



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Р.Н. Савельева

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Лабораторный практикум для обучающихся по
направлению 151000.62 «Технологические машины
и оборудование» всех форм обучения*

Магнитогорск
2015

Рецензенты:

Ю.Д. Залетов

Составитель: Савельева Р.Н.

Материаловедение [Электронный ресурс] : лабораторный практикум для обучающихся по направлению 151000.62 «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения / Раиса Николаевна Савельева ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Изд. 2-е. – Электрон. текстовые дан. (1,67 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

© Савельева Р.Н., 2015

© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2015

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы. Ознакомиться с техникой проведения испытаний на растяжение. Изучить методы и приобрести навыки определения основных механических свойств – прочности и пластичности.

Материалы и оборудование. Разрывная машина УММ – 10.
Образцы из различных марок стали.
Справочные таблицы.

Общие сведения

В процессе эксплуатации различных устройств, механизмов и других изделий их детали испытывают различного рода нагрузки, вызывающие те или иные напряжения. Для правильного конструирования, изготовления и эксплуатации изделий необходимо знание механических свойств материалов, из которых они изготавливаются. По этим свойствам, которые определяют поведение металлов и сплавов при эксплуатации (конструкционная прочность) и обработке (сопротивление деформированию и пластичность), выявляется пригодность металлов для конкретных условий работы деталей.

К основным механическим свойствам относятся такие свойства как прочность и пластичность.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

Пластичность – свойство материала под действием внешних нагрузок получать остаточную деформацию, т. е. способность под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять их после снятия нагрузки.

Для оценки механических свойств металлических материалов в зависимости от условий работы и характера нагрузки на испытываемую деталь различают статические, динамические и циклические испытания металлов.

Статические испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение проводят путем плавного и постепенно возрастающего нагружения образцов до их разрушения.

Динамические испытания на ударную вязкость заключаются в приложении к образцу ударных нагрузок при значительных скоростях за очень короткий промежуток времени.

Циклические испытания на усталость характеризуются многократными изменениями по направлению и величине прикладываемых нагрузок.

При определении качества конструкционных материалов, выпускаемых промышленностью, одним из основных видов испытаний являются испытания на растяжение. Результаты испытаний позволяют судить не только о прочности материалов при статических нагрузках и выбирать материал для проектируемой конструкции, но и оценить их склонность к упругим и пластическим деформациям. Они являются основными при расчетах на прочность деталей машин и элементов конструкций.

Методы испытаний обеспечивают количественную оценку механических свойств, которые определяют при растяжении образцов специальной формы – круглого или прямоугольного сечения в зависимости от профиля испытуемого металла. Для испытаний на растяжение используют образцы, как правило, цилиндрической формы (рис. 1.1) диаметром от 3 мм и более. С целью устранения концентрации напряжений в месте перехода от головок к рабочей части образца делают галтели, а расчетную длину l_0 берут меньше рабочей длины l_1 . Длина образца в 5 или 10 раз превышает диаметр.

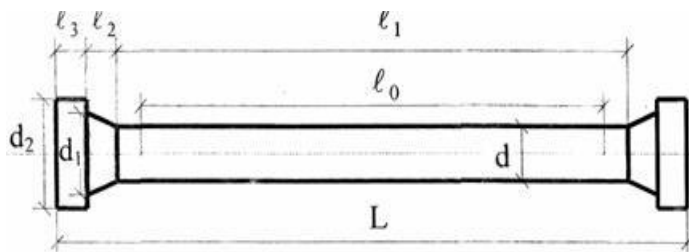


Рис. 1.1. Цилиндрический образец для испытания на растяжение

При испытаниях замеряются и фиксируются приложенные усилия и соответствующие удлинения образца. Образец деформируется плавно возрастающей нагрузкой до его разрушения. Зависимость между деформацией и сопротивлением образца удобно представлять графически в виде диаграммы растяжения.

Диаграммой растяжения называется график, показывающий функциональную зависимость между нагрузкой и деформацией при статическом растяжении образца до его разрыва. На оси абсцисс откладывают созданную деформацию Δl (удлинение образца), а по оси ординат – соответствующую ей силу P сопротивления металла (рис.1.2). Форма диаграммы зависит свойств испытуемого металла.

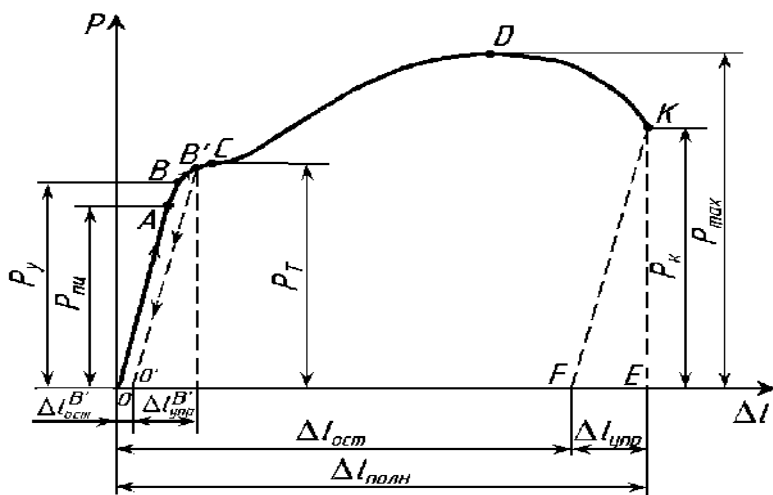


Рис. 1. 2. Диаграмма растяжения металла

Современные испытательные позволяют автоматически получать диаграмму растяжения.

На диаграмме растяжения можно выделить пять характерных участков.

Прямолинейный участок диаграммы OA указывает на **пропорциональность** между нагрузкой P и удлинением Δl . Эта пропорциональность впервые была замечена в 1670 г. Робертом Гуком и получила в дальнейшем название закона Гука.

Величина силы $P_{пл}$ (точка A), до которой остается справедливым закон Гука, зависит от размеров образца и физических свойств материала.

Если испытуемый образец нагрузить растягивающей силой, не превышающей величину ординаты точки B (силы P_y), а потом разгрузить, то при разгрузке деформации образца будут уменьшаться по тому же закону, по которому они увеличивались при нагружении. Следовательно, в этом случае в образце возникают только **упругие деформации**.

В случае, если растягивающее усилие выше P_y , при разгрузке образца деформации полностью не исчезают и на диаграмме линия разгрузки будет представлять собой прямую $B'O'$, уже не совпадающую с линией нагружения, а параллельную ей. В этом случае деформация образца состоит из упругой $\Delta l_{упр}^{B'}$ и остаточной (пластической) $\Delta l_{ост}^{B'}$ деформации.

Таким образом, характерной особенностью точки B является то, что при превышении нагрузки P_y образец испытывает **остаточные деформации** при разгрузении.

Выше точки B диаграмма растяжения значительно отходит от прямой (деформация начинает расти быстрее нагрузки, и диаграмма имеет криволинейный вид), а при нагрузке, соответствующей P_T (точка C), переходит в горизонтальный участок. В этой стадии испытания в материале образца по всему его объему распространяются пластические деформации. Образец получает значительное остаточное удлинение практически без увеличения нагрузки.

Свойство материала деформироваться при практически постоянной нагрузке называется **текучестью**. Участок диаграммы растяжения, параллельный оси абсцисс, называется площадкой текучести.

Удлинившись на некоторую величину при постоянном значении силы, т.е. претерпев состояние текучести, материал снова приобретает способность **сопротивляться растяжению** (упрочняться), и диаграмма поднимается вверх, хотя гораздо более полого, чем раньше. В точке D усилие достигает максимального значения P_{max} .

При достижении усилия P_{max} на образце появляется резкое местное сужение, так называемая шейка, быстрое уменьшение площади сечения которой вызывает падение нагрузки, и в момент, соответствующий точке K диаграммы, происходит **разрыв образца** по наименьшему сечению шейки.

Абсциссы диаграммы растягивания OE , OF и FE , характеризующие способность образца деформироваться до наступления разрушения, соответствуют полному абсолютному удлинению образца $\Delta l_{полн}$, остаточному абсолютному удлинению $\Delta l_{ост}$ и абсолютному упругому удлинению образца $\Delta l_{упр}$.

К характеристикам прочности относятся: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, разрушающее напряжение.

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 пропорциональности, 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.

Предел пропорциональности (условный) σ_{i0} – это наибольший уровень условного напряжения, при котором не наблюдается существенного нарушения закона Гука (каково удлинение, такова сила). Это напряжение определяют по формуле

$$\sigma_{i0} = P_{ni} / F_0, \text{ МПа}, \quad (1.1)$$

где P_{ni} – нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел упругости (условный) σ_{δ} – это наибольший уровень условного напряжения, при котором материал проявляет упругие свойства, заключающиеся в том, что образец практически полностью восстанавливает свои первоначальные размеры после снятия внешней нагрузки. Его определяют по формуле

$$\sigma_{\delta} = P_y / F_0, \text{ МПа}, \quad (1.2)$$

где P_y – нагрузка, соответствующая пределу упругости, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения, мм².

Предел текучести (физический) σ_0 – это наименьший уровень условного напряжения, при котором наблюдается значительный рост деформаций образца при постоянной (или слегка уменьшающейся) нагрузке. Этот предел определяют по формуле

$$\sigma_0 = P_T / F_0, \text{ МПа}, \quad (1.3)$$

где P_T – нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Если в поведении материала не прослеживается площадка текучести, то определяют условный предел текучести – это напряжение, при котором образец получает остаточное (пластическое) удлинение, равное 0,2 % своей расчетной длины:

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0, \text{ МПа}, \quad (1.4)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное (пластическое) удлинение, равное 0,2 %, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел текучести устанавливает границу между упругой и упругопластической зоной деформирования.

При дальнейшем увеличении нагрузки кривая растяжения поднимается и в точке D нагрузка достигает максимума. Точка D характеризует максимальное условное напряжение, возникающее в процессе испыта-

ния, которое соответствует временному сопротивлению разрыва $\sigma_{\dot{A}}$ и определяется по формуле

$$\sigma_{\dot{A}} = P_B / F_0, \text{ МПа}, \quad (1.5)$$

где $P_B = P_{max}$ – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Временное сопротивление разрыву (физический предел прочности) $\sigma_{\dot{A}}$ – это максимальное напряжение, которое выдерживает образец перед разрушением.

Истинный предел прочности S_K – максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца

$$S_K = P_K / F_K, \text{ МПа}, \quad (1.6)$$

где P_K – нагрузка, при которой происходит разрушение образца, Н;

F_K – конечная площадь поперечного сечения образца в месте разрушения, мм².

Несмотря на то, что $P_B = P_{max}$ больше P_K , истинное сопротивление разрушению $S_K > \sigma_{\dot{A}}$, поскольку площадь поперечного сечения образца в месте разрушения F_K значительно меньше начальной площади поперечного сечения F_0 .

При расчете конструкций обычно пользуются данными не истинного и не физического значений временного сопротивления разрыву, а допускаемым напряжением $[\sigma]$, величина которого в 1,5 – 2 раза меньше физического предела прочности, для обеспечения надежности работы конструкции.

Временное сопротивление разрыву $\sigma_{\dot{A}}$ и предел текучести $\sigma_{\dot{O}}$ характеризуют прочностные свойства металла. Но кроме прочностных свойств, используя эту же диаграмму и образцы, можно определить пластические свойства металла.

Эти свойства характеризуются относительным удлинением и относительным сужением. Для характеристики пластичности образца используют не абсолютные, а относительные величины.

Относительное удлинение после разрыва δ – это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва $\Delta l_{ост} = l_K - l_0$ к первоначальной расчетной длине l_0 в процентах

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100. \quad (1.7)$$

Относительное сужение после разрыва ψ — это отношение разности начальной площади F_0 и минимальной площади поперечного сечения образца в месте разрыва F_K к начальной площади поперечного сечения образца F_0 в процентах

$$\psi = \frac{\Delta F}{F_0} \cdot 100. \quad (1.8)$$

Каждая марка стали характеризуется всем комплексом механических свойств, которые зависят от состава стали (в большей степени от содержания углерода), а также от вида термической обработки (т.е. от структуры металла) и размеров образцов. Однако, зная характеристики испытываемых образцов (σ_A , σ_D), можно по справочнику определить марку стали, из которой они изготовлены.

Порядок выполнения работы

1. Измерить исходные размеры образца (l_0 и d_0) и вычислить площадь поперечного сечения F_0 .
2. Закрепить образец в захватах.
3. Установить рабочую стрелку на ноль.
4. Включить электродвигатель и начать испытание. В процессе испытания следить по указателю за нарастанием нагрузки вплоть до образования на образце шейки и его разрушения. Зафиксировать значение нагрузки текучести P_T и максимальной нагрузки P_B .
5. Включить машину и снять с захватов обе части разорванного образца.
6. Замерить размеры разорванного образца (l_K и d_K).

Обработка результатов

1. Записать данные замеров образца и нагрузок текучести и максимальной в табл. 1.1.
2. Вычислить предел текучести σ_D по формуле (1.3) и предел прочности σ_A по формуле (1.5) и занести в табл. 1.1.

3. Определить относительное удлинение δ по формуле (1.7) и относительное сужение ψ по формуле (1.8). Полученные значения занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты испытаний на растяжение

№ п/ п	Размеры образца, мм				Нагруз ка теку- чести P_T , Н	Мак- си- маль- ная нагруз ка P_B , Н	Пре- дел теку- чести σ_{δ} , МПа	Пре- дел проч- ности σ_A , МПа	Отно- си- тель- ное удли- нение δ , %	От- носи- тель- ное суже- ние ψ , %
	Диаметр		Длина							
	d_0	d_K	l_0	l_K						
1										
2										
3										

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание методов определения основных механических свойств металлов и сплавов.
3. Результаты испытаний и расчеты значений прочности и пластичности.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое прочность и как она измеряется?
2. Что такое предел прочности?
3. Что такое пластичность?
4. Что представляют собой статические испытания?
5. Что представляет собой диаграмма растяжения?
6. В каких единицах измерения определяются характеристики прочности?
7. В каких единицах измерения определяются характеристики пластичности?
8. Какие образцы используются для испытания на растяжение?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО БРИНЕЛЛЮ

Цель работы. Усвоить понятие твердости, изучить метод ее определения по Бринеллю. Приобрести навыки измерения твердости методом Бринелля.

Материалы и оборудование. Прибор для измерения твердости по Бринеллю.
Образцы из углеродистой стали и цветных сплавов.
Таблицы перевода значений твердости.

Общие сведения

Одним из методов неразрушающего контроля механических свойств металлов является определение твердости.

Твердость - способность материала 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.

Измерение твердости по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59)

Сущность этого метода состоит в том, что в испытуемый материал под действием нагрузки P в течение определенного времени τ вдавливаются стальной закаленный или твердосплавной шарик диаметром D (1; 2; 2,5; 5 и 10 мм). В результате образуется отпечаток диаметром d (рис. 2.1).

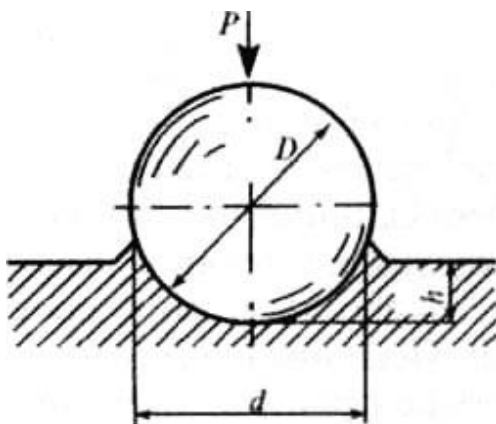


Рис. 2.1. Схема измерения твердости методом Бринелля

Число твердости по Бринеллю HB (HBW) – это отношение нагрузки P к площади полученного сферического отпечатка F и определяется по формуле

$$HB (HBW) = P / F, \text{ МПа.} \quad (2.1)$$

Площадь поверхности сферического отпечатка F (мм^2) рассчитывается по формуле

$$F = \frac{\pi D (D^2 - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}, \quad (2.2)$$

где D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр отпечатка, мм.

Тогда число твердости по Бринеллю HB

$$HB = \frac{0,102 P}{\frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}}, \text{ МПа} \quad (2.3)$$

где P – нагрузка, приложенная к шарика, Н.

При испытании твердости по Бринеллю материалов с твердостью больше 450 HB используют шарик из твердого сплава с твердостью 15000 МПа и обозначают буквами « HBW ».

Из формулы (2.3) следует, что для получения одинаковых значений HB одного и того же образца при использовании шариков разного диа-

метра отношение $P/D^2 = K$ и d/D должно быть постоянным (соблюдение геометрического подобия отпечатков).

Перед испытаниями необходимо выбрать диаметр шарика и соответствующую нагрузку.

