перлит содержит 0,8 % углерода. В зависимости от формы частичек цементита бывает пластинчатый и зернистый. Является прочной структурной составляющей с твердостью (210 НВ).

3.4. Линии диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы представляют собой совокупность критических точек сплавов с различным составом, характеризующих превращения в этих сплавах при соответствующих температурах.

Рассмотрим значение линий диаграммы при медленном охлаждении.

ACD – линия ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.

AECF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

AC – из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита. CD – линия выделения первичного цементита.

AE – заканчивается кристаллизация аустенита. ECF – линия эвтектического превращения.

GS – определяет температуру начала выделения феррита из аустенита (910–727 °C).

GP – определяет температуру окончания выделения феррита из аустенита.

PSK – линия эвтектоидного превращения.

ES – линия выделения вторичного цементита. PQ – линия выделения третичного цементита.

3.5. Области диаграммы состояния Fe – Fe₃C

Линии диаграммы: делят все поле диаграммы на области равновесного существования фаз. Каждой области диаграммы соответствует определенное структурное состояние, сформированное в результате происходящих в сплавах превращений.

I – Жидкий раствор (Ж).

II – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы аустенита (А).

III – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы цементита первичного (Ц₁). IV – Кристаллы аустенита (А).

V – Кристаллы аустенита (А) и феррита (Ф).

- VI – Кристаллы феррита (Ф).
- VII – Кристаллы аустенита (А) и цементита вторичного (Ц_{II}). VIII – Кристаллы феррита (Ф) и цементита третичного (Ц_{III}). IX – Кристаллы феррита (Ф) и перлита (П).
- X – Кристаллы перлита (П) и цементита вторичного (Ц_{II}).
- XI – Кристаллы аустенита (А), ледебурита (Л) и цементита вторичного (Ц_{II}).
- XII – Кристаллы перлита (П), цементита вторичного (Ц_{II}) и ледебурита превращенного (Л пр).
- XIII – Кристаллы ледебурита (Л) и цементита первичного (Ц_I). XIV – Кристаллы цементита первичного (Ц_I) и ледебурита превращенного (Л пр).

3.6. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма состояния Fe – Fe₃C с обозначением фаз и структурных составляющих по всем областям диаграммы.
4. Характеристика линий и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.
5. Подробное описание изменений структуры при медленном охлаждении контрольного сплава. Варианты контрольных сплавов указаны в табл.5.1. Фрагмент диаграммы с контрольным сплавом изображен на рис. 5.2.
6. Схема микроструктуры контрольного сплава при нормальной температуре.
7. Выводы.

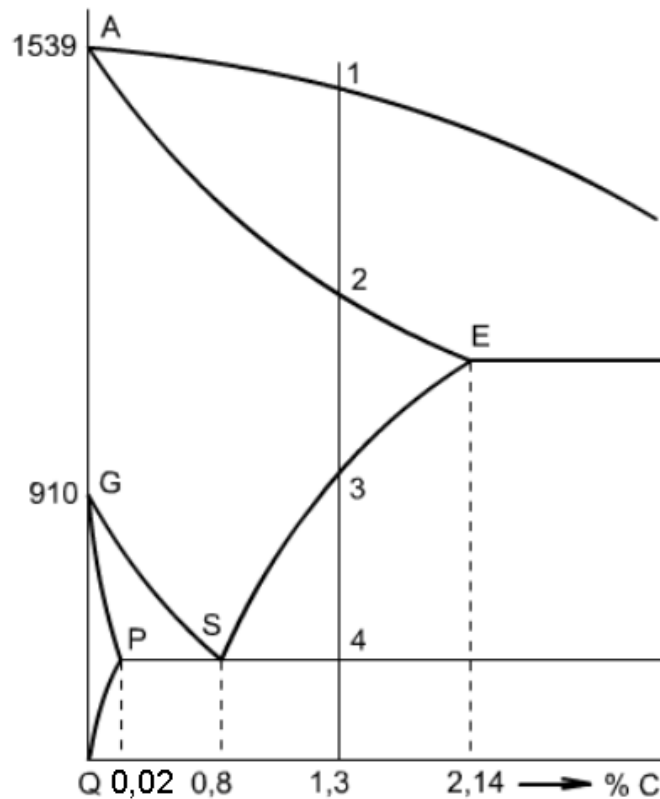


Рис. 5.2. Фрагмент диаграммы состояния Fe – Fe₃C с нанесенной ординатой состава сплава, содержащего 1,3 % C

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое фаза?
2. Что такое аустенит?
3. Что такое феррит?
4. Что такое цементит?
5. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
6. В чем состоит сущность эвтектического превращения?
7. В чем состоит сущность эвтектоидного превращения?
8. Что такое ледебурит?
9. Что такое перлит?
- 10.
11. На какой линии происходят эвтектические превращения?
12. На какой линии происходят эвтектоидные превращения?

13. Линия выделения первичного цементита?
14. Линия выделения вторичного цементита?
15. Линия выделения третичного цементита?
16. Назовите фазы железоуглеродистых сплавов.
17. Максимальное растворение углерода в $Fe\alpha$?
18. Максимальное растворение углерода в $Fe\gamma$?
19. Содержание углерода в цементите?
20. При какой температуре происходит эвтектическое превращение?
21. При какой температуре происходит эвтектоидное превращение?

Таблица 5.1

Варианты контрольных сплавов

№ п/п	% C	№ п/п	% C	№ п/п	% C
1	0,2	11	5,1	21	1,2
2	1,1	12	2,8	22	3,5
3	3,0	13	1,1	23	4,3
4	4,3	14	0,45	24	5,5
5	5,0	15	1,7	25	0,15
6	0,02	16	1,0	26	0,8
7	0,35	17	4,5	27	0,9
8	0,8	18	2,7	28	2,4
9	1,3	19	0,7	29	4,7
10	2,5	20	0,4	30	1,2