Рекомендуемые диаметры шариков и соответствующие нагрузки для различных металлических материалов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Рекомендуемые для измерения твердости по Бринеллю нагрузки P и диаметры шариков D

Материал	Твердость по Бринеллю	$P = 10 K D^2$, Н			
		$K D^2$	D , мм		
			10	5	2,5
Стали, чугуны, высокопрочные сплавы	130 – 450	$30D^2$	30000	7500	1875
Медь и сплавы на ее основе	35-130	$10D^2$	10000	2500	625
Алюминий, магний, цинк и сплавы на их основе	20 – 80	$5D^2$	5000	1250	312,5
Подшипниковые сплавы	8 – 50	$2,5D^2$	2500	625	156,25
Мягкие металлы при повышенных температурах	до 10 – 20	$0,5D^2$	500	125	31,25

Продолжительность выдержки образца под нагрузкой: для сталей – 10с; для сплавов на основе алюминия и меди – 30с; для подшипниковых сплавов, свинца, олова – 60с.

Произведя вдавливание стального шарика диаметром D в поверхность образца под нагрузкой P в течение определенного времени τ , получаем отпечаток диаметром d .

Диаметр образующегося сферического отпечатка измеряется микроскопом или специальной лупой – компаратором.

Лупа (рис. 2.2) имеет шкалу, малое деление которой равно 0,1 мм. Нижней опорной частью лупа плотно устанавливается на испытываемую поверхность образца над отпечатком. Поворачивая окуляр, необходимо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены.

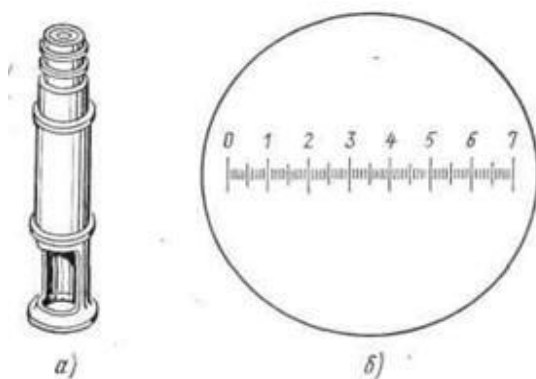


Рис. 2.2. – Лупа для измерений отпечатков

Затем, передвигая лупу, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы (рис. 2.3). Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отсчет и будет соответствовать размеру диаметра отпечатка.

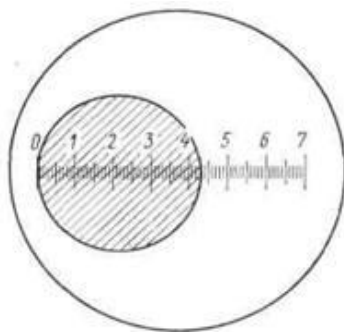


Рис. 2.3. Отсчет по шкале лупы

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твердости по приведенной формуле (2.3), на практике пользуются стандартной таблицей (табл.2.2), которая дает перевод диаметра отпечатка в число твердости *HB*.

Таблица 2.2
Значение твердости по Бринеллю в зависимости от диаметра отпечатка

Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке $P = 10 \text{ KD}^2$ в Н			Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке $P = 10 \text{ KD}^2$ в Н		
	K				K		
	30	10	2,5		30	10	2,5
1	2	3	4	5	6	7	8
2,90	444	-	-	4,50	179	59,5	14,9
2,95	429	-	-	4,55	174	58,1	14,5
3,0	415	-	34,6	4,60	170	56,8	14,2
3,05	401	-	33,4	4,65	167	55,5	13,9
3,10	388	129	32,3	4,70	163	54,3	13,6
3,15	375	125	31,3	4,75	159	53,0	13,3
3,20	368	121	30,3	4,80	156	51,9	13,0
3,25	352	117	29,3	4,85	152	50,7	12,7
3,30	341	114	28,4	4,90	149	49,6	12,4
3,35	331	110	27,6	4,95	146	48,6	12,2
3,40	321	107	26,7	5,00	143	47,5	11,9
3,45	311	104	25,9	5,05	140	46,5	11,6
3,50	302	101	25,2	5,10	137	45,5	11,4
3,55	293	97,7	24,5	5,15	134	44,6	11,2
3,60	285	95	23,7	5,20	131	43,7	10,9
3,65	277	92,8	23,1	5,25	128	42,8	10,7
3,70	269	89,7	22,4	5,30	126	41,9	10,5
3,75	262	87,2	21,8	5,35	123	41,0	10,3
3,80	255	84,9	21,2	5,40	121	40,2	10,1
3,85	248	82,6	20,7	5,45	118	39,4	9,86
3,90	241	80,4	20,1	5,50	116	38,6	9,66
3,95	235	78,3	19,6	5,55	114	37,9	9,46
4,0	229	76,3	19,1	5,60	111	37,4	9,27
4,05	223	74,3	18,6	5,65	109	36,4	9,10
4,10	217	72,4	18,4	5,70	107	35,7	8,93
4,15	212	70,6	17,6	5,75	105	35,0	8,76
4,20	207	68,8	17,2	5,80	103	34,3	8,59
4,25	201	67,1	16,8	5,85	101	33,7	8,43
4,30	197	65,5	16,4	5,90	99,2	33,1	8,26
4,35	192	63,9	16,0	5,95	97,3	32,4	8,11
4,40	187	62,4	15,6	6,00	95,5	31,8	
4,45	188	60,9	15,2				

Обозначения $2d_5$ и $4d_{2,5}$ указывают, что для определения числа твердости при испытании шариком 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком 2,5 мм — на 4. Например, для отпечатка диаметром 1,65 мм, полученного при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 7500 Н, число твердости следует искать в таблице для отпечатка 3,30 мм; оно равно 341.

Измерение твердости по Бринеллю осуществляется на специальном приборе типа ТБ 2109 (рис. 2.4).

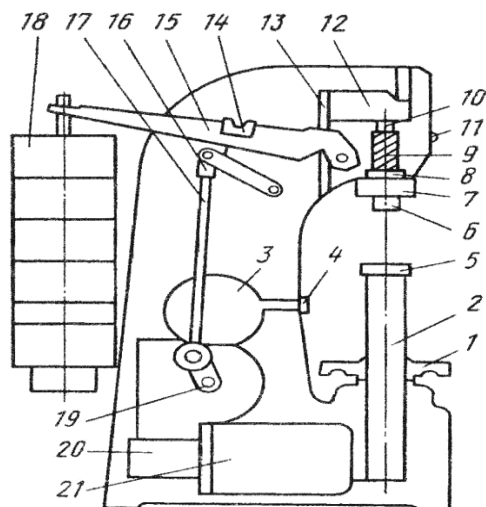


Рис. 2.4. Схема прибора для определения твердости по Бринеллю: 1 – маховик; 2 – подъемный винт; 3 – шкала времени выдержки; 4 – выключатель; 5 – опорный столик; 6 – шпиндель для индикатора; 7 – упорный чехол; 8 – втулка; 9 – пружина; 10 – шпиндель; 11 – сигнальная лампа; 12, 15 – рычаги; 13 – серьга; 14 – переключатель; 16 – вилка; 17 – шатун; 18 – грузы; 19 – кривошип; 20 – редуктор; 21 – электродвигатель

Между пределом прочности σ_A и числом твердости по Бринеллю HB для многих металлов и сплавов существует линейная зависимость

$$\sigma_A = 10 k HB, \text{ МПа.} \quad (2.4)$$

В этой формуле коэффициент k определяется экспериментально, зависит от вида металла и имеет следующие значения:

для стали с твердостью до 450 HB	0,35;
для литейных алюминиевых сплавов	0,25;
для деформируемых алюминиевых сплавов	0,38;
для латуни и бронзы	0,45.

Несмотря на широкое распространение метода Бринелля, он имеет ряд недостатков:

- отсутствие геометрического подобия отпечатков;
- невозможность испытания материалов после химико-термической обработки из-за малой толщины
- невозможность испытания по Бринеллю мелких деталей.

Порядок выполнения работы

1. Для испытуемых образцов выбрать нагрузку и диаметр шарика.
2. Оправку с шариком требуемого диаметра установить в гнездо и закрепить зажимным винтом.
3. Необходимая нагрузка подбирается сменными грузами. Общий вес всех грузов соответствует нагрузке на шарик, равный 30000 Н.
4. Подготовленный с зачищенной поверхностью образец установить на столик твердомера.
5. Вращением маховика подвести образец к шарiku до упора.
6. Включить электродвигатель для автоматического внедрения индентора в испытуемый материал с последующей выдержкой под нагрузкой, снятием нагрузки и автоматического отключения прибора.
7. Опустить столик, снять образец.
8. С помощью лупы с ценой деления 0,1мм измерить диаметр отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях, определив среднее значение.
9. Определить число твердости по Бринеллю, используя специальную таблицу (табл. 2.2), где приведены рассчитанные значения HB для различных диаметров отпечатков, или рассчитав по формуле (2.3).
10. Результаты занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Марка металла	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , Н	Время выдержки, с	Диаметр отпечатка d , мм	Твердость по Бринеллю, HB	Предел прочности σ_A , МПа

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание определения твердости по методу Бринелля.
3. Результаты испытаний твердости по Бринеллю.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость металлов?
2. Какие существуют методы определения твердости металлов?
3. Сущность измерения твердости по Бринеллю.
4. До какого значения твердости при испытании по Бринеллю используются стальные шарики?
5. Какого диаметра шарики используются при испытании на твердость по Бринеллю?
6. Из каких условий выбирается диаметр шарика при испытании на твердость по Бринеллю?
7. Как обозначается твердость, определенная по Бринеллю, и как она рассчитывается?
8. Какая существует зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО РОКВЕЛЛУ

Цель работы. Усвоить понятие твердости, изучить метод ее определения по Роквеллу. Приобрести навыки измерения твердости методом Роквелла.

Материалы и оборудование. Прибор для измерения твердости по Роквеллу.
Образцы из углеродистой стали и цветных сплавов.
Таблицы перевода значений твердости.

Общие сведения

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.

Указанные методы регламентированы соответствующими ГОСТами. В данном лабораторном практикуме рассматриваются только наиболее распространенные методы, к которым относятся: метод измерения твердости по Бринеллю (лабораторная работа №2) и метод измерения твердости по Роквеллу (лабораторная работа №3).

Измерение твердости по методу Роквеллу (ГОСТ 9013-59)

Метод Роквелла был предложен в 1920 г. и в настоящее время получил самое широкое распространение. Это объясняется, во-первых, упрощенной процедурой определения твердости, когда число твердости

считывается непосредственно со шкалы прибора, а во-вторых, его универсальностью – с его помощью можно испытывать массивные и тонкие образцы из твердых и мягких материалов. В качестве индентора используется алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм и стальной шарик диаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма).

В отличие от измерений по методу Бринелля твердость определяют по глубине отпечатка, а не по его площади. Глубина отпечатка измеряется в самом процессе вдавливания, что значительно упрощает испытание. Нагрузка прилагается последовательно в две стадии (рис. 3.1): в испытуемый металл 1 вдавливаются наконечник 2 под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок: предварительной $P_0 = 100$ Н (для устранения влияния упругой деформации и различной степени шероховатости), а затем основной P_1 . Под нагрузкой P_0 индентор внедряется на глубину h_0 , при общей нагрузке $P = P_0 + P_1$ индентор внедряется на глубину h .

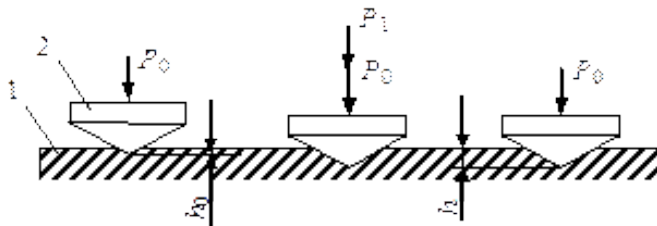


Рис. 3.1. Схема измерения твердости по Роквеллу

После приложения предварительной нагрузки индикатор, измеряющий глубину отпечатка, устанавливается на нуль. Когда отпечаток получен приложением окончательной нагрузки, основную нагрузку снимают и измеряют остаточную глубину проникновения наконечника h .

Твердость по методу Роквелла можно измерять:

- алмазным конусом с общей нагрузкой 1500 Н. Твердость измеряется по шкале С и обозначается HRC (например, 65 HRC). Таким образом определяют твердость закаленной и отпущенной сталей, материалов средней твердости, поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм;
- алмазным конусом с общей нагрузкой 600 Н. Твердость измеряется по шкале А, совпадающей со шкалой С, и обозначается HRA. Применяется для оценки твердости очень твердых материалов, тонких поверхностных слоев (0,3 ... 0,5 мм) и тонколистового материала;
- стальным шариком с общей нагрузкой 1000 Н. Твердость обозначается

HRB и измеряется по красной шкале В. Так определяют твердость мягкой (отожженной) стали и цветных сплавов.

Твердость измеряют на приборе Роквелла (рис.3.2).

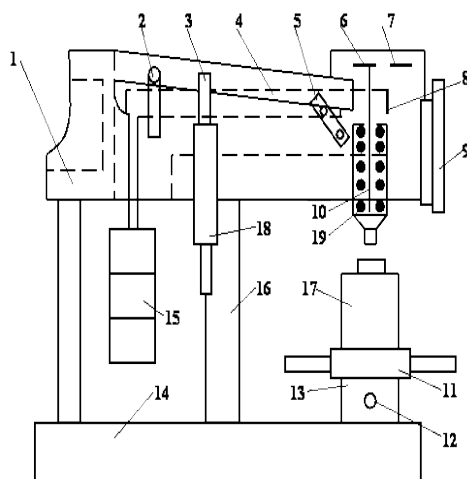


Рис. 3.2. Прибор для измерения твердости по Роквеллу:

1 – поперечина; 2 – подвеска; 3 – шток амортизатора; 4 – рычаг; 5 – рукоятка; 6 – винт; 7 – крышка; 8 – рычажок; 9 – призма; 10 – шпиндель с закрепленным на его конце индентором; 11 – маховик для перемещения образца; 12 – шпонка; 13 – направляющая втулка; 14 – станина; 15 – грузы; 16 – стойка; 17 – подъемный винт; 18 – масляный амортизатор; 19 – пружина

Прибор для измерения твердости по Роквеллу имеет шкалы *A*, *B*, *C*.

Отсчет шкалам *A* и *C* (на циферблате индикатора прибора эти шкалы имеют черный цвет) производится при вдавливании в испытуемый образец алмазного наконечника. Твердость обозначается: *HRA*, *HRC*.

Отсчет по шкале *B* (на циферблате индикатора прибора эта шкала красного цвета) производится при вдавливании в образец стального шарика под действием соответствующих нагрузок. Твердость обозначается: *HRB*.

Число твердости по Роквеллу (*HR*) измеряется в условных единицах и является мерой глубины вдавливания индентора под определенной нагрузкой, считанное по индикатору прибора. Перемещение основной

стрелки индикатора на одно деление шкалы соответствует перемещению индентора на 0,002 мм. Это число и принимается за единицу твердости.

При измерении алмазным конусом используются шкалы A и C , имеющие 100 делений. Твердость HRC (HRA) вычисляется по формуле

$$HRC (HRA) = 100 - \frac{h - h_0}{C}, \quad (3.1)$$

где h – глубина внедрения наконечника в испытуемый металл под действием общей нагрузки, мм;

h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый металл под действием предварительной нагрузки, мм;

C – постоянная величина, равная 0,002 мм.

При вдавливании шарика число твердости HRB находится по формуле

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{C}. \quad (3.2)$$

Значения P_0 , P_1 , P и диапазон измерений твердости по Роквеллу представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Инденторы и нагрузки P , рекомендованные для измерения твердости по Роквеллу

Инденторы	P_0	P_1	P	Диапазон измерений единиц твердости
	Н			
Конус	100	500	600	20 - 88
Конус	100	1400	1500	20 - 77
Конус	100	900	1000	40 - 77
Шарик $d = 1,588$ мм	100	900	1000	20 - 100
Шарик $d = 3,175$ мм	100	900	1000	70 - 100
Шарик $d = 1,588$ мм	100	500	600	60 - 100
Шарик $d = 1,588$ мм	100	1400	1500	30 - 94
Шарик $d = 3,175$ мм	100	500	600	80 - 100
Шарик $d = 3,175$ мм	100	1400	1500	10 - 40

Число твердости по Роквеллу можно пересчитать на числа твердости по Бринеллю с помощью специальной таблицы (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Перевод твердости по Роквеллу на твердость по Бринеллю

Твердость по Роквеллу		Твердость по Бринеллю, НВ	Твердость по Роквеллу по шкале В	Твердость по Бринеллю, НВ
По шкале С	По шкале А			
70	86,5	-	100	240
69	86,0	-	99	234
68	85,5	-	98	228
67	85,0	-	97	222
66	84,5	-	96	216
65	84,0	-	95	210
64	83,5	-	94	205
63	83,0	-	93	200
62	82,5	-	92	195
61	81,5	-	91	190
60	81,0	-	90	185
59	80,5	-	89	180
58	80,0	-	88	176
57	79,5	-	87	172
56	79,0	-	86	169
55	78,5	-	85	165
54	78,0	-	84	162
53	77,5	-	83	159
52	77,0	-	82	156
51	76,5	-	81	153
50	76,0	-	80	150
49	75,5	-	79	147
48	74,5	-	78	144
47	74,0	448	77	141
46	73,5	437	76	139
45	73,0	425	75	137
44	72,5	415	74	135
42	71,5	393	72	130
40	70,5	372	70	125
38	-	352	68	121
36	-	332	66	117
34	-	313	64	114
32	-	297	62	110
30	-	283	60	107
28	-	270	-	-
26	-	260	-	-
24	-	50	-	-
22	-	240	-	-
20	-	230	-	-

Преимущество метода Роквелла по сравнению с методом Бринелля заключается в том, что значение твердости по методу Роквелла фиксируется непосредственно стрелкой индикатора, при этом отпадает необходимость в оптическом измерении размеров отпечатка.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать условия испытания – индентор и соответствующие основные усилия.
2. Установить образец на столик.
3. Вращением маховика подвести образец к индентору, при этом начинается вращение большой и малой стрелок на циферблате прибора. Вращением маховика осуществлять до тех пор, пока малая стрелка не совместится с красной точкой. При этом осуществляется внедрение индентора с предварительным усилием $P_0 = 100$ Н.
4. Большую стрелку всегда совмещают с «0» черной шкалы C (S, A) независимо от индентора.
5. Включить электродвигатель кнопкой.
6. Приложить общее усилие, при этом большая стрелка начинает вращаться. После остановки большая стрелка показывает число твердости.
7. Зафиксировать положение стрелки прибора по одной из шкал. При использовании конуса число твердости считывается по «черной» шкале, для шарика – по «красной» шкале.
8. Отвести образец от индентора, отключить прибор от сети.
9. Твердость по Роквеллу перевести в твердость по Бринеллю (табл. 3.2).
10. Результаты измерений занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты измерений твердости по Роквеллу

Марка металла	Индентор	Усилие P , Н	Шкала	Твердость по Роквеллу, HR	Твердость по Бринеллю, HB

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание определения твердости по методу Роквелла.
3. Результаты испытаний твердости по Роквеллу.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость металлов?
2. Какие существуют методы определения твердости металлов?
3. Сущность измерения твердости по Роквеллу.
4. Как обозначается твердость, измеренная по методу Роквелла?
5. Какие инденторы используются при измерении твердости методом Роквелла?
6. Какие шкалы существуют при измерении твердости по Роквеллу?
7. Какое усилие применяется при измерении твердости по Роквеллу?
8. Какая последовательность измерения твердости по методу Роквелла?
9. Какое достоинство метода Роквелла по сравнению с методом Бринелля?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «СВИНЕЦ – СУРЬМА»

Цель работы. Освоить методику построения диаграммы состояния сплавов системы «свинец – сурьма». Изучить правила фаз и отрезков.

Материалы и оборудование. Диаграммы состояния двойных сплавов.

Общие сведения

Основные материалы, применяемые в технике сплавы, – сплавы, а не чистые металлы.

Сплавы – это сложные вещества, полученные сплавлением двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие сплав. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения.

Система – это совокупность фаз, находящихся в равновесии.

Фаза – это однородная часть системы, имеющая одинаковый состав, свойства, кристаллическое строение, границу раздела, при переходе через которую свойства меняются скачком.

Структура – это форма, размеры и характер взаимного расположения фаз.

Строение сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, образующие сплав. В связи с этим могут быть образованы три вида сплавов: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Фазовые и структурные изменения, происходящие в сплавах, описываются с помощью диаграмм состояния сплавов.

Диаграмма состояния – это графическое изображение равновесного состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации.

Диаграммы состояния сплавов необходимы для практических и теоретических целей. Зная диаграмму, можно представить полную картину формирования структуры любого сплава, определить температуру плавления и кристаллизации сплава, определить режимы термической обработки и обработки сплава давлением и т.д.

Построение диаграмм рассмотрим на примере двухкомпонентных сплавов *Pb-Sb* (рис. 4.1).

Диаграмму состояния строят в координатах **температура – концентрация**. По оси ординат откладывают температуру (°C), по оси абс-

числ – массовую долю компонентов *Pb* и *Sb* (от 100 % одного до 100 % другого).

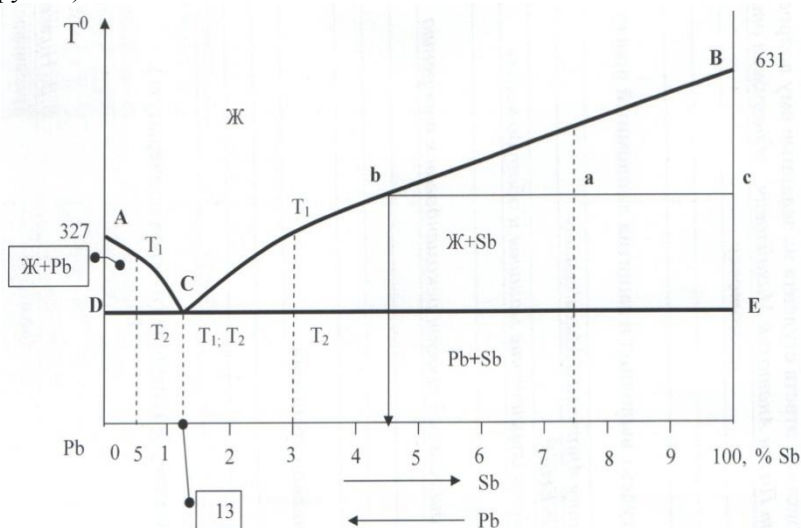


Рис. 4.1. Диаграмма состояния Pb-Sb

Крайние ординаты на диаграмме соответствуют чистым компонентам *Pb* и *Sb*, а ординаты между ними – двойным сплавам.

Существует несколько способов построения диаграмм состояния, но наиболее простой и достаточно точный – термический метод.

Для построения диаграмм состояния данным методом необходимо экспериментально определить критические точки (температуры фазовых превращений) как для чистых компонентов *Pb* и *Sb*, так и для сплавов различных концентраций. Чтобы установить критические точки, необходимо:

- расплавить чистые компоненты *Pb* и *Sb* и ряд сплавов с их различным составом, провести их медленное охлаждение, фиксируя зависимость понижения температуры от времени охлаждения;
- построить кривые охлаждения каждого сплава, которые представляют собой графические зависимости изменения температуры сплава T от времени охлаждения τ (рис. 4.2);
- по перегибам и остановкам на кривых охлаждения определить критические температуры, при которых происходят фазовые превращения.

Далее следует перенести полученные критические точки на ординаты соответствующих сплавов.

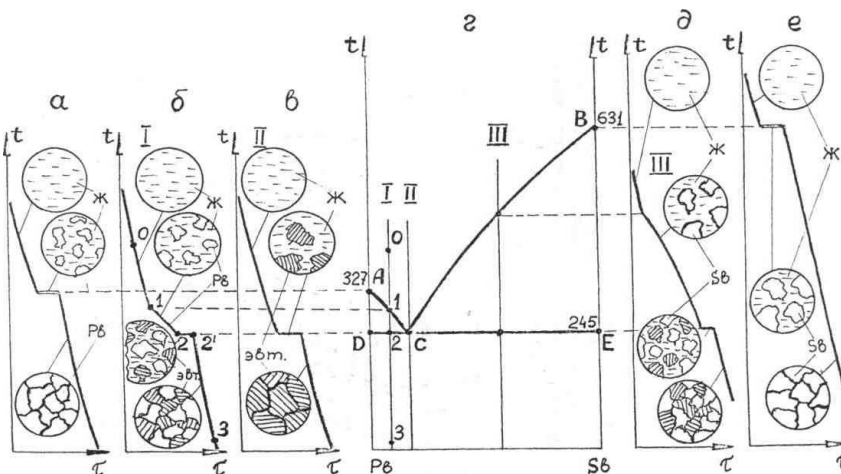


Рис.4.2. Кривые охлаждения:

а – свинца; *б* – сплава, содержащего 5 % Sb и 95 % Pb; *в* –сплава, содержащего 13 % Sb и 87 % Pb; *д* - сплава, содержащего 60 % Sb и 40 % Pb; *е* - сурьмы

После нанесения всех критических точек, плавной линией соединяют критические точки, соответствующие температурам начала кристаллизации сплавов, и точки кристаллизации чистых металлов – свинец $Pb = 327^\circ C$, сурьма $Sb = 631^\circ C$. Полученная линия ACB с критическими точками начала кристаллизации жидкого сплава, называется линией ликвидус.

Далее соединяют линией критические точки, характеризующие конец кристаллизации. Полученная линия DCE , проведенная через точки конца кристаллизации, называется линией солидус.

Выше линии ликвидус сплав находится в жидком состоянии, ниже линии солидус - в твердом. Сплав, содержащий 13% Sb, является эвтектическим. Сплавы, в которых Sb меньше 13%, называются доэвтектическими; если содержание Sb больше 13%, то такие сплавы являются заэвтектическими.

В доэвтектических сплавах (для примера сплав, содержащий 5 % Sb и 95 % Pb) кристаллизация сплава (рис. 4.2.б) начинается при температуре T_1 и протекает при переменной температуре до T_2 .

В интервале температур $T_1 - T_2$ из жидкости выделяются кристаллы избыточного компонента (Pb).

Если из жидкости выделяются кристаллы Pb, то концентрация Pb в жидкой фазе уменьшается, а концентрация Sb в жидкой фазе увеличи-

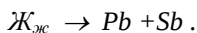
вается. В процессе кристаллизации концентрация компонентов в жидкой фазе изменяется и стремится к такой концентрации (13% *Sb* и 87% *Pb*), когда оба компонента *Pb* и *Sb* из жидкости кристаллизуются совместно. Одновременная кристаллизация сурьмы и свинца протекает при постоянной температуре.

В эвтектическом сплаве, содержащем 13 % *Sb* и 87 % *Pb* , из жидкой фазы происходит одновременная кристаллизация обоих компонентов (рис. 4.2.в). В результате образуется однородная механическая смесь. Структура, состоящая из двух или более твердых фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости, называется эвтектикой.

В заэвтектическом сплаве, содержащем 60% *Sb* и 40% *Pb*, процесс кристаллизации начинается при температуре T_1 . Из жидкой фазы начинают кристаллизоваться кристаллы компонента, находящегося в избытке относительно эвтектической концентрации, т.е. *Sb* (рис. 4.2.д). Если из жидкости выделяются кристаллы сурьмы, то в процессе кристаллизации жидкая фаза обогащается свинцом. Когда концентрация компонентов в жидкой фазе достигнет эвтектической концентрации (т.е. 13% *Sb* и 87% *Pb*), то начнется совместная кристаллизация обоих компонентов при постоянной температуре T_2 .

Кривые охлаждения показывают, что все сплавы системы *Pb* - *Sb* окончательно затвердевают при постоянной температуре - T_2 . Это дает основание считать, что затвердевшая при постоянной температуре T_2 часть жидкого сплава имеет постоянный состав. Такому составу соответствует сплав, содержащий 13 % *Sb* и 87 % *Pb*. Для сплавов типа механические смеси температура конца кристаллизации не зависит от концентрации сплава, она постоянна для всех сплавов. Температура начала кристаллизации изменяется в зависимости от концентрации компонентов в сплаве.

Таким образом, в процессе кристаллизации доэвтектических и заэвтектических сплавов концентрация жидкой фазы изменяется и стремится к эвтектической. На линии *DCE* из жидкости эвтектической концентрации одновременно выделяются кристаллы *Pb* и *Sb*, т.е. кристаллизуется эвтектика



Правило фаз

Диаграмма состояния дает представление о процессах кристаллизации сплавов, показывает области существования сплавов в жидком и твердом состояниях и интервал кристаллизации, позволяет определять равновесный состав жидкой и твердой фаз на любой стадии кристаллизации.

Процесс кристаллизации подчиняется правилу фаз, которое дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количеством фаз и компонентов.

Для условий, когда все превращения происходят при постоянном давлении, правило фаз выражается уравнением

$$C = K + n - f, \quad (4.1)$$

где C – число степеней свободы системы;

K – число компонентов;

N – число внешних факторов;

f – число фаз.

Под **числом степеней свободы** системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения числа фаз. Так как диаграммы состояния рассматриваются при постоянном давлении, то формула (4.1) принимает следующий вид:

$$C = K + 1 - f. \quad (4.2)$$

Применим правило фаз к сплаву I (рис.4.2,з), кривая охлаждения показана на рис. 4.2, б.

В точке 0 сплав находится в жидком состоянии $C_0 = 2 + 1 - 1 = 2$. Сплав жидкий, компонентов два – свинец и сурьма. Фаза одна – жидкий сплав. Число степеней свободы две. Это значит, что можно менять в известных пределах температуру, а также можно изменять концентрацию жидкого раствора, добавляя к нему свинец или сурьму, а сплав останется однофазным (жидкий раствор).

На участке 0 – 1 происходит охлаждение жидкого сплава, $C_{0-1} = 2 + 1 - 1 = 2$. Сплав жидкий.

В точке 1 начинается процесс кристаллизации жидкого сплава в виде свинца. $C_1 = 2 + 1 - 2 = 1$. Компонентов два – свинец и сурьма, фазы две – жидкий сплав и свинец.

На участке 1 – 2 из жидкого сплава кристаллизуется свинец. $C_{1-2} = 2 + 1 - 2 = 1$. Компонентов два – свинец и сурьма, фазы две – жидкий сплав и свинец. Число степеней свободы равно единице. Это означает, что выделение кристаллов свинца происходит только при изменении температуры.

В точке 2 сплав пересекает линию DCE, на которой заканчивается процесс кристаллизации жидкого сплава. Жидкий сплав концентрации точки С кристаллизуется в виде механической смеси кристаллов свинца

и сурьмы – **эвтектики**. $C_2 = 2 + 1 - 3 = 0$. Компонентов два – свинец и сурьма, фазы три – жидкий сплав, свинец и сурьма.

Это значит, что процесс кристаллизации эвтектики происходит при постоянной температуре, причем концентрация сурьмы в каждой фазе строго постоянна, а именно: в жидком растворе 13 % *Sb*, в твердых кристаллах сурьмы 100 % *Sb*, в твердых кристаллах свинца 100 % *Pb*. На кривой охлаждения появляется площадка 2 - 2'. $C_{2-2'} = 2 + 1 - 3 = 0$.

На участке 2' – 3 протекает охлаждение закристаллизовавшегося сплава. $C_{2-3} = 2 + 1 - 2 = 1$. Компонентов два – свинец и сурьма, фазы две – свинец, сурьма. Это значит, что в известных пределах можно повышать или понижать температуру, но число фаз останется равным двум.

Для определения количественного соотношения фаз и концентрации фаз применяют правило отрезков или правило рычага.

Правило отрезков

Рассмотрим на диаграмме состояния системы *Pb-Sb* (рис. 4.1) сплав с исходной концентрацией *a*. При температуре *T* сплав состоит из кристаллов сурьмы и жидкости. Для определения состава фаз через заданную точку *a* проводят линию до пересечения с границами области диаграммы. Проекция точки *b* на ось концентрации покажет состав жидкой фазы, а проекция точки *c* – состав твердой фазы. Из диаграммы видно, что в процессе кристаллизации при понижении температуры, состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус и стремится к эвтектической концентрации, а состав твердой фазы остается постоянным.

При кристаллизации изменяется и соотношение фаз: количество твердой фазы увеличивается, жидкой – уменьшается.

Обозначим количество жидкой фазы через $Q_{ж}$, твердой через $Q_{тв}$, а общее количество жидкой и твердой фаз через Q . Если написать уравнение моментов относительно точки *a*, то

$$Q_{ж} \cdot ab = Q_{тв} \cdot ac ; \quad Q_{ж} / Q_{тв} = ac / ab. \quad (4.3)$$

Количество жидкой фазы

$$Q_{ж} / Q = ac / bc ; \quad Q_{ж} = (ac / bc) \cdot 100\% . \quad (4.4)$$

Количество твердой фазы

$$Q_{тв} / Q = ab / bc ; \quad Q_{тв} = (ab / bc) \cdot 100\% . \quad (4.5)$$

Порядок выполнения работы

1. Начертить диаграмму состояния сплавов системы «свинец – сурьма».
2. На диаграмме обозначить буквами линии диаграммы состояния сплавов и указать линии *ликвидус*, *солидус* и *линию эвтектического превращения*.
3. Заполнить области диаграммы состояния, ограниченные линиями, указав структурный состав сплавов.
4. С помощью правила фаз проанализировать кривые охлаждения сплавов, указанных преподавателем.
5. Для предложенного преподавателем сплава определенного состава и температуры применить правило отрезков, определив концентрацию и количественный состав фаз.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Привести диаграмму состояния сплавов системы «свинец – сурьма».
3. Описать сущность термического метода исследования сплавов.
4. Анализ процесса кристаллизации сплавов (по заданию преподавателя).
5. Привести графики кривых охлаждения для сплавов.
6. Привести данные расчетов концентрации и количественного состава фаз.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое диаграмма состояния сплавов?
2. В чем сущность термического метода исследования сплавов?
3. Что такое критические точки сплава?
4. Как определить критические точки?
5. Что происходит на линии ликвидус?
6. Что происходит на линии солидус?
7. Что происходит на линии эвтектического превращения?
8. Что понимают под числом степеней свободы?
9. Сформулировать правило фаз.
10. Как с помощью правила отрезков определить концентрацию и количественный состав фаз?
11. Какие сплавы являются эвтектическими, доэвтектическими и заэвтектическими?
12. Каково практическое применение диаграмм состояния?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД»

Цель работы. Изучить диаграмму состояния сплавов «железо-углерод» и ее структурные составляющие; превращения, происходящие в сплавах при нагреве и охлаждении.

Материалы и оборудование. Диаграмма «железо-углерод».
Микроскоп МИМ-6.
Набор микрошлифов.

Общие сведения

Диаграмма состояния сплавов железа с углеродом имеет большое практическое значение, так как позволяет прогнозировать структуру а, следовательно, физико-химические, механические и технологические свойства сплавов при различных видах термической обработки, при обработке давлением, а также при изучении металлургических процессов.

Хотя технические сплавы на железной основе помимо железа и углерода содержат некоторое количество постоянных примесей (марганец, кремний, фосфор и сера), тем не менее диаграмма «железо-углерод» достаточно точно определяет структуру сталей и чугунов при нагревании и охлаждении.

Железо – металл серебристо-серого цвета. Температура плавления – 1539 °С. Железо пластично, ферромагнитно (до температуры 768°С – точка Кюри) и обладает достаточно высокой стойкостью к коррозии. В твердом состоянии железо может находиться в двух полиморфных модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах 911°С и 1392°С. Модификация α существует при температурах ниже 911°С. Кристаллическая решетка α -железа (Fe_α) – объемно центрированный куб (ОЦК). Вторая модификация γ -железо (Fe_γ) существует при температуре 911 – 1392 °С. Кристаллическая решетка – гранецентрированная кубическая (ГЦК). В интервале 1392 – 1539 °С существует δ -железо с кристаллической решеткой объемно центрированного куба (ОЦК).

Углерод – неметаллический элемент с температурой плавления 3500 °С. В обычных условиях углерод находится в виде модификации графита, но может существовать в виде алмаза. В железоуглеродистых

сплавах углерод может находиться в виде графита, в твердых растворах на основе α - и γ -железа и в составе химического соединения Fe_3C .

В железоуглеродистых сплавах при нагревании и охлаждении образуются следующие структурные составляющие: твердые растворы (феррит и аустенит), химическое соединение (цементит) и механические смеси (ледебурит и перлит).

Феррит (Ф) - твердый раствор углерода и других примесей в α -железе. Максимальное содержание углерода $C = 0,02\%$ при температуре 727°C и $0,006\%$ при комнатной температуре. Феррит – мягкая, пластичная структура, твердость и прочность феррита невысоки ($\sigma_B = 250$ МПа, $HB = 800$ МПа, $\delta = 40\%$).

Аустенит (А) - твердый раствор углерода и других примесей в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе – $2,14\%$ при температуре 1147°C и $0,8\%$ при 727°C . Ниже температуры 727°C аустенит распадается. Аустенит тверже и прочнее феррита: $\sigma_A = 600$ МПа, $HB = 1800 - 2000$ МПа. При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe_3C , содержащий $6,67\%$ С. Температура плавления цементита точно не определена. К характерным особенностям цементита относятся высокая твердость ($HB - 8000$ МПа) и очень малая пластичность (δ около 0%).

Ледебурит (Л) – механическая смесь аустенита и цементита, которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией $C = 4,3\%$ при постоянной температуре 1147°C . Ледебурит – эвтектическая смесь, твердая и хрупкая: $HB = 5000$ МПа, $\delta = 1 - 2\%$.

Перлит – механическая смесь феррита и цементита, которая кристаллизуется из аустенита при постоянной температуре 727°C . Содержание углерода в перлите $C = 0,8\%$. Перлит – эвтектоидная смесь средней прочности и пластичности: $\sigma_A = 650$ МПа, $HB = 2000$ МПа, $\delta = 20\%$.

Диаграмма сплавов «железо – углерод» имеет пять фаз: жидкий сплав, цементит, феррит, аустенит и графит.

Углерод может находиться в виде **цементита** и **графита**. В связи с этим, существуют два варианта диаграмм состояния сплавов железа с углеродом – «железо – цементит» и «железо – графит». Большое практическое значение имеет диаграмма «железо – цементит», так как с ее помощью объясняют не только превращения в сталях и белых чугунах, но и осуществляют рациональный выбор оптимальных режимов термической обработки железоуглеродистых сплавов.

Анализ диаграммы состояния сплавов «железо – цементит»

Диаграмма состояния «железо – цементит» приведена на рис. 5.1.

Каждая точка диаграммы характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре и концентрации.

Точка A ($T = 1539^{\circ}\text{C}$) – температура плавления (кристаллизации) чистого железа;

точка B ($T = 1499^{\circ}\text{C}$) – перитектическая точка;

точка C ($T = 1147^{\circ}\text{C}$) – эвтектическая точка;

точка D ($T = 1250^{\circ}\text{C}$) – температура плавления (кристаллизации) цементита;

точки N ($T = 1392^{\circ}\text{C}$) и G ($T = 911^{\circ}\text{C}$) – температуры полиморфных превращений железа;

точка H ($T = 1499^{\circ}\text{C}$) – точка предельной растворимости углерода в δ – железе;

точка E ($T = 1147^{\circ}\text{C}$) – точка предельной растворимости углерода в γ – железе;

точка S ($T = 727^{\circ}\text{C}$) – эвтектоидная точка;

точки P ($T = 727^{\circ}\text{C}$) и Q ($T = 20^{\circ}\text{C}$) – точки предельной растворимости углерода в α – железе;

точка M ($T = 768^{\circ}\text{C}$) – температура магнитного превращения железа (точка Кюри).

На диаграмме (рис. 5.1) показаны следующие линии:

$ABCD$ – линия *ликвидус*, показывающая температуры начала затвердевания (конца плавления) сталей и белых чугунов. При температурах выше линии $ABCD$ – сплав жидкий.

$ANJECF$ – линия *солидус*, показывающая температуры конца затвердевания (начала плавления).

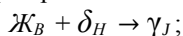
AB – линия температур начала выделения из жидкого раствора кристаллов феррита;

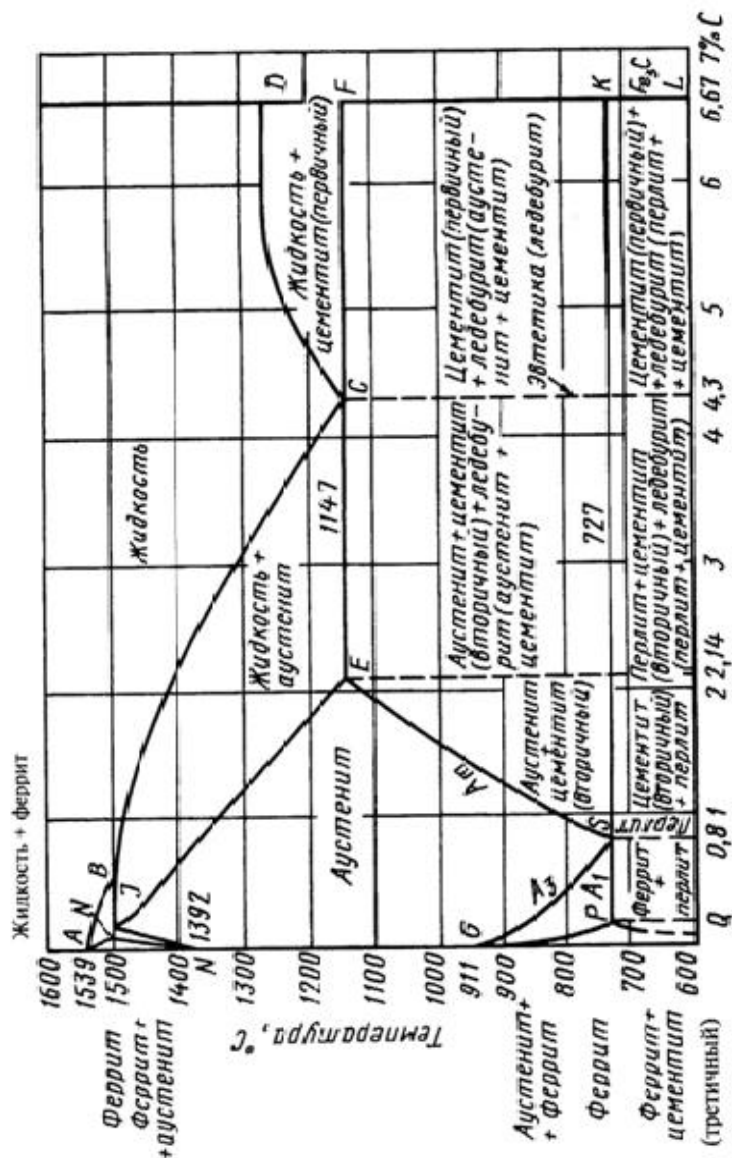
BC и CD – линии температур первичной кристаллизации соответственно аустенита и цементита;

AN – линия температур окончания затвердевания сплавов, образующих феррит.

JE – линия конца кристаллизации аустенита;

HJB – линия температур перитектического превращения при 1499°C :





HN – линия предельной растворимости углерода в δ – железе. В то же время эта линия показывает начало перехода в γ – железо при охлаждении или конец этого превращения при нагреве;

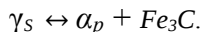
JN – линия конца перехода γ – железа в α – железо при охлаждении или начала этого превращения при нагреве;

ECF – линия эвтектического превращения $\text{ЖС} \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}$.

GS и *ES* – линии температур начала вторичных превращений (перекристаллизации). Линия *ES* также является линией предельной растворимости углерода в γ – железе в интервале температур от 1147 до 727°C. Линия *GS* показывает также температуры начала полиморфного превращения γ – железа в α – железо (выделение феррита из аустенита при охлаждении и конец обратного превращения при нагреве). Температуры превращений на линии *ES* обозначаются как критические точки A_{cm} , а на линии *GS* – A_3 .

PG – линия температур конца первичной перекристаллизации аустенита в феррит (линия изменения растворимости углерода в феррите).

PSK – линия эвтектоидного превращения аустенита состава, соответствующего составу в точке *S* ($C = 0,8\%$) при температуре 727°C:



Температуры превращений по этой линии обозначаются A_1 .

PQ – линия температур начала кристаллизации третичного цемента из феррита (линия переменной растворимости углерода в феррите при температуре от 727°C до комнатной).

MO – линия магнитного превращения феррита.

По линии ликвидуса *ABC* (при температурах, соответствующих линии *ABC*) из жидкого сплава кристаллизуется аустенит, а по линии ликвидуса *CD* – цементит, называемый первичным цементитом. В точке *C* при температуре 1147 °C и содержании 4,3 % углерода из жидкого сплава одновременно кристаллизуется аустенит и цементит первичный, образуя эвтектику, называемую **ледебуритом**. При температурах, соответствующих линии солидуса *АНJE*, сплавы с содержанием углерода до 2,14 % окончательно затвердевают с образованием структуры аустенита. На линии солидуса *EC* (1147 °C) сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 4,3 % окончательно затвердевают с образованием эвтектики ледебурита. Так как при более высоких температурах из жидкого сплава выделяется аустенит, следовательно, такие сплавы после затвердевания имеют структуру аустенит + ледебурит.

На линии солидуса *CF* (1147 °C) сплавы с содержанием углерода от 4,3 до 6,67 % окончательно затвердевают также с образованием эвтектики ледебурита. Так как при более высоких температурах из жидкого сплава выделяется цементит (первичный), следовательно, такие сплавы

после затвердевания имеют структуру – первичный цементит + ледебурит.

В области *ABCEJHA*, между линией ликвидуса *AC* и солидуса *АНJEC*, имеется жидкий сплав + кристаллы аустенита; в области *CDF*, между линией ликвидуса *CD* и солидуса *CF*, – жидкий сплав + кристаллы цементита (первичного).

В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14 % образуется однофазная структура – аустенит.

Сплавы железа с углеродом, в которых в результате первичной кристаллизации в равновесных условиях получается аустенитная структура, называют **сталями**. Следовательно, сталь – это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14 %.

Сплавы с содержанием углерода более 2,14 %, в которых при кристаллизации образуется эвтектика - ледебурит, называют **чугунами**.

Следовательно, чугун – это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,14 %. В рассматриваемой системе практически весь углерод находится в связанном состоянии, в виде цементита. Излом таких чугунов светлый, блестящий (белый излом), поэтому такие чугуны называют **белыми**.

В железоуглеродистых сплавах превращения в твердом состоянии характеризуют линии *GSE, PSK, PQ*.

Линия *GS* показывает начало превращения аустенита в феррит (при охлаждении). Следовательно, в области *GSP* имеется структура аустенит + феррит. Критические точки, лежащие на линии *GS*, обозначают *Aз*; при нагреве их обозначают *Acз*, а при охлаждении – *Arз*.

Линия *SE* показывает, что с понижением температуры растворимость углерода в аустените уменьшается. Так, при температуре 1147°C в аустените может раствориться углерода 2,14 %, а при 727°C – 0,8 %. С понижением температуры в сталях с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % из аустенита выделяется избыточный углерод в виде цементита, называемого вторичным. Следовательно, ниже линии *SE* (до температуры 727°C) сталь имеет структуру: аустенит + цементит вторичный.

Критические точки, лежащие на линии *SE*, обозначаются *A_{cm}*. В чугунах с содержанием углерода от 2,14 до 4,3 % при 1147°C, кроме ледебурита, есть аустенит, из которого тоже при понижении температуры выделяется вторичный цементит.

Следовательно, ниже линии *EC* (до температуры 727°C) белый чугун имеет структуру: ледебурит + аустенит + цементит вторичный.

Линия *PSK* (727 °C) – это линия эвтектоидного превращения. На этой линии во всех железоуглеродистых сплавах аустенит распадается, образуя структуру, представляющую собой механическую смесь феррита и цемен-

тита и называемую **перлитом**. Критические точки, лежащие на линии PSK , обозначаются A_1 . При нагреве их обозначают Ac_1 , а при охлаждении – Ar_1 .

Ниже железоуглеродистые сплавы имеют следующие структуры. Стали, содержащие углерода менее 0,8 %, имеют структуру феррит + перлит и называются **доэвтектоидными** сталями.

Сталь с содержанием углерода 0,8 % имеет структуру перлита и называется **эвтектоидной** сталью.

Стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % имеют структуру перлит + цементит (вторичный) и называются **заэвтектоидными** сталями.

Белые чугуны с содержанием углерода от 2,14 до 4,3 % имеют структуру перлит + вторичный цементит + ледебурит и называются **доэвтекктическими** чугунами.

Белый чугун с содержанием углерода 4,3 % имеет структуру ледебурита и называется **эвтекктическим** чугуном.

Белые чугуны с содержанием углерода от 4,3 до 6,67 % имеют структуру цементит первичный + ледебурит и называются **заэвтекктическими** чугунами.

Построение кривых охлаждения с помощью правила фаз

Проанализируем превращения, происходящие в сплаве с содержанием углерода 3 %. Построим кривую охлаждения с помощью правила фаз и определим состав сплава и количественное соотношение фаз с помощью правила отрезков при температуре 1300 °С.

Наносим сплав на диаграмму состояния сплавов «железо–цементит» (рис. 5.2), точки пересечения сплава с линиями диаграммы отмечаются цифрами «1», «2», «3» и т.д.

Рассчитывается число степеней свободы с помощью правила фаз на участках сплава.

$$C = K + 1 - f,$$

где C – число степеней свободы;

K – количество компонентов;

f – количество фаз.

Анализируются изменения, происходящие в сплаве при охлаждении.

На участке 0-1 происходит охлаждение жидкого сплава. Компонентов два – железо и углерод, фаза одна – жидкий сплав.

По правилу фаз

$$C_{01} = 2 + 1 - 1 = 2 \text{ (жидкий сплав).}$$

В точке 1 при пересечении сплава с линией **ликвидус** начинается процесс кристаллизации жидкого сплава с образованием аустенита.

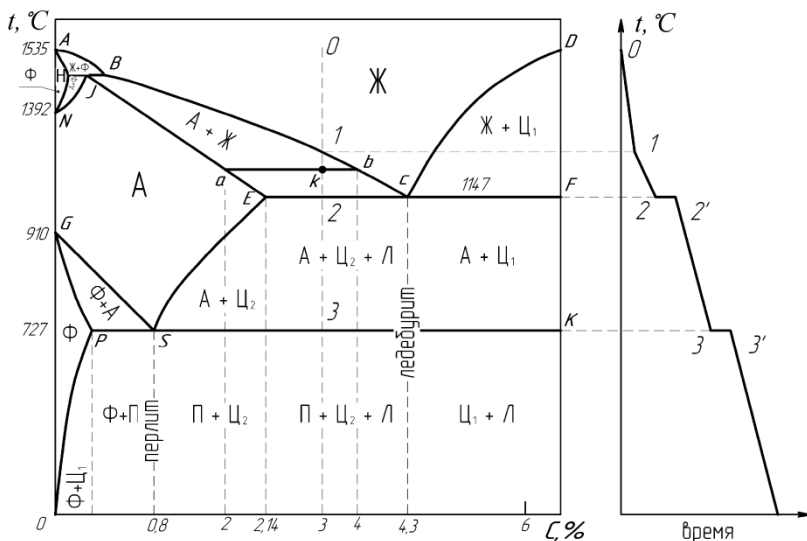


Рис. 5. 2. Кривая охлаждения сплава, содержащего 3 % углерода

Процесс протекает от точки 1 до точки 2. Компонентов два – железо и углерод; фазы две – жидкий сплав и аустенит.

$$C_{12} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (жидкий сплав, А).}$$

В точке 2 сплав пересекает линию **солидус**. Конец кристаллизации жидкого сплава. Жидкий сплав затвердевает в виде равномерной механической смеси: аустенита и цементита – ледебурита. Компонентов два, фазы три – жидкий сплав, аустенит, цементит.

$$C_{22'} = 2 + 1 - 3 = 0 \text{ (жидкий сплав, А, Ц).}$$

На участке 2'–3 из аустенита кристаллизуется цементит вторичный. Компонентов два, фазы две – аустенит, цементит.

$$C_{23} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (А, Ц).}$$

В точке 3 сплав пересекает линию **эвтектоидного** или **перлитного** превращения. На этой линии весь аустенит кристаллизуется в «перлит». Компонентов два, фазы три – аустенит, феррит, цементит.

$$C_{33'} = 2 + 1 - 3 = 0 \text{ (А, Ф, Ц).}$$

На участке 3'–4 происходит дальнейшее охлаждение сплава. Компонентов два, фазы две – феррит и цементит.

$$C_{34} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (Ф, Ц).}$$

Для определения состава и количественного соотношения фаз в точке k при температуре 1300°C через данную точку проводим каноду – горизонталь до пересечения с линиями диаграммы, ограничивающими данные фазы - точки a и b . Проекции, опущенные из точек a и b на ось концентрации, показывают концентрацию каждой фазы.

Количество жидкого сплава в точке k равно:

$$Q_{\text{ж}} = (ka / ab) \cdot 100 \, \%.$$

Количество аустенита в точке k равно:

$$Q_{\text{А}} = (kb / ab) \cdot 100 \, \%.$$

Порядок выполнения работы

1. Начертить диаграмму состояния сплавов «железо-углерод» с указанием структурных составляющих.
2. Для сплавов (по заданию преподавателя) построить кривые охлаждения с применением правила фаз.
3. Дать описание превращений, происходящих в заданных сплавах, при охлаждении от жидкого состояния до комнатной температуры.
4. Рассчитать концентрации и количественные соотношения фаз и структурных составляющих в указанных точках.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Привести диаграмму состояния сплавов системы «железо-углерод».
3. Дать определения и указать механические свойства структурных составляющих.
4. Описать превращения, происходящие на линиях диаграммы «железо-углерод».
5. Привести графики кривых охлаждения для сплавов, указанных преподавателем.
6. Привести данные расчетов концентрации и количественного состава фаз.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой диаграмма «железо-углерод»?
2. Что такое полиморфизм железа?

3. В каких состояниях может находиться углерод в железоуглеродистых сплавах?
4. Перечислите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов?
5. Что происходит на линии ликвидус?
6. Что происходит на линии солидус?
7. Что представляет собой эвтектическое превращение?
8. Что представляет собой эвтектоидное превращение?
9. Укажите на диаграмме области сталей и чугунов.
10. Какие стали называются эвтектоидными и какова их структура?
11. Какие стали называются доэвтектоидными и какова их структура?
12. Какие стали называются заэвтектоидными и какова их структура?
13. Какие чугуны называются эвтектическими и какова их структура?
14. Какие чугуны называются доэвтектическими и какова их структура?
15. Какие чугуны называются заэвтектическими и какова их структура?
16. Как определяется состав и количество фаз по диаграмме?
17. Каково практическое значение диаграммы «железо-углерод»?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Цель работы. Изучить классификацию и маркировку сталей и чугунов.

Изучить микроструктуры сталей в равновесном состоянии, установить зависимости между структурами и механическими свойствами сталей.

Изучить микроструктуры чугунов, установить зависимости между структурами и механическими свойствами чугунов.

Материалы и оборудование. Микроскоп МИМ-6.

Набор шлифов сталей и чугунов.

Фотографии и плакаты.

Общие сведения

Классификация сталей производится по способу производства, по химическому составу, качеству, степени раскисления, структуре и назначению.

По способу производства сталь делят на конвертерную и электросталь. Электросталь является наиболее чистой как по содержанию вредных примесей, так и по газовым и неметаллическим включениям. Этим способом выплавляют наиболее ответственные высококачественные марки стали.

По химическому составу стали классифицируются как углеродистые и легированные.

Углеродистая сталь – сплав железа с углеродом до 2,14 % с постоянными примесями: марганца (до 0,8 %), кремния (до 0,5 %), серы (до 0,06 %), фосфора (до 0,07 %) и газов (кислорода, водорода, азота), присутствующих в тысячных долях процента.

Углеродистые стали в зависимости от содержания углерода подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,30 % С), среднеуглеродистые (0,30 – 0,70 % С) и высокоуглеродистые (свыше 0,70 % С).

Легированными называются стали, в состав которых (кроме железа, углерода и постоянных примесей) входят специально введенные легирующие элементы: хром, никель, молибден, вольфрам и др., – для придания требуемых свойств. Сталь также будет считаться легированной, если содержание в ней кремния превысит 0,5 %, а марганца – 1 %.

В зависимости от содержания легирующих элементов различают стали **низколегированные** (суммарное содержание легирующих элементов до 2,5 %), **среднелегированные** (2,5 – 10 %), **высоколегированные** (более 10 %).

По качеству стали подразделяют на **стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные**.

Качество стали определяется степенью однородности химического состава и строения, природой и содержанием неметаллических включений и некоторыми другими факторами.

Основным показателем, лежащим в основе классификации сталей по качеству, является содержание вредных примесей – серы и фосфора. Стали обыкновенного качества содержат до 0,055 % S и 0,045 % P, качественные – не более до 0,040 % S и 0,035 % P.

Стали обыкновенного качества являются только углеродистыми, качественные и высококачественные – углеродистыми и легированными, а особо высококачественные – только легированными.

По степени раскисления и характеру затвердевания стали подразделяют на **спокойные** (сп), **полуспокойные** (пс) и **кипящие** (кп). Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации. Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Кипящие стали раскисляют только марганцем. Полуспокойные стали по степени раскисленности занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

По структуре сталей в равновесном состоянии их делят на **доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные**.

Структура **доэвтектоидных** сталей состоит из феррита и перлита (рис. 6.1). С увеличением в стали содержания углерода количество зерен перлита будет увеличиваться. При этом прочность и твердость стали повышается, а пластичность уменьшается.

Структура **эвтектоидной** стали ($C = 0,8 \%$) после отжига состоит полностью из перлита (рис. 6.2). Твердость и прочность эвтектоидной стали выше доэвтектоидной, а пластичность ниже.

Структура **заэвтектоидных** сталей ($C > 0,8 \%$) состоит из перлита и цементита (рис. 6.3). Количество цементита в структуре заэвтектоидной стали увеличивается с увеличением содержания в ней углерода.

Наличие в структуре заэвтектоидной стали цементита приводит к значительному повышению ее твердости и снижению пластичности по сравнению с эвтектоидной сталью.

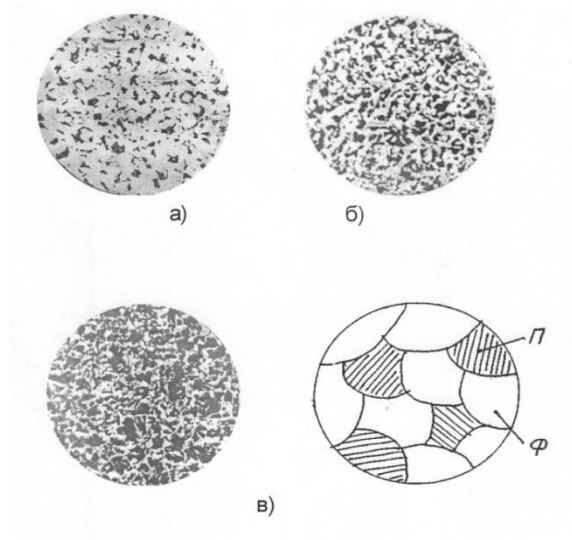


Рис. 6.1. Структура доэвтектоидных сталей с содержанием углерода
а– 0,2 %; б – 0,4 %; в – 0,7 %

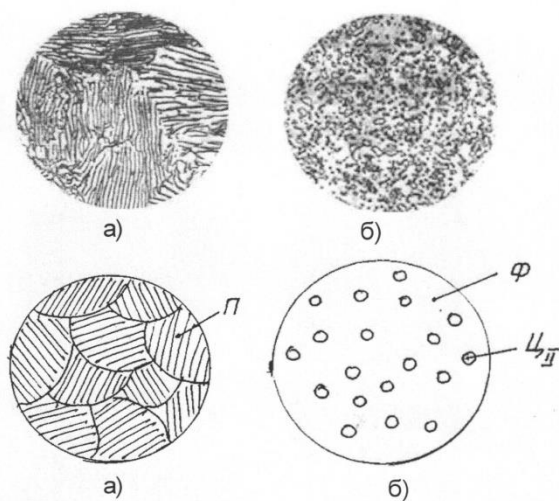


Рис. 6.2. Структура эвтектоидной стали с пластинчатым (а) и
зернистым (б) перлитом

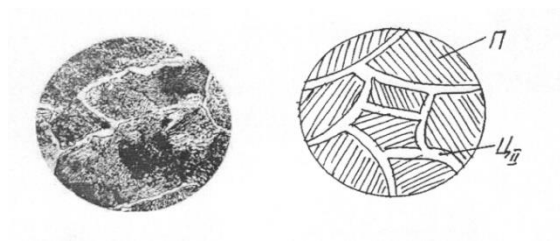


Рис. 6.3. Структура заэвтектоидной стали

По назначению стали классифицируют на **конструкционные, инструментальные и специального назначения**.

Конструкционные стали (0,05 – 0,070 % С) применяют в машиностроении и строительстве для изготовления деталей машин, элементов конструкций и сооружений. Важнейшими характеристиками сталей, по которым осуществляется их выбор, являются механическими свойствами.

Среди конструкционных сталей различают **цементуемые, улучшаемые, высокопрочные, автоматные, рессорно-пружинные, подшипниковые** и некоторые другие.

Инструментальные стали (0,7 – 1,3 % С) служат для изготовления режущих, измерительных инструментов, штампов холодного и горячего деформирования. Основным требованием, предъявляемым к инструментальным сталям, является их высокая твердость, а, следовательно, износостойкость.

Стали **специального назначения** делятся на две группы – с особыми химическими и с особыми физическими свойствами.

Конструкционные и инструментальные стали могут быть как углеродистыми, так и легированными, а стали специального назначения – только легированными.

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (ГОСТ 380- 94)

Широкое применение углеродистых сталей объясняется их относительно дешевой и удовлетворительными механическими свойствами. Эти стали выпускают обыкновенного качества и качественные.

Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества предназначены для изготовления горячекатаного проката: сортового, фасонного, листового, ленты, проволоки, метизов. Сталь углеродистая

обыкновенного качества широко применяется в строительстве и машиностроении для изготовления неотчетственных сварных, клепанных и болтовых конструкций, реже – малонагруженных деталей машин (валы, оси, шестерни).

Стали маркируют сочетанием бука «Ст» и цифр от 0 до 6, указывающими номер марки, и индексами, указывающими, степень раскисленности стали (сп, пс, кп).

Углеродистые стали обыкновенного качества бывают следующих марок:

Ст0 (0,23 % C);

Ст1 (0,06 – 0,12 % C, 0,25 – 0,50 % Mn);

Ст2 (0,09 – 0,15 % C, 0,25 – 0,50 % Mn);

Ст3 (0,14 – 0,22 % C, 0,30 – 0,65 % Mn);

Ст4 (0,18 – 0,27 % C, 0,40 – 0,70 % Mn);

Ст5 (0,28 – 0,37 % C, 0,50 – 0,80 % Mn);

Ст6 (0,28 – 0,49 % C, 0,50 – 0,80 % Mn).

Углеродистые конструкционные стали качественные (ГОСТ 1050- 88)

Углеродистые качественные конструкционные стали характеризуются более низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Они поставляются в виде проката и поковок с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. Стали маркируются словом «сталь» и двухзначными числами, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Спокойные углеродистые качественные стали маркируются без индекса, полуспокойные и кипящие с добавлением соответственно «пс» и «кп».

Иногда в конце марки ставят букву Л, что указывает на использование стали в литейном производстве.

Например: сталь 10 кп – качественная конструкционная сталь с содержанием углерода 0,1 %, кипящая.

Стали 08, 10 кп, 15 кп – пластичные без термической обработки, применяются для холодной штамповки изделий. Из них производятся кузовные детали грузовых и легковых автомобилей.

Стали 10, 15, 20, 25 – цементируемые стали, применяются для изготовления деталей, требующих твердости и износостойкости поверхностей при сохранении вязкой сердцевины.

Стали 35, 40, 45, 50 – улучшаемые стали для изготовления валов, осей, втулок, шестерен, шатунов, поршневых пальцев, требующих высокой прочности при удовлетворительной вязкости.

Стали 55, 60, 55Г, 60Г – пружинно-рессорные, для изготовления деталей высокой прочности и упругости. После закалки и отпуска наилучшие механические свойства у сталей 55Г, 60Г.

Стали 65, 70, 75, 65Г, 70Г, 75Г – для производства деталей, требующих высокой износостойкости при абразивном изнашивании.

Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435-90)

Инструментальные углеродистые стали выпускаются качественными (содержание серы не более 0,028 %, фосфора не более 0,030 %) и высококачественными (содержание серы не более 0,018 %, фосфора не более 0,025 %).

Инструментальные стали предназначены для изготовления ударного и режущего инструментов, инструмента по обработке металлов давлением, измерительного инструмента.

Маркировка по ГОСТ:

- буква **У** обозначает – сталь углеродистая;
- цифра после буквы **У** показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента.

В конце маркировки может быть буква **А**, обозначающая более низкое содержание серы и фосфора, т.е. сталь высококачественная.

Качественные инструментальные стали – У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13.

Высококачественные инструментальные стали – У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А.

Легированные стали

Легированная сталь содержит наряду с обычными примесями и технологическими добавками специально вводимые легирующие элементы: марганец (более 0,8 %), кремний (более 0,5 %), хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий и др. Часто легирующие элементы определяют название легированной стали: хромистая, никелевая, хромоникелевая, кремнистая и т.д. Легирующие элементы значительно повышают механические свойства (прочность, вязкость, износостойкость), технологические свойства (прокаливаемость), и специальные эксплуатационные

характеристики: коррозионную стойкость, краснеломкость, жаростойкость, жаропрочность.

По назначению легированные стали делятся на три группы: конструкционные, инструментальные и стали с особыми физическими и химическими свойствами.

По качеству эти стали подразделяются на качественные, высококачественные и особо качественные.

В основу обозначения марок легированных сталей положена буквенно-цифровая система. Буквы указывают на легирующий элемент, цифра после букв – количество легирующего элемента в процентах (отсутствие цифры указывает, что оно составляет 1,0 – 1,5 %). Буквенное обозначение легирующих элементов не совпадает с химическими символами (табл.5.1).

Таблица 5.1

Обозначение легирующих элементов в сталях

Название	Химический символ	Маркировочное обозначение	Название	Химический символ	Маркировочное обозначение
Марганец	Mn	Г	Кобальт	Co	К
Кремний	Si	С	Алюминий	Al	Ю
Хром	Cr	Х	Медь	Cu	Д
Никель	Ni	Н	Бор	B	Р
Вольфрам	W	В	Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф	Цирконий	Zr	Ц
Титан	Ti	Т	Фосфор	P	П
Церий	Ce	Ч	Азот	N	А (внутри марки)
Молибден	Mo	М			

В качестве основных легирующих элементов в конструкционных сталях применяют хром до 2 %, никель 1 – 4 %, марганец до 2 %, кремний до 2 %. Такие легирующие элементы, как Mo, W, V и Ti, обычно вводят в сочетании с Cr и Ni с целью дополнительного улучшения физико-механических свойств. Суммарное количество легирующих элементов в конструкционных сталях обычно не превышает 7 – 8 %.

Высококачественные легированные стали обозначаются буквой А в конце марки.

Например:

35Г2 – качественная конструкционная легированная сталь, содержащая 0,35 % углерода и 2 % марганца.

10ХСНД – качественная конструкционная легированная сталь, содержащая 0,1 % углерода, хрома, кремния, никеля и меди до 1 %.

40 ХН2МА – высококачественная конструкционная легированная сталь, содержащая 0,4 % углерода, хрома до 1 %, никеля 2 %, молибдена до 1 %.

38ХН3МФА – высококачественная конструкционная легированная сталь, содержащая 0,38 % углерода, хрома, молибдена, ванадия до 1 %, никеля 3 %.

40ГЛ – качественная конструкционная легированная сталь, содержащая 0,4 % углерода, до 1 % марганца, используемая для литья.

9ХС – инструментальная легированная сталь с содержанием углерода 0,9 %, хрома и кремния до 1 %.

ХВ4Ф – инструментальная легированная сталь с содержанием углерода около 1 %, хрома, ванадия до 1 %, вольфрама 4 %.

Отдельные группы сталей обозначаются несколько иначе.

Шарикоподшипниковые стали маркируют буквами **ШХ**, после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента.

ШХ15ГС - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5 % хрома и до 1,5 % марганца и кремния.

Быстрорежущие стали обозначают буквой **Р**, следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама.

Р6М5К5 – быстрорежущая сталь, содержащая 6 % вольфрама, 5 % молибдена, 5 % кобальта.

Автоматные стали обозначают буквой **А** и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента.

А40Г – автоматная сталь с содержанием углерода 0,40 % и повышенным до 1,5 % содержанием марганца.

Классификация чугунов

Чугун – это сплав железа с углеродом, с содержанием углерода свыше 2,14 % и наличием постоянных примесей. Чугун является наиболее распространенным материалом для отливок, так как отличается хорошей жидкотекучестью. Кроме того, что чугун обладает повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью и имеет невысокую стоимость.

По назначению чугуны разделяют на перепельные (85 – 90 % от всего объема производства), литейные и специальные.

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в чугунах, их разделяют на **белые, серые, высокопрочные и ковкие**.

На структуру и свойства чугуна влияет скорость охлаждения и количество элементов, способствующих графитизации – процессу образования графитных включений.

Кремний повышает механические свойства чугуна при концентрации не более 3,0 – 3,5 %. При более высокой концентрации кремния включения графита становятся грубыми, пластичность чугуна снижается.

Марганец увеличивает растворимость углерода в чугуне. При содержании более 0,5 % он повышает склонность к отбеливанию. Увеличение содержания повышает усадку, что способствует образованию трещин и внутренних напряжений. Основное назначение марганца в чугуне – нейтрализация вредного влияния серы.

Сера – наиболее нежелательная примесь в чугуне. Ее влияние определяется формированием по границам зерен хрупкой эвтектики. При повышении содержания серы жидкотекучесть чугуна ухудшается, усадка и склонность к образованию трещин повышается.

Фосфор не оказывает существенного влияния на графитизацию. Фосфор сильнее других элементов повышает жидкотекучесть чугуна. Влияние фосфора на механические свойства чугуна отрицательные: снижается ударная вязкость, повышается склонность к образованию трещин.

Белый чугун

Белыми называют чугуны, у которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Такой чугун в изломе имеет белый цвет.

По структуре белые чугуны подразделяются на **доэвтектические, эвтектические, заэвтектические**.

Структура белого доэвтектического чугуна состоит из ледебурита, перлита и цементита.

Эвтектический белый чугун имеет в своей структуре один ледебурит.

Структура белого заэвтектического чугуна состоит из ледебурита и цементита.

Из-за большого количества цементита белые чугуны твердые, хрупкие и в качестве конструкционного материала для изготовления деталей машин, как правило, не используются.

Серый чугун (ГОСТ 1412-85)

Серыми называют чугуны, у которых углерод присутствует в свободном состоянии в виде графита. Вследствие большого количества графита в структуре такой чугун в изломе имеет серый цвет.

В серых чугунах графитовые включения находятся в металлической основе (матрице).

По виду матрицы различают:

- **ферритный** чугун со структурой «феррит + графит» (рис. 6.4,а);
- **ферритно – перлитный** чугун со структурой «феррит + перлит + графит» (рис. 6.4,б);
- **перлитный** чугун со структурой «перлит + графит» (рис. 6.4,в).

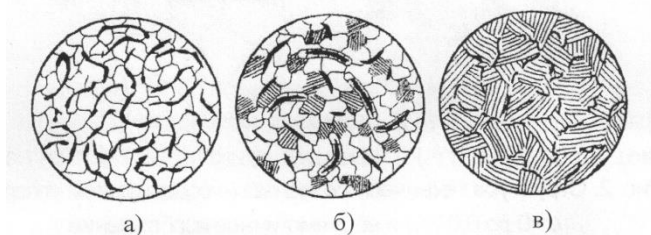


Рис. 6.4. Микроструктура серых чугунов в равновесном состоянии:
а – ферритного; б – ферритно-перлитного; в - перлитного

В зависимости от формы графита различают обыкновенный серый чугун (графит пластинчатой формы), высокопрочный чугун (графит сферической формы) и ковкий чугун (графит хлопьевидной формы).

Серый обыкновенный чугун – это сплав сложного состава. Химический состав серого чугуна колеблется в пределах: 3,2 – 3,8 % С, 1 – 5 % Si, 0,5 – 0,9 % Mn, 0,2 – 0,3 % P, до 0,12 % S.

Серый обыкновенный чугун обладает высокими литейными свойствами (имеет хорошую жидкотекучесть и малую усадку), удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью. Он является одним из важнейших литейных машиностроительных материалов. Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом составляет до 80 % общего объема чугунного литья.

Согласно ГОСТ 1412-85 серый чугун маркируется буквами **СЧ** и двухзначным числом, показывающим предел прочности при растяжении.

Например:

СЧ 25 – серый чугун с пределом прочности при растяжении $\sigma_A = 250$ МПа; твердость HB = 1800 – 2500 МПа и структура металлической основы - феррит + перлит.

Ферритные и ферритно-перлитные серые чугуны СЧ 10, СЧ 15, СЧ 18 используют для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов и др.

Перлитные серые чугуны СЧ 21, СЧ 25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки и поршни цилиндров, картеры двигателей, станины станков и др.

Перлитные модифицированные серые чугуны СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45 обладают наиболее высокими механическими свойствами. Их применяют при высоких нагрузках: зубчатые колеса, гильзы двигателей, шпиндели, распределительные валы и др. Структура модифицированных чугунов – перлитная основа с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293-85)

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму.

Их получают модифицированием магнием, церием, литием, которые вводят в жидкий чугун, в количестве 0,02 – 0,08 %. По структуре металлической основы (матрицы) высокопрочный чугун может быть ферритный, ферритно-перлитный и перлитный (рис. 6.5).

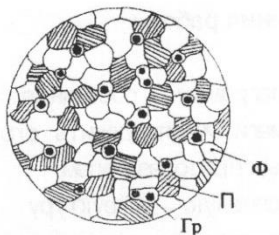


Рис. 6.5. Микроструктура высокопрочного чугуна

Высокопрочные чугуны маркируются по ГОСТ 7293-85 буквами **ВЧ** и двухзначным числом, показывающим предел прочности при растяжении в десятках МПа.

Например, высокопрочный чугун ВЧ 40 имеет предел прочности при растяжении $\sigma_A = 400$ МПа, относительное удлинение – не менее 10 %, твердость HB = 1400 – 2200 МПа, структура перлитно-ферритная.

Ферритные чугуны ВЧ 35 и ВЧ 40 характеризуются умеренной прочностью и высокой пластичностью. Перлитно-ферритные чугуны ВЧ 45 и ВЧ 50 имеют более высокую прочность, но существенно меньшую пластичность. Перлитные чугуны ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80 и ВЧ 100 при значительно более высокой прочности, чем у перлитно-ферритных чугунов, имеют практически одинаковую пластичность.

Состав высокопрочного чугуна: 2,7 – 3,8 % С; 1,6 – 2,7 % Si; 0,2 – 0,7 % Mn; $\leq 0,1$ % P; $\leq 0,02$ % S.

Из высокопрочных чугунов изготавливают прокатные валки, кузнечно-прессовое оборудование, корпуса паровых турбин, коленчатые валы и другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

Ковкий чугун (1215-79)

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают путем отжига белого чугуна определенного химического состава. Металлическая основа (матрица) может быть перлитная, ферритная, перлитно-ферритная (ри. 6.6).

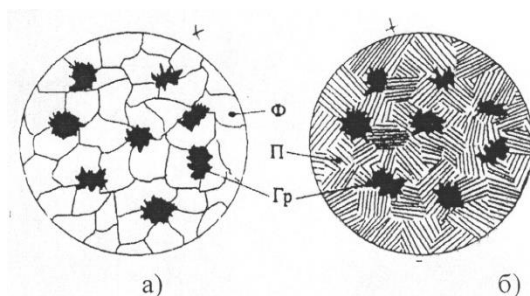


Рис. 6.6. Микроструктура ковкого чугуна на ферритной (а) и перлитной (б) основе

Состав ковкого чугуна: 2,4 – 2,8 % С; 0,8 – 1,4 % Si; $\leq$ % Mn; $\leq 0,2$ % P; $\leq 0,1$ % S.

Маркируют ковкие чугуны по ГОСТ 1215-79) буквами **КЧ** и двумя числами, первое из которых обозначает предел прочности на растяжение в десятках МПа, а второе – относительное удлинение в %.

Например, ковкий чугун КЧ 45-6 имеет предел прочности при растяжении $\sigma_A = 450$ МПа, относительное удлинение $\delta = 6$ %, HB = 2400 МПа и структуру – феррит + перлит.

По уровню свойств ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. При этом он выгодно отличается от стали лучшими литейными свойствами, а от серого чугуна – более высокой вязкостью и пластичностью. Это и послужило причиной названия «ковкий».

Из ковкого чугуна изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, в том числе клапаны, муфты, картеры редукторов, коленчатые валы и др.

Порядок выполнения работы

1. Получить наборы шлифов углеродистых сталей и чугунов.
2. Рассмотреть под микроскопом МИМ-6 шлифы образцов сталей и чугунов.
3. Зарисовать микроструктуры сталей и чугунов.
4. Изучить классификацию и маркировку сталей и чугунов.
5. Получить у преподавателя карточку индивидуального задания по маркировке.
6. Расшифровать предложенные марки сталей и чугунов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о классификации, структуре и маркировке сталей и чугунов.
3. Зарисовки микроструктур сталей и чугунов с характеристикой механических свойств и применением.
4. Данные расшифровки карточки индивидуального задания.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются стали по способу производства?

2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Как классифицируются стали по назначению?
4. Как классифицируются стали по качеству?
5. Как классифицируются стали по структуре?
6. На какие группы подразделяются углеродистые стали обыкновенного качества?
7. Как маркируются углеродистые стали обыкновенного качества?
8. Как маркируются конструкционные качественные стали?
9. Где применяются конструкционные качественные стали?
10. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
11. Как маркируются легированные стали?
12. Какие сплавы называются чугунами?
13. Как классифицируются чугуны?
14. Какие чугуны называются белыми?
15. Какие существуют структуры белых чугунов?
16. Почему белые чугуны не нашли широкого применения в качестве конструкционного материала?
17. Какие чугуны называются серыми?
18. Как подразделяются серые чугуны по химическому составу, металлической основе, форме графитных включений?
19. Как маркируются серые чугуны?
20. Какие чугуны называются высокопрочными и где они применяются?
21. Как классифицируются высокопрочные чугуны?
22. Какие чугуны называются ковкими и где они применяются?
23. Как маркируются ковкие чугуны?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ

Цель работы. Изучить теоретические основы термической обработки стали (отжиг, нормализация, закалка, отпуск).

Ознакомиться с закономерностями изменения твердости образцов стали в исходном состоянии и после термообработки.

Материалы и оборудование. Образцы различных марок стали.

Микроскоп МИМ-6.

Приборы Бринелля и Роквелла.

Общие сведения

Для получения необходимых механических свойств, предъявляемым к изделиям, стали подвергают термической обработке.

Термическая обработка – это технологический процесс, состоящий из нагрева стали до определенной температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения с целью изменения структуры и свойств (прочности, твердости, пластичности, износостойкости, обрабатываемости резанием и т.д.).

Температура нагрева стали зависит от положения ее критических точек и выбирается по диаграмме состояния $Fe - Fe_3C$ в зависимости от вида термической обработки.

Время нагрева до заданной температуры зависит, главным образом, от химического состава стали и толщины сечения детали.

Выдержка при температуре термообработки необходима для завершения фазовых превращений, происходящих в металле, выравнивания температуры по всему объему детали. Продолжительность выдержки зависит от химического состава стали.

Скорость охлаждения зависит от химического состава и твердости, которую необходимо получить.

Основными видами термической обработки стали являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг стали – термическая обработка, при которой сталь нагревают выше критических температур, выдерживают при этих температурах и медленно охлаждают (рис.7.1).

Основная цель отжига – снять внутренние напряжения, устранить структурную неоднородность, улучшить обрабатываемость заготовок

давлением и резанием, подготовить структуру к последующей термической обработке.

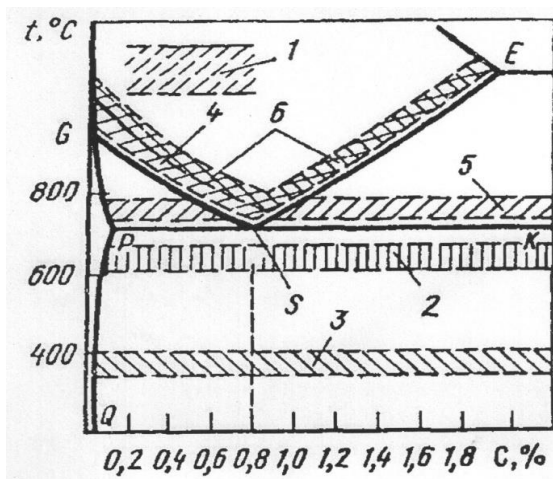


Рис. 7.1. Температура нагрева стали при отжиге и нормализации:

1 – диффузионный отжиг; 2 – рекристаллизационный отжиг; 3 – отжиг для снятия напряжений; 4 – полный отжиг; 5 – неполный отжиг; 6 – нормализация

Отжиг стали может быть с фазовой перекристаллизацией (I рода) и без фазовой перекристаллизации (II рода).

К отжигу I рода относятся: диффузионный отжиг, рекристаллизационный отжиг, отжиг для снятия напряжений.

К отжигу II рода относятся: полный отжиг, неполный отжиг, циклический отжиг, изотермический отжиг.

Диффузионный отжиг применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава.

В его основе – диффузия. В результате нагрева выравнивается состав, растворяются избыточные карбиды. Применяется, в основном, для легированных сталей.

При диффузионном отжиге сталь нагревается до температуры $T_n = 0,8 T_{пл}$, выдерживается при этой температуре для полного равномерного прогрета всего сечения образца и медленно охлаждается вместе с печью.

Рекристаллизационный отжиг проводится для снятия напряжений после холодной пластической деформации.

При рекристаллизационном отжиге сталь нагревается до температуры $T_n = 0,4 T_{пл}$, выдерживается при этой температуре с последующим охлаждением. В результате такого отжига понижается твердость и прочность, но повышаются показатели пластичности.

Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки (литья, сварки, обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров).

Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения. находится в широком диапазоне – от 160°C до 700°C.

Полный отжиг проводится обычно для доэвтектоидных сталей для исправления структуры.

Сталь нагревают до температуры на 30 – 50°C выше линии GS, выдерживают при этой температуре и медленно охлаждают вместе с печью. При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый и после охлаждения сталь имеет мелкозернистую структуру и освобождается от внутренних напряжений.

Неполный отжиг применяется для заэвтектоидных сталей. При неполном отжиге сталь нагревают до температуры, на 30 - 40°C выше линии PSK, т. е. до 750 – 760°C. При таком нагреве в структуре сохраняется вторичный цементит, который в результате отжига приобретает сферическую форму. Для инструментальных заэвтектоидных сталей неполный отжиг является единственным видом отжига, способствующим снятию внутренних напряжений и улучшению обрабатываемости резанием.

Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправления структуры (сталь мелкозернистая), а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием.

Циклический отжиг применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A_{c1} следует охлаждение до 680°C, затем снова нагрев до температуры 750 - 760°C и охлаждение. В результате получается зернистый цементит.

Изотермический отжиг заключается в нагреве стали выше критической точки A_{c3} на 50 – 100°C и выдержке при этой температуре для полного и равномерного прогрева. Далее сталь охлаждают до температуры 650 – 700°C и выдерживают при этой температуре в течение времени, необходимого для полного распада аустенита с образованием перлита. Затем сталь охлаждают на воздухе.

В результате получают однородную структуру и ускорение процесса, особенно при отжиге легированных сталей.

Нормализация – термическая обработка, при которой изделие нагревают выше линии GSE на 30 – 50°C до аустенитного состояния, вы-

держивают при этой температуре и охлаждают на воздухе. Нормализацию применяют для устранения внутренних напряжений и наклепа, повышения механических свойств стали.

После нормализации получают однородную, мелкозернистую структуру; перлит приобретает тонкое строение. Нормализации подвергают отливки и поковки. В настоящее время нормализация распространена в машиностроении чаще, чем отжиг, так как она более производительна и дает лучшие результаты.

Самыми распространенными видами термической обработки являются закалка и отпуск. Они производятся с целью упрочнения изделий.

Закалка стали

Закалка стали - термическая обработка, которая заключается в нагреве доэвтектоидных сталей выше критической точки A_{c3} , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше A_{c1} на 30 – 50°C, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении. Основная цель заковки – получение высокой твердости, прочности и износостойкости.

В зависимости от температуры нагрева различают **полную и неполную заковку** стали. Если температура нагрева выше A_{c3} , заковку считают полной, если температура нагрева выше A_{c1} , заковку считают неполной.

Для доэвтектоидных сталей применяют полную заковку, для заэвтектоидных сталей применяют неполную заковку.

Процессы, происходящие в сплаве на различных стадиях заковки, можно рассмотреть на примере эвтектоидной стали. В исходном отожженном состоянии эта сталь имеет структуру перлита. При нагреве стали и достижении температуры 727°C произойдет полиморфное превращение, т.е. перестройка кристаллической решетки феррита (ОЦК) в решетку аустенита (ГЦК), вследствие чего растворимость углерода резко возрастает. В процессе выдержки весь цементит растворится в аустените и концентрация углерода в нем достигнет содержания углерода в стали, т.е. 0,8 %.

Следующий этап – охлаждение стали из аустенитной области до комнатной температуры – является определяющим при заковке. При охлаждении стали ниже A_1 происходит обратное полиморфное превращение, т. е. решетка аустенита перестраивается в решетку феррита и при этом растворимость углерода уменьшается с 0,8 до 0,02. Если охлаждение происходит медленно, то «лишний» углерод успевает выйти из решетки феррита и образовать цементит. В результате формируется структура ферритно-цементитной смеси. Если же охлаждение производится быстро,

то после полиморфного превращения углерод остается вследствие подавления диффузионных процессов в решетке ОЦК. Образуется пересыщенный твердый раствор углерода в $\alpha - Fe$, который называется **мартенситом**.

Получить структуру мартенсита (или закалить сталь) можно только в том случае, если обеспечить скорость охлаждения больше или равную критической $V_{кр}$ (рис. 7.2), чтобы не успели пройти процессы распада аустенита в верхнем районе температур.

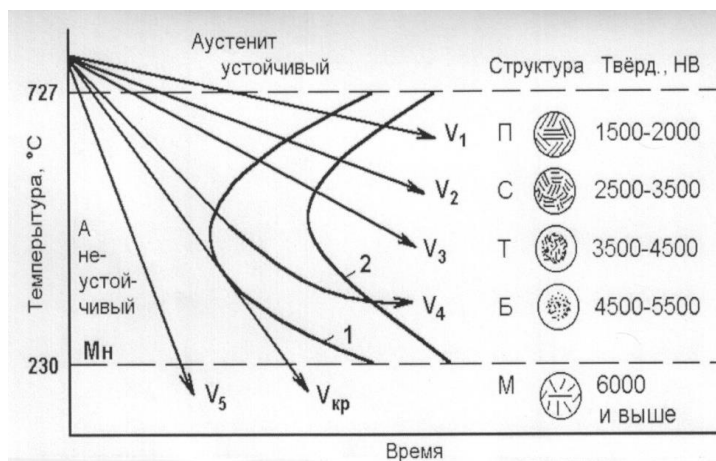


Рис.7.2. Диаграмма изотермического распада аустенита эвтектоидной стали:

1 – кривая начала диффузионного распада аустенита; 2 – кривая конца диффузионного распада аустенита; Мн – линия начала мартенситного превращения; $V_{кр}$ – критическая скорость охлаждения

Критическая скорость заковки – это минимальная скорость охлаждения, при которой аустенит переходит в мартенсит. Если же скорости охлаждения будут меньше $V_{кр}$, то при распаде аустенита получается ферритно-цементитные смеси различной дисперсности: **троостит**, **сорбит**, **бейнит**.

Бейнит – структура стали, образующаяся в результате так называемого промежуточного превращения аустенита. Бейнит состоит из смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбида железа.

Сорбит – структурная составляющая стали, представляющая собой смесь феррита и цементита, образующаяся из аустенита в результате

превращения при охлаждении. Отличается от перлита более тонкой (дисперсной) структурой, что обеспечивает более высокую прочность стали.

Троостит – структурная составляющая стали, представляющая собой смесь феррита и цементита, отличается от перлита и сорбита более тонкой (дисперсной) структурой. Образуется при распаде аустенита в температурном интервале $500 - 400^\circ\text{C}$ (троостит закалки), и при отпуске закаленной стали при температурных режимах $350-400^\circ\text{C}$ (троостит отпуска). Стали со структурой троостита обладают повышенной твердостью и прочностью, умеренной пластичностью и вязкостью.

Свойства сорбита и троостита занимают промежуточное положение между свойствами перлита и мартенсита.

Основные способы закалки

На способ закалки основное влияние оказывает влияние метод охлаждения. Охлаждающая среда должна обеспечить скорость охлаждения выше критической в интервале температур $A_1 - M_n$ и более плавное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения $M_n - M_s$ (рис. 7.3).

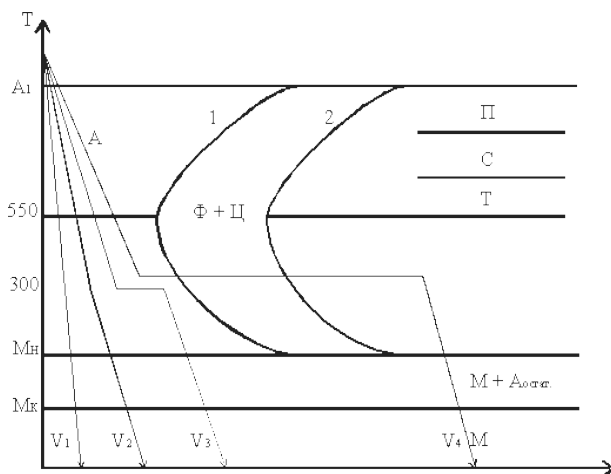


Рис.7.3. Режимы закалки:

V_1 – непрерывная (в одном охладителе); V_2 – прерывистая (в двух охладителях); V_3 – ступенчатая; V_4 – изотермическая; 1 – кривая начала распада аустенита; 2 – кривая конца распада аустенита

1. **Непрерывная закалка** (в одном охладителе) (V_1). Деталь нагревают до температуры закали, затем переносят в охладитель и выдерживают до полного охлаждения. В качестве охлаждающей среды используют:

- воду – для крупных изделий для углеродистых сталей;
- масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей.

Основной недостаток – большие термические напряжения, которые могут привести к возникновению трещин и короблению деталей.

2. **Прерывистая закалка** (в двух средах) (V_2). Деталь нагревают до температуры закали, после чего охлаждают со скоростью выше критической до температуры в более резком охладителе (вода) до температуры немного выше точки M_n , а затем быстро переносят в менее интенсивный охладитель (масло). В результате этого мартенситное превращение протекает более медленно, вследствие чего уменьшаются внутренние напряжения. Данная закалка применяется, в основном, для закали инструментов.

Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

3. **Ступенчатая закалка** (V_3). Нагретое до температуры закали изделие охлаждают со скоростью выше критической в среде, имеющей температуру на $30 - 50^\circ\text{C}$ выше мартенситной точки M_n (расплавленные соли, щелочи), выдерживают в течение времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению изделия, чтобы не произошел распад аустенита на феррито-цементитную смесь, а затем охлаждают в масле или на воздухе.

Способ используется для мелких и средних изделий.

Недостаток этого метода состоит в том, что его невозможно использовать для закали деталей крупного сечения.

4. **Изотермическая закалка** (V_4). Отличается от ступенчатой закали продолжительностью выдержки при температуре M_n . Изотермическая выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. Изделие после закали имеет меньшую твердость, но повышенные прочность, пластичность, ударную вязкость.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи.

Применяются для легированных сталей.

5. **Закалка с самоотпуском**. Деталь нагревают до температуры закали, затем охлаждают в одном охладителе со скоростью больше критической непродолжительное время и прерывают охлаждение на 3–5 с. Затем деталь охлаждают полностью. При этом наружные слои детали

претерпевают мартенситное превращение, а сердцевина – троостосорбитное. Вследствие теплообмена наружные слои за счет тепла внутренних слоев нагреваются до температур отпуска и таким образом происходит **самоотпуск**. В результате деталь приобретает высокую твердость поверхности и вязкую и прочную сердцевину (инструменты ударного действия: молотки, зубила, керны, кузнечный инструмент и т.д.).

Отпуск стали

Образующийся при закалке стали мартенсит представляет собой неустойчивую структуру, характеризующуюся высокой твердостью, хрупкостью и высоким уровнем внутренних напряжений. Поэтому закаленную сталь подвергают отпуску. Целью отпуска является повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей.

Отпуск – термическая обработка, которая заключается в нагреве закаленной стали до температур, не превышающих A_{c1} (т.е. не выше линии PSK), выдержке и последующем охлаждении (чаще всего на воздухе).

Отпуск является окончательной термической обработкой, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства.

С повышением температуры нагрева прочность обычно снижается, а пластичность и вязкость растут. Температуру отпуска выбирают, исходя из требуемой прочности конкретной детали.

Различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий.

Низкий (низкотемпературный) отпуск проводят с температурой нагрева $T_n = 150 - 300^\circ\text{C}$.

В результате его проведения снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – **мартенсит отпуска**. Твердость остается высокой – 55 – 62 HRC. Данный отпуск применяется для измерительного и режущего инструмента, после цементации, цианирования, поверхностной закалки, для деталей, требующих максимальной твердости.

Средний (среднетемпературный) отпуск проводят с температурой нагрева $T_n = 300 - 450^\circ\text{C}$.

Получают структуру – **троостит отпуска**. Сочетающую высокую твердость 40 – 45 HRC с хорошей упругостью и вязкостью. Охлаждение после этого вида отпуска рекомендуется проводить в воде, что приводит к образованию в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, которые увеличивают предел выносливости.

Используется для изделий типа пружин, рессор.

Высокий (высокотемпературный) отпуск проводят с температурой нагрева $T_n = 450 - 650^\circ\text{C}$.

Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) - **сорбит отпуска**. Твердость 25 – 30 HRC. Этот вид отпуска применяют для деталей, работающих при знакопеременных и ударных нагрузках и не требующих высокой твердости: оси и полуоси тракторов, автомобилей, валы, пальцы, болты и т.д.

Сочетание термической обработки, включающее закалку и высокий отпуск, называется **улучшением стали**.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными видами и технологией термической обработки стали.
2. Изучить влияние температуры нагрева и скорости охлаждения на превращение аустенита углеродистой стали.
3. Получить образцы отожженной углеродистой стали.
4. Измерить твердость образцов заданных сталей по методу Бринелля. По твердости определить микроструктуру образцов.
5. С помощью диаграммы «железо-цементит»:
 - определить структуру данных сталей в равновесном состоянии;
 - исследовать влияние различных видов термической обработки на структуру заданных сталей и их свойства: при различном нагреве и постоянной скорости охлаждения (в одинаковой среде – вода); при различной скорости охлаждения (в воде, масле, на воздухе) и постоянной температуре нагрева; при различных температурах отпуска закаленных сталей.
6. Получить образцы углеродистых сталей после закалки.
7. Измерить по методу Роквелла твердость термообработанных стальных образцов.
8. По изменению твердости сделать соответствующие выводы о влиянии термообработки на структуру и механические свойства стали.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Характеристика основных видов термической обработки стали (отжиг, нормализация, закалка и отпуск).
3. Участок диаграммы «железо-углерод» с нанесенными на ней температурными зонами под закалку.

4. Диаграмма изотермического превращения аустенита заданной стали.
5. Назначенные режимы термообработки для заданных сталей по диаграмме «железо-углерод».
6. Схемы микроструктуры исходных образцов стали и после термообработки.
7. Результаты измерения твердости исходных образцов стали и после термообработки.
8. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое отжиг и какова его цель?
2. Перечислить виды отжига I рода и дать их характеристику.
3. Перечислить виды отжига II рода и дать их характеристику.
4. Что такое нормализация?
5. Что такое закалка?
6. Что такое критическая скорость закали?
7. Что такое мартенсит, бейнит, сорбит и троостит?
8. Что такое полная и неполная закалка?
9. Почему для доэвтектоидных сталей применяется полная, а для заэвтектоидных – неполная закалка?
10. Что такое непрерывная закалка и для каких изделий она применяется?
11. Что такое прерывистая закалка и для каких изделий она применяется?
12. Что такое ступенчатая закалка и для каких изделий она применяется?
13. Что такое изотермическая закалка и для каких изделий она применяется?
14. Что такое закалка с самоотпуском?
15. Что такое отпуск?
16. Какие виды отпуска Вы знаете?
17. При каких температурах проводится низкий, средний и высокий отпуск?
18. Какая структура образуется после низкого, среднего и высокого отпуска?
19. Для каких изделий проводится низкий, средний и высокий отпуск?
20. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы. Изучить классификацию, маркировку и области применения цветных металлов и сплавов.

Материалы и оборудование. ГОСТы для различных групп цветных металлов и сплавов.
Карточки индивидуальных заданий.

Общие сведения

Цветные металлы и их сплавы широко применяются в различных областях производства. Они обладают рядом существенных преимуществ по сравнению со сплавами на железной основе: низкие температуры плавления и высокие электротехнические характеристики; малая плотность (у сплавов алюминия и магния); нет потерь от коррозии, в то время как до 30 % производства чугуна и стали теряется по этой причине.

Медь обладает высокой электропроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью и широко применяется в электротехнической, машиностроительной и приборостроительной промышленности, является основой многих важнейших промышленных сплавов (латуней, бронз и т.д.).

Алюминиевые, магниевые и титановые сплавы применяются в авиационной и автомобильной промышленности. Изделия из легких сплавов используют в строительстве, транспортном машиностроении, приборостроении, судостроении и других отраслях промышленности.

Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А	алюминий	Al	К	кремний	Si
Мц	марганец	Mn	Н	никель	Ni
С	свинец	Pb	Т	титан	Ti
Б	бериллий	Be	Кд	кадмий	Cd
Мг	магний	Mg	О	олово	Sn
Ср	серебро	Ag	Ф	фосфор	P
Ж	железо	Fe	Х	хром	Cr
Мш	мышьяк	As	Ц	цинк	Zn
Су	сурьма	Sb	Ван	ванадий	V

Медь и ее сплавы

Медь – металл красного, в изломе розового цвета. Температура плавления 1083°C, плотность 8900 кг/м³. Она имеет гранецентрированную кубическую решетку и не имеет полиморфизма.

Механические свойства меди в литом состоянии: $HВ = 160$ МПа, $\sigma_A = 35$ МПа, $\delta = 25$ %; горячедеформированном состоянии – $HВ = 240$ МПа, $\sigma_A = 50$ МПа, $\delta = 45$ %.

Медь обладает ценными техническими и технологическими свойствами: высокими электро- и теплопроводностью, достаточной коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением, сваривается всеми видами сварки, легко поддается пайке, прекрасно полируется. Недостатками меди являются ее высокая стоимость, значительная плотность, большая усадка при литье, горячеломкость, сложность обработки резанием.

Латуни – двойные и многокомпонентные медные сплавы с основным легирующим компонентом – цинком. По сравнению с медью латуни обладают более высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Они маркируются буквой **Л** и цифрой, указывающей содержание меди в сплаве в %, остальное до 100 % – цинк. Если латунь легирована другими элементами, то после буквы **Л** ставят обозначение этих элементов, а число после букв показывает содержание легирующих элементов (по ГОСТ 15527 – 2004). Например: Л96 – латунь, которая содержит 96 % меди, а остальное – цинк; ЛАН59-3-2 – латунь, содержащая 59 % меди, 3 % алюминия, 2 % никеля, а остальное – цинк.

Латуни бывают литейные и деформируемые. Обозначение литейных и деформируемых латуней различное. В литейных латунях после буквы **Л** пишут Ц и сразу цифру, указывающую содержание цинка, и только затем заглавную букву следующего легирующего элемента с указанием его количества. Содержание меди определяется вычитанием из 100 % всех легирующих элементов, входящих в ее состав.

Например: ЛЦ40С – латунь свинцовая литейная с содержанием цинка 40 %, свинца 1 %, меди 59 %.

В деформируемых латунях после буквы **Л** пишут сразу все легирующие элементы и только после этого через тире – цифры. Первая цифра – содержание меди в латуни, остальные цифры – содержание в % того элемента, который указан следующим за буквой **Л**, и т.д.

Например: ЛО62-1 – латунь оловянная деформируемая, содержит 62 % меди, 1 % олова, остальное – цинк.

ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 – латунь деформируемая, содержит 75 % меди, 2 % алюминия, 2,5 % никеля и по 0,5 % кремния и марганца, остальное – цинк.

Области применения латуней приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Свойства и назначение латуней

Марка	Механические свойства		Назначение
	σ_A , МПа	НВ	
Литейные латуни			
ЛЦ40С	215	70	Втулки шариковых и роликовых подшипников
ЛЦ30А3	294	80	Коррозионно-стойкие детали в машиностроении
ЛЦ16К4	294	100	Шестерни, детали узлов трения, работающие при температурах до 250°C
ЛЦ25С2	146	60	Штуцеры гидросистем автомобилей
ЛЦ23А6ЖЗМц2	686	160	Ответственные детали, работающие при высоких экспериментальных нагрузках
Деформируемые латуни			
Л63	400	62	Гайки, болты, детали автомобилей
ЛЖМц59-1-1	450	88	Вкладыши подшипников
ЛЖС55-1-1	400	-	Детали, изготавливаемые резанием
ЛС63-3	350	-	Втулки

Бронзами называют сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка и никеля. Структура и свойства бронз изменяется в зависимости от скорости охлаждения кристаллизующихся сплавов, вида термической обработки и характера обработки давлением.

Бронзы немагнитны, коррозионно-стойки, имеют высокие коэффициенты тепло- и электропроводности. Они весьма стойки на воздухе, в морской воде, растворах большинства органических кислот. Большинство бронз, за исключением алюминиевых, хорошо поддаются сварке и пайке твердыми и мягкими припоями.

Различают оловянные, алюминиевые, бериллиевые, свинцовистые, оловянно-фосфорные и другие бронзы.

Оловянные бронзы содержат до 12 % олова, с увеличением количества которого увеличивается их твердость и прочность. Эти бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами. Применяются для изготовления деталей, работающих в коррозионной среде (подшипники, уплотняющие втулки, клапаны).

Алюминиевые бронзы (5 – 11 % Al) являются дешевыми заменителями оловянных. Эти бронзы очень пластичные и их используют для изготовления проката различного профиля и других изделий. Алюминиевые бронзы пластически деформируются как в горячем, так и в холодном состоянии, коррозионно-стойки, обладают высокими механическими свойствами. Они имеют хорошие литейные свойства. Высокопрочные алюминиевые бронзы применяются для изготовления шестерен, втулок, подшипников, пружин и т.д.

Свинцовые бронзы (27 – 33 % свинца) используют для изготовления подшипников качения, работающих при высоких удельных нагрузках и больших скоростях.

Бериллиевые бронзы обладают высокими упругими свойствами, стойкостью против коррозии, хорошо свариваются. Применяются для изготовления деталей точного приборостроения.

Маркируют бронзы буквами **Бр** (ГОСТ 613-97), за которыми следуют заглавные буквы легирующих элементов, и цифры, показывающие содержание этих элементов.

Например: БРОФ6,5-0,4 содержит 6,5 % олова, 0,4 % фосфора, остальное – медь.

Бронзы бывают деформируемые и литейные. В деформируемых бронзах пишут сразу все легирующие элементы, затем цифры через тире одна от другой. Цифры указывают процентное содержание легирующих элементов. Количество меди во всех бронзах получаем вычитанием из 100 % всех остальных составляющих. В литейных бронзах цифры пишут сразу после буквенного обозначения легирующего элемента.

Например: БрОФ7-0,2 – оловянная деформируемая бронза с содержанием олова 7 %, фосфора 0,2 %, меди 92,8 %.

БрА9Мц2 – алюминиево-марганцевая литейная бронза с содержанием алюминия 9 %, марганца 2 %, меди 89 %.

Области применения латуней приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Свойства и назначение бронз

Марка	НВ	δ , %	σ_A , МПа	Назначение
Оловянные деформируемые бронзы				
БрОФ7-0,2	85-95	55-65	380-450	Зубчатые колеса, втулки, прокладки высоконагруженных машин
БрОФ6,5-0,5	70-90	60-70	350-450	Пружины, детали машин
БрОЦ4-4-2,5	50-70	35-40	300-350	Втулки автомобилей
Безоловянные деформируемые бронзы				
БрАМц9-2	110-130	20-40	400-500	Зубчатые колеса, втулки, винты
БрАЖ9-4	110-120	35-45	400-500	Зубчатые колеса, седла клапанов
БрБНТ1-9	120-140	40-50	400-600	Пружины, упругие элементы
БрКН1-3	80-100	25-30	400-450	Антифрикционные детали, баки, резервуары, топки котлов
БрМц5	70-90	35-45	300-360	
Литейные оловянные бронзы				
БрО4Ц4С17	60	12	150	Арматура, антифрикционные детали
БрО10С10	78	6	200	Подшипники скольжения, работающие при больших удельных давлениях
Литейные безоловянные бронзы				
БрА9Мц2Л	70-90	18-22	400	Подшипники, втулки
БрА10Ж3Мц2	110-130	10-14	500	Арматура, антифрикционные детали
БрА11Ж6Н6	240-260	1-3	600	

Алюминиевые сплавы

Алюминий – легкий металл, обладает высокой тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью. Применяется как в чистом виде, так и является основой многих легких сплавов.

Кристаллическая решетка алюминия – гранецентрированная кубическая, температура плавления 660°C, плотность 2700 кг/м³. Предел прочности $\sigma_A = 80 - 100$ МПа, $\delta = 45$ %, $\psi = 80$ %, НВ = 250 – 300 МПа.

В зависимости от степени чистоты алюминий, согласно ГОСТ 11069-2001, бывает особой (А999), высокой (А995, А99, А97, А95) и технической чистоты (А85, А8, А7, А6, А5, А0). Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают строительные конструкции, малонагруженные детали машин. Алюминий используется как электротехнический материал для изготовления кабелей, проводов шин.

Более высокими механическими и технологическими свойствами обладают сплавы на основе алюминия. Алюминиевые сплавы подразделяются на деформированные, литейные и спеченные. Последние используются в производстве порошковых, в том числе и гранулируемых сплавов и композиционных материалов. Классификация литейных сплавов приведена в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
Деформируемые	Коррозионно-стойкие, повышенной пластичности	Al – Mn Al – Mg Al – Mg – Si	АМц АМг6 АВ, АД31 АД33
	Пластичные при комнатной температуре	Al – Cu – Mg	Д18, В65
	Среднепрочные	Al – Cu – Mg	Д1, Д16
	Высокопрочные	Al – Zn – Mg – Cu	В95, В96Ц1
	Малой плотности, высокомодульные	Al – Mg – Li – Zr	1420
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре	Al – Mg – Si – Cu	АК6, АК8
	Жаропрочные	Al – Cu – Mg – Fe – Ni Al – Cu – Mn	АК 4 – 1 Д20, Д21
Спеченные	Жаропрочные	Al – Al ₂ O ₃ Al – Cu – Mg – Al ₂ O ₃ Al – Cr – Zr	САП – 1 САП – 2 СПАК – 4

Окончание табл. 8.3

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
	Высокомодульные с пониженной плотностью	Al – Mg – Li – Zr	01419 01429
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения	Al – Si – Ni Al – Si – Fe	CAC1 – 50 CAC – 2
	Высокопрочные	Al – Zn – Mg – Cu	ПВ90
Литейные	Герметичные	Al – Si Al – Si – Mg Al – Si – Cu – Mg	AK12, AK7 AK8л AK9M AK8M
	Высокопрочные и жаропрочные	Al – Cu – Mn Al – Cu – Mn – Ni Al – Cu – Si – Mg	AM 5 AK6MцH AK5M2 AK5M
	Коррозионно-стойкие	Al – Mg – Zn Al – Mg	АЦ4Mг АЛ8, АМг10
Композиционные	Волокнистые, армированные борным волокном	АД1 – БВ АД33 – БВ	ВКА – 1 ВКА – 2
	Сплавы, армированные стальной проволокой	Матрица: АД1, АВ; Проволока 18Х15Н5АМ3	КАС – 1 КАС – 1А

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. Их марки приведены в **ГОСТ 4784-97**.

К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы **Al – Mg** и **Al – Mn**: АМц, АМцС, АМг1, АМг4, АМг5, АМг6. Аббревиатура включает в себя начальные буквы, входящие в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах.

К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы **Al – Cu – Mg** с добавками некоторых элементов (дюралюмины, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химического состава. Дюралюмины маркируются буквой «Д» и порядковым номером (Д1, Д12, Д18).

Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами «АД» и условным обозначением степени его чистоты (АД000, АД0, АД1, АД).

Дюралюмины применяются для изготовления лопаток компрессоров двигателей, лопастей воздушных винтов самолетов и др. Высокопрочные сплавы используются для изготовления высоконагруженных деталей (шпангоуты, лонжероны). Из ковочных сплавов ковкой и штамповкой изготавливают детали самолетов, работающие под нагрузкой (рамы, крепежные детали). Жаропрочные сплавы применяют для изготовления поршней, головок цилиндров, дисков, лопаток компрессоров.

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-93) обладают сочетанием хороших литейных свойств (высокой жидкотекучести, небольшой усадки, малой склонности к образованию горячих трещин и пористости) с оптимальными механическими и химическими свойствами.

Литейные алюминиевые сплавы маркируют по составу: АК7М2, АК4Мц2 («М» обозначает медь, цифра – среднее содержание элемента в процентах). Иногда маркируются буквами «АЛ» с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ22, АЛ30.

Герметичные литейные сплавы (АК12, АК7, АК8л) используются для изготовления корпусов компрессоров, блоков цилиндров автомобильных двигателей, картеров двигателей внутреннего сгорания.

Сплав АК5 упрочняется термообработкой и широко используется для литья крупногабаритных отливок в песчаные формы.

Сплав АК6МцН и АК5М2 используется для изготовления корпусов приборов, головок цилиндров двигателей, работающих при повышенных температурах.

Сплавы АЦ4Мг, АМг10 способны работать в условиях коррозии морской воды вместо дефицитных бронз, латуней и нержавеющей сталей.

Спеченные алюминиевые сплавы характеризуются повышенными механическими и физическими свойствами.

Спеченный алюминиевый порошок (САП) – это материал, полученный холодным, а затем горячим брикетированием (прессованием под давлением 700 МПа при температуре 500 – 600°C). Далее из горячепрессованных брикетов ковкой, прокаткой или прессованием изготавливают изделия или полуфабрикаты. САП характеризуется высокой прочностью и жаропрочностью при повышенных температурах.

В настоящее время получили распространение **композиционные алюминиевые сплавы**. Волокнистые композиционные материалы получают, армируя алюминиевые сплавы АД1, АД33 борными волокнами (ВКА-1, ВКА-2) или стальной проволокой (КАС-1, КАС-1А). Они могут подвергаться гибке, обладают высокой ударной вязкостью и жаропрочностью, большим сопротивлением распространению усталостной трещины и значительной прочностью. Эти материалы используются для изготовления труб.

Сплавы на основе титана

Титан – тугоплавкий металл, сочетающий большую прочность с малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью. Благодаря этому во многих случаях он обладает преимуществами перед такими конструкционными материалами, как сталь и алюминиевые сплавы. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом.

Сплавы титана можно условно разделить на две группы:

1. Сплавы титана с алюминием. Содержание алюминия в этих сплавах от 2,0 до 7,0 %. В качестве легирующих добавок можно использовать марганец (1 – 2 %), олово (до 3,0 %), медь (до 3,5 %), хром (до 15 %), молибден (до 6 %), ванадий (до 4,5 %). Маркируются они буквами «ВТ» и порядковым номером: ВТ1, ВТ4, ВТ8, ВТ14.

2. Широкое распространение находит карбид титана TiC и сплавы на его основе. Карбид титана применяется как компонент твердых сплавов для режущего инструмента и штампов из-за его высокой твердости и большой температуры плавления. В качестве цементирующего составляющего карбид титановых сплавов используют металлический карбид. Типичными титансодержащими твердыми сплавами для режущего инструмента являются сплавы Т5К10, Т5К7, Т15К6, Т30К4. Первая цифра в обозначении соответствует содержанию карбида титана, а вторая - содержанию кобальта в процентах.

Антифрикционные (подшипниковые) сплавы

Антифрикционные или подшипниковые сплавы применяют для изготовления вкладышей подшипников. Эти сплавы должны иметь достаточную пластичность, чтобы легко прирабатываться к поверхности вращения вала, достаточную твердость, чтобы служить опорой для вала, не вызывая сильного износа вала, иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником, удерживать смазку на поверхности. Кроме

того, температура плавления этих сплавов не должна быть высокой и они должны иметь хорошую теплопроводность и коррозионную стойкость.

Для обеспечения этих свойств структура антифрикционных сплавов должна состоять из мягкой и пластичной основы и включений более твердых частиц.

Антифрикционные сплавы можно разделить на три группы:

1. Сплавы на основе олова и свинца.

Химический состав таких сплавов приведен в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Химический состав оловянных и свинцовых баббитов (ГОСТ 1320-74)

Марка баббита	Химический состав, %						
	Основные компоненты						
	олово	сурьма	медь	кадмий	никель	мышьяк	свинец
Б88	Остальное	7,3-7,8	2,5-3,5	0,8-1,2	0,15-0,25	-	-
Б83	Остальное	10-12	5,5-6,5	-	-	-	-
Б83С	Остальное	9-11	5,0-6,0	-	-	-	1,0-1,5
Б16	15-17	15-17	1,5-2,0	-	-	-	Остальное
БН	9-11	13-15	1,5-2,0	0,1-0,7	0,1-0,5	0,5-0,9	Остальное
БС6	5,5-6,5	5,5-6,5	0,1-0,3	-	-	-	Остальное

В обозначении оловянных и свинцовых баббитов первая буква «Б» - баббит, затем следует цифра, показывающая содержание олова в процентах, или буква, означающая добавки легирующих элементов, например Н – никеля, Т – теллура.

В отдельную группу сплавов выделяются кальциевые баббиты. Их химический состав приведен в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Химический состав кальциевых баббитов (ГОСТ 1209-99)

Марка баббита	Химический состав, %					
	Основные компоненты					
	олово	кальций	натрий	магний	алюминий	свинец
БКА	-	0,95-1,15	0,7-0,9	-	0,05-0,20	Остальное
БК2	1,5-2,1	0,30-0,55	0,2-0,4	0,06-0,11	-	Остальное
БК2Ш	1,5-2,1	0,65-0,90	0,7-0,9	0,11-0,16	-	Остальное

В маркировке кальциевых баббитов вторая буква «К».

Баббиты на основе олова применяют для заливки подшипников машин, несущих большие нагрузки. Их недостаток – высокая стоимость.

2. Антифрикционные сплавы на цинковой основе.

Эти сплавы уступают баббитам на оловянной основе по пластичности, коэффициентам трения и линейного расширения и примерно равноценны свинцовым баббитам. В качестве этих материалов используют, например, сплавы ЦАМ 10-5, ЦАМ 9-1,5. Первая буква в маркировке означает цинковую основу, вторая буква в сочетании с первой цифрой – наличие алюминия и его среднее значение в процентах, третья буква в сочетании со второй цифрой – наличие меди и ее среднее значение в процентах.

3. Алюминиевые сплавы с добавками олова и меди находят довольно широкое применение: АО 3-1, АО 9-1, АО 20-1. В маркировке этих сплавов первая цифра показывает среднее содержание олова в процентах, вторая цифра – меди в процентах.

Материалы на основе алюминия приближаются по свойствам к баббитам. Однако у этих сплавов имеется существенный недостаток – значительная разница в коэффициенте расширения при нагревании по сравнению со сталью.

Порядок выполнения работы

1. Изучить по методической разработке классификацию, маркировку и области применения цветных металлов и сплавов.
2. Получить у преподавателя карточку индивидуального задания по маркировке.
3. Расшифровать предложенные марки цветных сплавов.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие сведения о классификации, маркировке и области применения цветных металлов и сплавов.
3. Данные расшифровки карточки индивидуального задания.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает медь?
2. Где применяется медь?

3. Какие сплавы на основе меди известны?
4. Что такое латунь?
5. Как маркируются латуни?
6. Где применяются деформируемые латуни?
7. Где применяются литейные латуни?
8. Что такое бронза?
9. Как маркируются бронзы?
10. Где применяются оловянные бронзы?
11. Где применяются алюминиевые бронзы?
12. Где применяются бериллиевые бронзы?
13. Какими свойствами обладает алюминий?
14. Где применяется алюминий?
15. Какие сплавы на основе алюминия известны?
16. Как маркируются алюминиевые сплавы?
17. Какова классификация алюминиевых сплавов?
20. Где применяются деформируемые алюминиевые сплавы?
21. Где применяются литейные алюминиевые сплавы?
22. Что представляют собой спеченные алюминиевые сплавы?
23. Что представляют собой композиционные алюминиевые сплавы?
24. Какими свойствами обладает титан?
25. Какие сплавы на основе титана известны?
26. Как маркируются титановые сплавы?
27. Где применяются титановые сплавы?
28. Какими свойствами обладают антифрикционные сплавы?
29. Что такое баббиты и где они применяются?
30. Как маркируются баббиты?

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Испытание металлов на растяжение.....	3
Лабораторная работа №2. Определение твердости металлов по Бринеллю.....	11
Лабораторная работа №3. Определение твердости металлов по Роквеллу.....	19
Лабораторная работа №4. Построение и анализ диаграммы состояния сплавов «свинец – сурьма».....	26
Лабораторная работа №5. Диаграмма состояния сплавов «железо – углерод».....	33
Лабораторная работа №6. Классификация, структура и свойства сталей и чугунов.....	43
Лабораторная работа №7. Термическая обработка сталей.....	57
Лабораторная работа №8. Классификация, маркировка и применение цветных металлов и сплавов.....	67

Учебное текстовое электронное издание

Савельева Раиса Николаевна

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум для обучающихся по
направлению 151000.62 «Технологические машины
и оборудование» всех форм обучения

1,67 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра проектирования и эксплуатации

Металлургических машин и оборудования

Центр электронных образовательных ресурсов и

дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru