

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология металлов»

А.А. Андрушевич, Т.К. Романова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум

Минск
БГАТУ
2009

УДК 669.01(07)
ББК 34.2 я 7
А 65

Рекомендовано научно-методическим советом факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ

Протокол № 4 от 23 апреля 2009 г.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. кафедры «Материаловедение
в машиностроении» БНТУ Ю.В. Соколов;
канд. техн. наук, вед. н. с. ГНУ «Институт порошковой
металлургии» НАН Беларуси Л.Н. Дьячкова

Андрушевич, А. А.

А65

Материаловедение : лабораторный практикум / А.А Андрушевич, Т.К. Романова. – Минск: БГАТУ, 2009. – 180 с.

ISBN 978-985-519-155-2.

В лабораторном практикуме представлены методические указания к лабораторным работам и тестовые задания по разделу «Материаловедение», входящему в состав дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Предназначается для студентов и учащихся агротехнических специальностей, а также может быть использован магистрантами, аспирантами и специалистами предприятий агропромышленного комплекса, работающими в области изготовления, ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники.

УДК 669.01(07)
ББК 34.2 я 7

ISBN 978-985-519-155-2

© БГАТУ, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ...	6
Лабораторная работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ.....	21
Лабораторная работа 3. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ.....	33
Лабораторная работа 4. ТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «СВИНЕЦ–СУРЬМА».....	44
Лабораторная работа 5. АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО–УГЛЕРОД».....	56
Лабораторная работа 6. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ.....	63
Лабораторная работа 7. ЗАКАЛКА И ОТПУСК СТАЛЕЙ.....	81
Лабораторная работа 8. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	94
Лабораторная работа 9. МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	107
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	169
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	170
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	171
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	173

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» относится к числу основополагающих дисциплин для специальностей инженерного профиля и входит в учебные планы, подготовленные в соответствии с образовательными стандартами Республики Беларусь для группы специальностей 74.06 «Агроинженерия».

Предметом дисциплины является изучение строения и свойств материалов, физико-химических основ получения из них изделий различными способами и методов их упрочнения.

Дисциплина состоит из трех основных разделов: «Материаловедение», «Горячая обработка металлов», «Обработка металлов резанием» и посвящена металлам и сплавам, которые являются основными материалами для изготовления сельскохозяйственной техники и автомобилей.

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства материалов, устанавливающая связь между их составом, структурой и свойствами, имеет четко выраженный прикладной характер и развивается в основном экспериментальным путем.

Современное производство требует от специалистов, работающих в сельхозмашиностроении и различных отраслях АПК, знаний в области материаловедения, умения рационально использовать с учетом экономики различные материалы и методы их обработки для достижения необходимых технологических и эксплуатационных свойств.

В дополнение к разработанному учебно-методическому комплексу по разделу «Материаловедение», включающему теоретический курс лекций, темы лабораторных работ, практические задания для самостоятельной работы и контроля самостоятельной учебной деятельности студентов очной и заочной форм обучения предлагается настоящий лабораторный практикум.

Лабораторный практикум по разделу «Материаловедение» состоит из лабораторных работ и тестовых заданий, которые охватывают основные методы анализа структур и определения механических свойств металлов и сплавов, классификацию углеродистых и легированных сталей, чугунов, способы упрочняющей термической обработки сталей и чугунов, цветные металлы и сплавы. Перечень лабораторных работ составлен на основании многолетнего опыта преподавания дисциплины «Материаловедение. Технология конст-

рукционных материалов», раздел «Материаловедение» на кафедре «Технология металлов» БГАТУ для студентов дневной и заочной форм обучения и полностью соответствует действующей учебной программе по данному курсу для групп специальностей 74.06 «Агроинженерия».

Лабораторные работы имеют единую структуру: в начале изложена цель работы, затем кратко представлены в достаточном для подготовки к занятиям объеме теория, порядок экспериментального выполнения работы и используемое оборудование, приборы и материалы. В конце работы перечислены требования к содержанию отчета и его оформлению, приведены контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов к защите работ, а также список рекомендуемой научно-технической литературы. В зависимости от программы дисциплины и специальности, количество выполняемых лабораторных работ и методика проведения могут быть изменены, содержание работ сокращено или расширено.

Тестовые задания составлены для использования в электронном варианте для изучения раздела «Материаловедение» и предназначены для активной самостоятельной работы студентов. Для каждой темы приведен перечень вопросов. Форма тестовых заданий предусматривает выбор одного правильного ответа из нескольких предложенных вариантов.

Отчеты по всем лабораторным работам оформляются в соответствии с требованиями Стандарта предприятия СТП БГАТУ 02-96 «Отчет по лабораторной работе и практическим занятиям», приведенным в приложении 1.

Титульный лист к отчету выполняется с указанием соответствующих надписей (приложение 2).

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

- 1) ознакомить студентов с основными механическими свойствами металлических материалов;
- 2) изучить методы определения прочности, пластичности и ударной вязкости металлов и сплавов;
- 3) приобрести навыки определения прочности, пластичности и ударной вязкости металлов и сплавов.

Студент должен знать: физическую сущность понятий прочности, пластичности и вязкости металлов и сплавов; методы и оборудование для их определения, приемы безопасной работы и единицы измерения значений механических свойств.

Студент должен уметь: выбирать условия испытаний, провести определение прочности, пластичности и ударной вязкости на образцах для испытаний из углеродистых сталей, произвести расчет значений прочности, пластичности и ударной вязкости в единицах системы СИ.

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 металлических материалов для конкретных условий работы деталей.

Основными механическими свойствами являются: прочность, пластичность, упругость, твердость, хрупкость, вязкость и др.

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. Отсутствие или малое значение пластичности называется хрупкостью.

Хрупкость – это свойство материала разрушаться без заметного поглощения механической энергии в необратимой форме (без заметной пластической деформации).

Упругость – свойство материала восстанавливать свою первоначальную форму после прекращения действия нагрузок.

Вязкость – свойство материала поглощать в заметных количествах, не разрушаясь, механическую энергию в необратимой форме.

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

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.

Наиболее часто применяют статические и динамические методы испытаний.

Под действием внешних сил происходит деформация испытываемого тела, как в целом, так и в его отдельных мельчайших объемах. Общая деформация тела является суммой деформаций его элементарных объемов.

В природе не существует идеально упругих и пластичных тел. Всякая упругая деформация сопровождается (хотя бы ничтожно малой) пластической деформацией, а полная деформация тела всегда состоит из пластической и упругой деформаций.

Статические испытания металлов на растяжение

Испытания на растяжение дают возможность получить ряд характеристик механических свойств, позволяющих оценить не только прочность испытываемых материалов, но и их склонность к упругим и пла-

стическим деформациям. Методы испытаний обеспечивают количественную оценку механических характеристик которые определяют при растяжении образцов специальной формы (приложение 3).

При испытаниях измеряются и фиксируются приложенные усилия и соответствующие удлинения образца. Зависимость между деформацией и сопротивлением образца удобно представлять графически в виде диаграммы растяжения (рисунок 1.1). На оси абсцисс откладывают созданную деформацию ΔL (удлинение образца), а по оси ординат – соответствующую ей силу P сопротивления металла. Форма диаграммы зависит от свойств испытываемого металла. Современные испытательные машины позволяют автоматически получать диаграмму растяжения.

Для испытаний на растяжение используют образцы, как правило, цилиндрической формы (рисунок 1.2). Длина образца в 5 или 10 раз превышает диаметр. Образец деформируется плавно возрастающей нагрузкой до его разрушения.

При испытаниях на растяжение определяются следующие основные характеристики механических свойств, т. е. напряжения при различных параметрах деформирования образца:

$$\sigma = P / F_0, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, Н (кгс); F_0 – начальная площадь поперечного сечения, м^2 (мм^2).

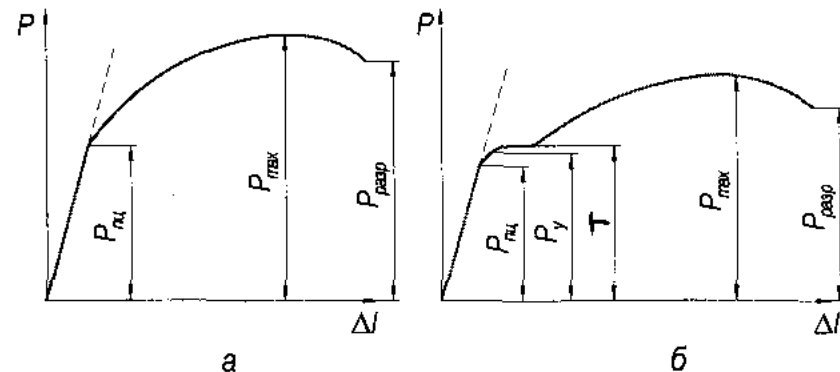


Рисунок 1.1. Диаграммы растяжения:
а – без площадки текучести; б – с площадкой текучести

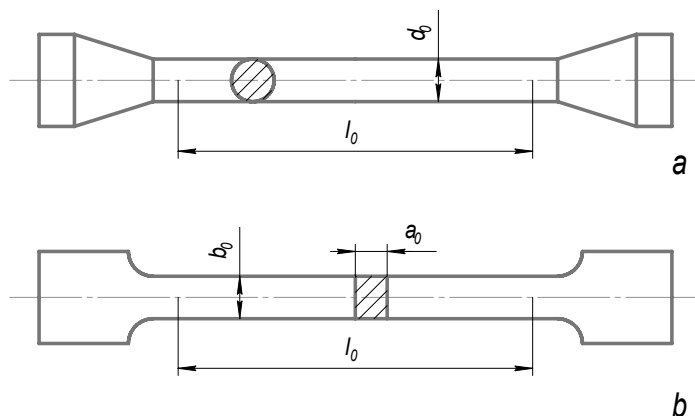


Рисунок 1.2. Образцы для испытания на растяжение: а – круглый; б – плоский

Предел пропорциональности (условный) $\sigma_{\text{пц}}$ – напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между нагрузкой и удлинением достигает такого значения, что тангенс угла наклона $\blacktriangle L$, образованного касательной к кривой деформации P в точке $P_{\text{пц}}$ с осью, увеличивается на 25 или 50 % своего значения на линейном упругом участке:

$$\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}} / F_0, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}. \quad (2)$$

Предел упругости (условный) σ_y – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % первоначальной длины расчетной части образца:

$$\sigma_y = P_y / F_0, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (3)$$

где P_y – нагрузка при удлинении образца на 0,05 %, Н (кгс); F_0 – начальная площадь поперечного сечения, м^2 (мм^2).

Предел текучести (условный) σ_T – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % первоначальной длины участка образца:

$$\sigma_T = P_T / F_0, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (4)$$

где P_T – нагрузка при удлинении образца на 0,2 %, Н (кгс);
 F_0 – начальная площадь поперечного сечения, м^2 (мм^2).

Предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву) σ_B – условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_{max} , предшествующей разрушению образца:

$$\sigma_B = P_{\text{max}} / F_0, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (5)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения, м^2 (мм^2).

Значительная часть приборов и оборудования, используемых в настоящее время для испытания металлов на растяжение, рассчитана на получение характеристик прочности в единицах системы МКГСС, одной из основных единиц которой является единица силы – килограмм-сила. В общепринятой международной системе СИ единица силы является производной от трех основных единиц: массы, длины и времени. При переводе единиц МКГСС в единицы СИ переводным коэффициентом является 9,81. Поэтому 1 кгс = 9,81 Н, а 1 кгс/мм² = 9,81 МПа.

Пример. Нагрузка, соответствующая условной текучести образца P_T диаметром $d = 10$ мм, равна 5400 кгс (система МКГСС). Предел текучести σ_T равен

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} = \frac{4 \times 5400}{3,14 \times 10^2} = 68 \text{ кгс/мм}^2.$$

Следует определить напряжение предела текучести σ_T в системе СИ. Выразим напряжение в кгс/м²: $\sigma_T = 68 \text{ кгс/мм}^2 = 68 \cdot 10^6 \text{ кгс/м}^2$ и введем коэффициент 9,81.

Получим $\sigma_T = 68 \cdot 10^6 \cdot 9,81 = 667 \cdot 10^6$ Па или 667 МПа.

В процессе испытаний образца на растяжение определяются следующие показатели пластичности металла (приложение 3):

относительное удлинение после разрыва δ – отношение приращения расчетной длины образца $\blacktriangle L$ к первоначальной расчетной длине – L_0 (в процентах)

$$\delta = \frac{L_K - L_0}{L_0} \times 100\% , \quad (6)$$

где L_K – длина образца после разрушения, м (мм);

L_0 – начальная расчетная длина образца, м (мм);

относительное сужение после разрыва ψ – отношение разности начальной площади и минимальной площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца (в процентах)

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%, \quad (7)$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, м^2 (мм^2);

F_k – минимальная площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, м^2 (мм^2).

Динамические испытания металлов на ударную вязкость

Определение вязкости необходимо для металлов и сплавов, которые предназначены для изготовления изделий, испытывающих в процессе эксплуатации ударные и другие динамические нагрузки. Характер разрушения металлов при динамическом ударном нагружении принципиально отличается от разрушения в хрупком состоянии, при котором пластические деформации не проявляются. Ударная вязкость определяет способность металла выдерживать ударные и другие динамические нагрузки при эксплуатации изделий, т.е. его склонность к хрупкому разрушению.

Ударной вязкостью называется механическая характеристика вязкости металла KC , Дж/м^2 ($\text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$), равная работе удара, отнесенной к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора. Ударную вязкость в системе СИ определяют по формуле:

$$KC = K/S_0, \quad (8)$$

где K – работа удара, затраченная на разрушение образца, Дж;

S_0 – площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания, м^2 (см^2).

Для определения ударной вязкости при изгибе используют призматические образцы с концентраторами различного типа (рисунок 1.3).

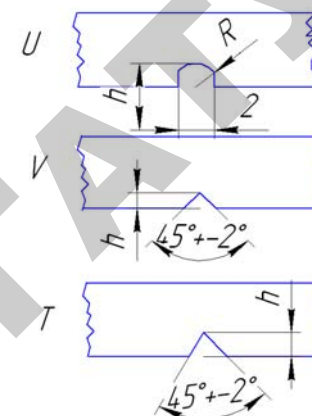


Рисунок 1.3. Форма и размеры концентраторов

Метод определения ударной вязкости (ГОСТ 9454–78) основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра (рисунок 1.4).

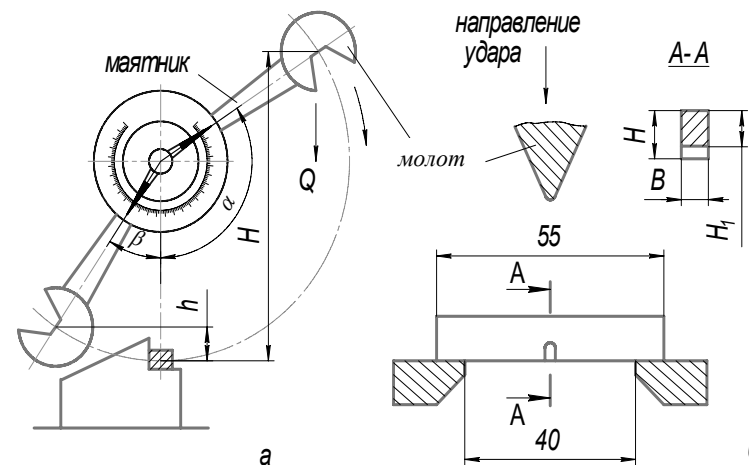


Рисунок 1.4. Схема маятникового копра и испытания на ударную вязкость: а – схема работы маятникового копра; б – образец и положение маятника копра при испытании

На рисунке 1.4, *a* показана схема работы маятникового копра. В начале испытания маятник поднимают на высоту *H*, в верхнее исходное положение, в котором он удерживается защелкой. Положение образца и маятника при испытании изображено на рисунке 1.4, *б*. Испытуемый образец помещают горизонтально на две стальные закаленные опоры, привинченные внизу к стойкам станины, таким образом, чтобы удар маятника приходился напротив прорези.

После спуска защелки молот маятника свободно падает, проходя через точку, где перпендикулярно к плоскости схемы находится испытуемый образец, ломает его своим ножом и взлетает на некоторый угол, поднимаясь на высоту *h*. Этот подъем отмечается стрелкой на градуированной шкале.

На излом образца маятник затрачивает определенную работу, поэтому угол β всегда меньше угла α . Если на пути маятника не было бы образца, то он взлетел бы на угол, который также всегда меньше угла α из-за потерь энергии маятника на преодоление сил трения в подшипниках, сопротивления воздуха и т. п.

При массе маятника *m* и начальной высоте подъема *H* его центра тяжести запас энергии составит

$$E = m \cdot g \cdot H.$$

Остаток энергии после излома образца равен

$$E_h = m \cdot g \cdot h.$$

Работа, затраченная на излом образца и на потери при ударе, равна разности между запасенной энергией и ее остатком

$$K = m \cdot g (H - h).$$

Работу удара, затраченную на излом образца, определяют по секторной шкале, проградуированной непосредственно в единицах измерения работы. Работу удара обозначают двумя буквами (*KU*, *KV*, *KT*) и цифрами. Первая буква *K* – символ работы удара, вторая (*U*, *V*, *T*) – вид концентратора (рисунок 1.3). Последующие цифры обозначают максимальную энергию удара маятника, глубину концентратора и ширину образца. Цифры не указываются при максимальной энергии удара маятника 300 Дж, глубине концентратора 2 мм вида *U*, *V* и 3 мм вида *T*, ширине образца 10 мм (стандартные условия испытаний).

Образцы с концентратором вида *U* применяются при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов. Образцы с концентратором вида *V* применяются при контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы). Образцы с концентратором вида *T* применяются при контроле металлов и сплавов для особо ответственных конструкций. В качестве основного используется образец с концентратором вида *U*.

В системе МКГСС ударная вязкость обозначается a_n , ее вычисляют по формуле:

$$a_n = \frac{A_n}{F_0}, \quad (9)$$

где A_n – работа удара, кгс·м,

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, см².

Пример пересчета

$$a_n = \frac{A_n}{F_0} = \frac{1,6}{1,0 \cdot 0,8} = 2 \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{см}^2.$$

В системе СИ $KC = \frac{K}{S_0} \text{ Дж} / \text{м}^2$.

$$K = 1,6 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 1,6 \cdot 9,81 \text{ Дж} = 15,7 \text{ Дж}.$$

$$S_0 = B \cdot H = 1 \text{ см} \cdot 0,8 \text{ см} = 0,8 \text{ см}^2 = 0,00008 \text{ м}^2 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Тогда

$$KC = \frac{15,7 \text{ Дж}}{8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2} = 1,92 \cdot 10^5 \text{ Дж} / \text{м}^2 = 0,192 \text{ МДж} / \text{м}^2.$$

$$KC = \frac{15,7 \text{ Дж}}{0,8 \text{ см}^2} = 19,2 \text{ Дж} / \text{см}^2.$$

Примеры обозначений

1. KV⁻⁴⁰50/2/2 – ударная вязкость 50 Дж/м², определенная на образце с концентратором вида *V* при температуре минус 40 °С. Максимальная энергия удара маятника 50 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 2 мм.

2. KCU 100(KCV 100) – ударная вязкость 100 Дж/м², определенная на образце с концентратором вида *U* (*V*) при комнатной температуре. Максимальная энергия удара маятника 300 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 10 мм.

Образцы и оборудование

1. Образцы углеродистой качественной стали для статических испытаний на растяжение – цилиндрические диаметром 6–12 мм, плоские – толщиной 2–10 мм (рисунок 1.1).

2. Образцы углеродистой качественной стали для динамических испытаний на ударный изгиб – призматические с концентратором напряжения длиной 55 мм (рисунок 1.3).

3. Универсальная испытательная машина УММ-5, предназначенная для статических испытаний металлов на растяжение, сжатие, изгиб с предельной нагрузкой 50 кН (5000 кгс). Машина УММ-5 работает по принципу разрывных машин с механическим нагружением образца и рычажно-маятниковым силоизмерителем. В силоизмерителе установлен диаграммный аппарат барабанного типа, который может вычерчивать диаграмму «нагрузка-деформация» испытуемого образца. Принципиальная схема разрывной машины с механическим приводом и рычажным силоизмерителем приведена на рисунке 1.5.

Нагружение образца, укрепленного в захватах, производится поступательным перемещением тягового винта, осуществляемым через червячную передачу (от электродвигателя). Усилие растяжения, приложенного к образцу, передается на маятниковый силоизмеритель, рассчитанный на 49 кН (5000 кгс относительно оси). Угловое перемещение маятника вызывает отклонение стрелки на шкале, деления которой соответствуют различным нагрузкам. Перемещение рейки, связанной с силоизмерителем, вызывает перемещение каретки со стрелкой и пером, которое регистрирует усилие на миллиметровой бумаге, натянутой на барабан. Барабан получает вращательное движение, пропорциональное удлинению образца. На бумаге вычерчивается кривая растяжения в координатах нагрузка–удлинение.

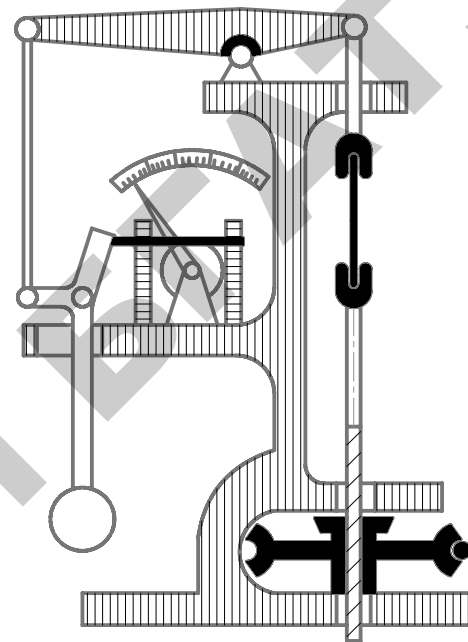


Рисунок 1.5. Схема испытательной машины с маятниковым силоизмерителем и механическим приводом

Машина УММ-5 позволяет производить испытания при следующих нагрузках: цикл *A* – 0...5 кН (500 кгс); цикл *B* – 0...10 кН (1000 кгс); цикл *B* – 0...25 кН (2500 кгс); цикл *Г* – 0...50 кН (5000 кгс).

4. Маятниковый копер КМ-5, предназначенный для динамических испытаний материалов (рисунок 1.4). КМ-5 позволяет использовать один из трех маятников, имеющих различный вес. Маятник перед началом испытаний может быть зафиксирован при угле подъема α , равном 116° или 154°. Стрелка КМ-5 после разрушения образца отклоняется и фиксируется в положении, соответствующем максимальному подъему маятника. Результат испытания сразу показывает работу в кгс·см, которую выполняет маятник при разрушении образца. С учетом веса маятника и угла его подъема диапазон измерений может быть различным (таблица 1). Копер следует располагать так, чтобы исключить возможность случайного нахождения людей с задней стороны копра (во избежание несчастных

случаев, которые могут произойти от удара маятника или от разлетающихся с большой скоростью обломков образцов).

Таблица 1 – Пределы запаса энергии маятника до удара A , на маятниковом копре КМ-5

Номер маятника	Диапазон измерений A_0 , кгс·см, при угле	
	116°	154°
1	0...100	0...130
2	0...250	0...325
3	0...500	0...650

Порядок выполнения испытаний

Порядок выполнения работы при испытании образцов на растяжение

1. Измерить размеры образца.
2. Выбрать шкалу отсчета по шкале нагрузок, исходя из размеров образца.
3. Закрепить образец в захватах.
4. Подтянуть ручным приводом нижний захват.
5. Выбрать скорость перемещения захвата и рукояткой переключения скоростей включить соответствующую скорость.
6. Установить рабочую стрелку на «ноль».
7. Включить электродвигатель машины и начать испытание. В процессе испытания следить по указателю за нарастанием нагрузки вплоть до образования на образце шейки и его разрушения. Определить максимальную нагрузку P_{\max} , записать в протокол испытания.
8. Выключить машину и снять с захватов обе части разорванного образца.
9. Замерить размеры разорванного образца.

Порядок выполнения работы при испытании образца на ударный изгиб

1. Осмотреть образец и убедиться в его пригодности к испытанию.
2. Выбрать необходимый для испытания данного образца молот и закрепить его на маятнике.
3. Определить шкалу, соответствующую выбранному молоту.

4. Положить испытуемый образец на опоры копра так, чтобы надрез образца был направлен внутрь станины, а удар маятника приходился бы со стороны, противоположной надрезу и строго по его центру.

5. Маятник отвести на необходимый угол в соответствии с выбранным запасом энергии и запереть его от самопроизвольного отпускания предохранителем.

6. Произвести испытание, для чего освободить маятник. По шкале определить значение работы $A_{\text{н}}$, затраченной на разрушение образца, и записать в протокол испытания.

Обработка результатов

Обработка результатов испытания образцов на растяжение

1. Записать данные замеров образца и максимальной нагрузки при испытании в протокол (таблица 2).
2. Вычислить предел прочности образца стали $\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм², используя формулу (5).
3. Произвести перевод значения предела прочности образца $\sigma_{\text{в}}$ из единиц системы МКГСС в единицы системы СИ.
4. Определить относительное удлинение образца δ , % по формуле (6);
5. Определить относительное сужение образца ψ , % по формуле (7).

Таблица 2 – Протокол испытаний на растяжение

Номер образца	Размеры образца, мм				Максимальная нагрузка $P_{\text{тв}}$, кгс	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %
	Диаметр		Длина						
	Начальный, d_0	После разрыва, d_k	Начальная, L_0	После разрыва, L_k					
1									
2									
3									

Обработка результатов испытания образцов на ударный изгиб

1. Записать размеры образца, вид концентратора и его глубину, а также работу, затраченную на разрушение образца A_n (кгс·см) в протокол испытаний (таблица 3).

2. Вычислить площадь поперечного сечения образца (рисунок 1.4, б).

3. Определить значение ударной вязкости в единицах системы СИ по формуле (8).

Таблица 3 – Протокол испытаний на ударную вязкость

Номер образца	Вид концентратора	Размеры образца, мм				Площадь поперечного сечения образца		Работа удара		Ударная вязкость
		Ширина образца B , мм	Высота образца H , мм	Глубина концентратора h , мм	Высота рабочего сечения h , мм	S_0 , см ²	F_0 , м ²	A_n , кгс·м	K , Дж	
1										
2										
3										

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание методов определения основных механических свойств металлов и сплавов.
3. Эскизы образцов для испытаний и схем испытательных машин.
4. Протоколы испытаний и расчеты значений прочности, пластичности и ударной вязкости образцов.
5. Выводы.
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое прочность металлов и чем она измеряется?
2. Что такое предел прочности металлов и в чем он измеряется?
3. Что такое пластичность металлов?
4. Что такое вязкость металлов и сплавов?
5. Что представляют собой статические испытания?

6. Что представляют собой динамические испытания?
7. Что представляет собой диаграмма растяжения?
8. Что такое ударная вязкость металлов и сплавов и как она определяется?
9. В каких единицах измерения определяются характеристики прочности?
10. В каких единицах измерения определяются характеристики пластичности?
11. В каких единицах измерения определяется ударная вязкость?
12. Какие образцы используются для испытания на растяжение?
13. Какие образцы используются для испытания на ударную вязкость?
14. Объясните устройство и принцип действия испытательной разрывной машины.
15. Объясните устройство и принцип действия маятникового копра.
16. Как обозначается значение ударной вязкости в системе СИ?
17. Какие виды концентраторов напряжения используются в образцах для испытаний на ударную вязкость?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы:

- 1) изучить методы определения твердости металлов по Бринеллю и Роквеллу;
- 2) приобрести навыки измерения твердости методами Бринелля и Роквелла.

Студент должен знать сущность понятия твердости, методы ее определения по Бринеллю и Роквеллу.

Студент должен уметь готовить образцы материалов для испытания на твердость, выбирать условия испытания и проводить их по методам Бринелля и Роквелла.

Общие сведения

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

Твердость — способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

В зависимости от скорости приложения нагрузки методы определения твердости подразделяются на **статические и динамические**. По способу приложения нагрузки — на методы **вдавливания, царапания, отскока**.

Наиболее распространенными способами определения твердости являются статические методы вдавливания в испытуемый материал «индентора» — наконечника определенной формы и размеров:

- твердосплавного или стального закаленного шарика;
- алмазного конуса;
- алмазной пирамиды.

При всех методах определения твердости необходимо правильно подготовить поверхностный слой металла. В нем не должно быть окалины, выбоин, вмятин, грубых рисок и т.д. При этом свойства поверхностного слоя не должны изменяться вследствие наклепа или нагрева при шлифовании и полировке. Нагрузка прилагается перпендикулярно к испытуемой поверхности. Неплоские образцы крепят на специальных опорных столиках, входящих в комплект

приборов для измерения твердости.

В стандартных методах определения твердости при комнатной температуре время выдержки индентора под нагрузкой « τ » обычно составляет $\tau = 10\text{--}30$ с.

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 вдавливается стальной закаленный или твердосплавной шарик диаметром D (1; 2; 2,5; 5 и 10 мм). В результате образуется отпечаток диаметром d (рисунок 2.1).

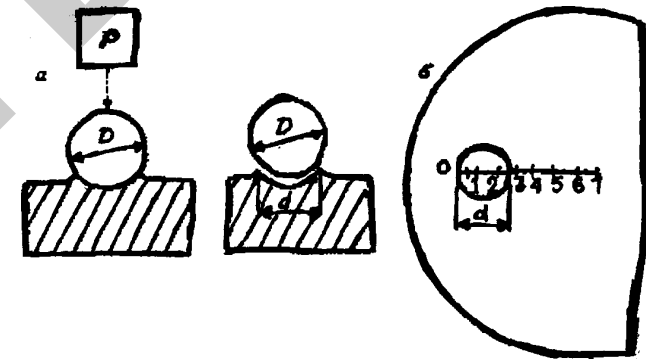


Рисунок 2.1. Схема измерения твердости по Бринеллю

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

$$HB(HBW) = P/F \text{ МПа, (кгс/мм}^2\text{)}. \quad (1)$$

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

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

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

Тогда

$$HB = \frac{2 \cdot P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}. \quad (3)$$

При испытании твердости металлов с твердостью до 450 *HB* используют стальной закаленный шарик с твердостью 8500 МПа и обозначают твердость буквами «*HB*».

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

Из формулы (3) следует, что для получения одинаковых значений *HB* одного и того же образца при использовании шариков разного диаметра отношение P/D^2 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 таблице 1.

Таблица 1 – Нагрузки (*P*) и диаметры шариков (*D*), рекомендуемые для измерения твердости по Бринеллю

Материал	Твердость по Бринеллю	<i>P</i> , кгс	<i>D</i> , 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
Свинец, олово	до 20	$\frac{1,25D^2}{2}$	1250	312,5	78,125
Мягкие металлы при повышенных температурах	до 10–20	$0,5D^2$	500	125	31,25

Время выдержки образца τ под нагрузкой:

- для сталей — 10 с;
- для сплавов на основе алюминия и меди — 30 с;
- для подшипниковых сплавов, свинца, олова — 60 с.

Осуществив вдавливание шарика диаметром *D* при нагрузке *P* и времени τ , получают отпечаток *d*, после измерения которого, находят число твердости *HB* по стандартным таблицам (приложения 4, 5). Измерение твердости по Бринеллю проводят на приборе типа ТШ-2 (рисунок 2.2).

Основной недостаток метода Бринелля — отсутствие геометрического подобия отпечатков.

Для многих металлов и сплавов (вследствие общей физической сущности) имеется линейная зависимость между твердостью *HB* и пределом прочности на растяжение σ_B :

$$\sigma_B = \chi \cdot HB, \text{ МПа (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (4)$$

где χ — коэффициент, имеющий значения, приведенные в таблице 2.

Для малопластичных металлов и сплавов с высокой твердостью зависимость между σ_B и *HB* отсутствует.

Таблица 2 – Коэффициент перевода числа твердости в предел прочности

Материал	Коэффициент χ
Стали с твердостью до 450 <i>HB</i>	0,35
Литейные алюминиевые сплавы	0,25
Деформируемые алюминиевые сплавы	0,38
Латуни и бронзы	0,45

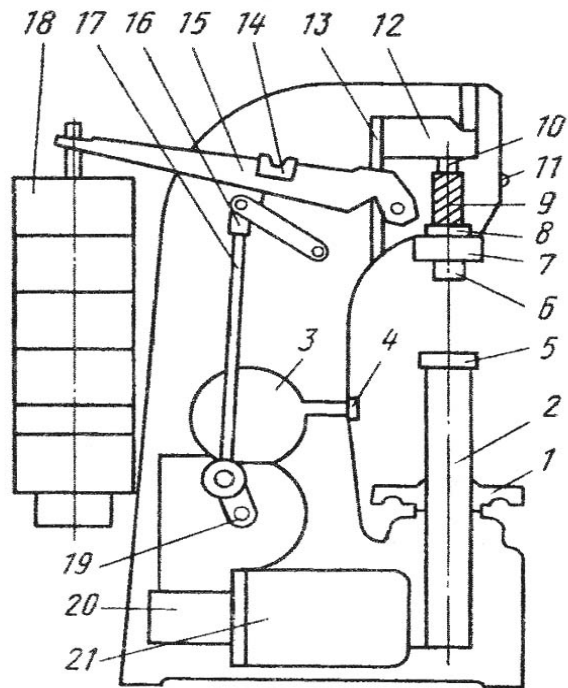


Рисунок 2.2. Схема прибора ТШ-2 для определения твердости по Бринеллю:
 1 – маховик; 2 – подъемный винт; 3 – шкала для задания времени выдержки;
 4 – выключатель; 5 – опорный столик; 6 – шпindel для индикатора; 7 – упорный чехол; 8 – втулка; 9 – пружина; 10 – шпindel; 11 – сигнальная лампа;
 12, 15 – рычаги; 13 – серьга; 14 – микропереключатель; 16 – вилка; 17 – шатун;
 18 – грузы; 19 – кривошип; 20 – редуктор; 21 – электродвигатель

Измерение твердости по методу Роквелла (ГОСТ 9013–59)

Сущность этого метода заключается в том, что в испытуемый материал вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° , либо стальной закаленный шарик диаметром $d = 1,588$ мм (1/16 дюйма) или $d = 3,175$ мм (1/8 дюйма).

Вдавливание инденторов в материал проводится под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок (рисунок 2.3):

- предварительной P_0 ;
- общей $P = P_0 + P_1$, где P_1 — основная нагрузка.

Предварительная нагрузка $P_0 = 100$ Н (10 кгс) не снимается до конца испытания. Эта нагрузка обеспечивает повышенную точность испытания.

Под нагрузкой P_0 индентор внедряется в материал на глубину h_0 , при общей нагрузке $P = P_0 + P_1$ индентор внедряется на глубину h .

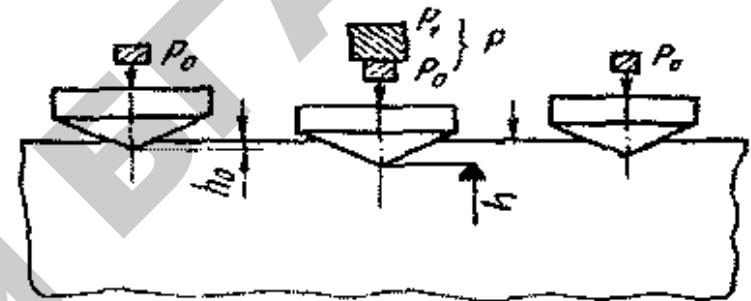


Рисунок 2.3. Схема измерений твердости по Роквеллу

Разность глубин внедрения от общей и предварительной нагрузки и определяет твердость по Роквеллу. При этом величина h пропорциональна числу твердости по Роквеллу. Чем больше глубина вдавливания h , тем меньше число твердости HR по Роквеллу.

Применение различных инденторов и усилий вдавливания дает возможность определять твердость по Роквеллу по 9 «шкалам», однако на практике наиболее широко применяются только три.

A, C — при использовании в качестве индентора алмазного конуса. Твердость обозначается: HRA, HRC .

B — при использовании в качестве индентора стального шарика. Твердость обозначается: HRB .

Единица твердости по Роквеллу — безразмерная величина. Число твердости вычисляют по формулам:

$$HRC_s (HRA) = 100 - e, \quad (5)$$

$$HRB = 130 - e, \quad (6)$$

где $e = \frac{h - h_0}{0,002}$ (0,002 мм — цена деления индикатора прибора).

Значения P_0, P_1, P и диапазон измерений твердости при разных шкалах, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Инденторы и нагрузки (P), рекомендуемые для измерения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение числа твердости	Индентор	P_0	P_1	P	Диапазон измерений единиц твердости
			кгс (Н x 10)			
A	HRA	конус	10	50	60	20 – 88
C	HRC _s	Конус	10	140	150	20 – 77
D	HRD	Конус	10	90	100	40 – 77
B	HRB	Шарик $d = 1,588$ мм	10	90	100	20 – 100
E	HRE	Шарик $d = 3,175$ мм	10	90	100	70 – 100
F	HRF	Шарик $d = 1,588$ мм	10	50	60	60 – 100
G	HRG	Шарик $d = 1,588$ мм	10	140	150	30 – 94
H	HRH	Шарик $d = 3,175$ мм	10	50	60	80 – 100
K	HRK	Шарик $d = 3,175$ мм	10	140	150	10 – 40

Алмазный конус используется для измерения твердости материалов с высокой твердостью (закаленных, цементированных и т.д.), шарик используется для измерения твердости материалов с низкой твердостью (после отжига, высокого отпуска).

На рисунке 2.4 представлена схема прибора для измерения твердости по Роквеллу типа ТК-2. Шкала прибора имеет диапазон 100 делений. Перемещение стрелки на одно деление соответствует 0,002 мм.

В настоящее время значение твердости различными методами можно определять на одном приборе. Например, универсальный твердомер УПТ-1 позволяет измерять твердость всеми рассмотренными методами. Переход от одного к другому требует лишь смены индентора и грузов.

Оборудование

1. Образцы углеродистой качественной стали диаметром 30–60 мм, толщиной 20–50 мм.
2. Твердомер ТШ-2 (полуавтоматический рычажный пресс) для измерения твердости по методу Бринелля.
3. Твердомер ТК-2 (полуавтоматический рычажный пресс) для измерения твердости по методу Роквелла.
4. Отсчетный микроскоп МПБ-2.

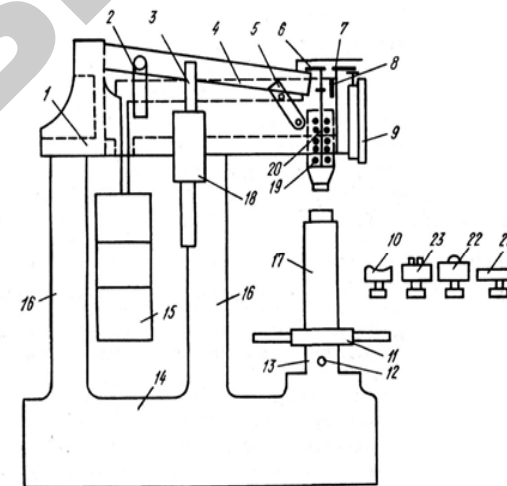


Рисунок 2.4. Схема прибора типа ТК-2 для измерения твердости по Роквеллу:

- 1 – поперечина; 2 – подвеска; 3 – шток; 4 – рычаг; 5 – рукоятка; 6 – винт; 7 – рычаг; 8 – призма; 9 – индикатор; 10 – столик опорный; 11 – маховик; 12 – шпонка; 13 – втулка направляющая; 14 – станина; 15 – грузы; 16 – стойка; 17 – винт подъемный; 18 – амортизатор масляный; 19 – пружина; 20 – шпindel; 21, 22, 23 – столики опорные

Порядок проведения испытаний

Определение твердости по методу Бринелля на приборе ТШ-2

1. Выбрать условия испытания $D/P/\tau$ по таблице 1 и настроить прибор.

2. Установить образец на столик и вращением маховика подвести образец к шарiku до упора.

3. Включить электродвигатель для автоматического внедрения индентора в испытуемый материал с последующей выдержкой под нагрузкой, снятием нагрузки и автоматического отключения прибора.

4. Опустить столик, снять образец.

5. С помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 измерить диаметр отпечатка d в двух взаимно перпендикулярных направлениях, определив среднее значение.

6. Определить число твердости по Бринеллю, используя специальную таблицу (приложение 4), где приведены рассчитанные значения HB для различных диаметров отпечатков, или рассчитав по формуле (3).

Примеры обозначения

При определении твердости шариком диаметром $D = 10$ мм, при усилии 3000 кгс (30 000 Н) и выдержке 10–15 с твердость по Бринеллю выражается числом значения твердости и обозначением HB или HBW . Например, 170 HB или 600 HBW .

При измерении твердости по Бринеллю при иных условиях испытания — эти условия испытания указываются при указании числа твердости. Например, 285 HB 5/750/30 — твердость по Бринеллю 285, использовался шарик диаметром $D = 5$ мм, при усилии 750 кгс (7500 Н), продолжительность выдержки 30 с.

Определение твердости по методу Роквелла на приборе ТК-2

1. Выбрать условия испытания — индентор и соответствующие основные усилия по таблице 3.

2. Установить образец на столик.

3. Вращением маховика подвести образец к индентору, при этом начинается вращение большой и малой стрелок на циферблате прибора. Вращение маховика осуществлять до тех пор, пока малая стрелка не совместится с красной точкой. При этом осуществляется внедрение индентора с предварительным усилием $P_0 = 10$ кгс (100 Н).

4. Большую стрелку всегда совмещают с «0» черной шкалы C (C , A) независимо от индентора. Это осуществляется поворотом зубчатого барабанчика, находящегося выше педали.

5. Включить электродвигатель кнопкой или выключателем.

6. Приложить общее усилие нажатием на педаль. После нажатия педали 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.

Примеры обозначения твердости: 53 HRC — твердость по Роквеллу 53 единицы по шкале C ; 75 HRA — твердость по Роквеллу 75 единиц по шкале A .

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание определения твердости по методу Бринелля, схему определения твердости данным методом.
3. Краткое описание определения твердости по методу Роквелла, схему определения твердости данным методом.
4. Протоколы испытаний по прилагаемым формам (таблицы 4 и 5).
5. Выводы.
6. Список использованной литературы.

Таблица 4 – Протокол испытания твердости по Бринеллю

Но- мер п/п	Условия испытания $D/P/t$	Диаметр отпечатка, мм			Твер- дость по Бри- неллю, HB	Предел прочно- сти σ_b , МПа
		Вдоль	По- перек	Среднее арифмети- ческое		
1						
2						
3						

Таблица 5 – Протокол испытания твердости по Роквеллу

Но- мер п/п	Условия испытания		Шкала	Число твер- дости, <i>HR</i>	Перевод в число твер- дости по Бринеллю, <i>HB</i>
	Инден- тор	Усилие <i>P</i> , кгс (Н)			
1					
2					
3					

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость металлов?
2. Какие существуют методы измерения твердости металлов?
3. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Бринелля?
4. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Роквелла?
5. Как обозначается твердость, измеренная по методу Бринелля, и как рассчитывается?
6. Что является условиями испытания при измерении твердости по методу Бринелля?
7. Шарики каких диаметров применяются при измерении твердости по методу Бринелля?
8. Как выбирается усилие при испытании твердости по методу Бринелля?
9. Какая существует зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности?
10. Как обозначается твердость, измеренная по методу Роквелла?
11. Чему равна твердость, измеренная по методу Роквелла?
12. Какие инденторы используются при измерении твердости методом Роквелла?
13. Какие шкалы существуют при измерении твердости по Роквеллу?
14. Какое усилие применяется при измерении твердости по Роквеллу?

15. Какой недостаток измерения твердости по Бринеллю?
16. Какие требования к поверхности металла предъявляются при измерении твердости методами Бринелля и Роквелла?
17. Какая последовательность измерения твердости по методу Бринелля?
18. Какая последовательность измерения твердости по методу Роквелла?

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Цель работы:

- 1) изучить микроструктурный метод исследования металлов;
- 2) изучить устройство металлографического микроскопа;
- 3) ознакомиться с процессом приготовления микрошлифов;
- 4) провести микроанализ сплава и определить марку стали.

Студент должен знать сущность микроструктурного метода исследования металлов, устройство металлографического микроскопа, методику приготовления микрошлифов.

Студент должен уметь готовить микрошлифы для проведения микроанализа, пользоваться металлографическим микроскопом, определять марку стали по микроструктуре.

Общие сведения

При изготовлении современной техники в большинстве случаев применяются не простые металлы, состоящие из одного элемента, а сплавы, т.к. они обладают лучшими свойствами. Наибольшее применение в сельскохозяйственном машиностроении находят железистоуглеродистые сплавы (**стали и чугуны**), свойства которых зависят от многих факторов: химического состава, способа выплавки, скорости охлаждения, наличия неметаллических включений и т.д. Различие свойств определяется их внутренним строением – **структурой**. Для изучения строения металлов и сплавов используют различные методы: макроанализ, микроанализ, рентгеноструктурный анализ и др.

Макроанализ. Макроскопический анализ заключается в изучении строения сплавов невооруженным глазом или с помощью небольших увеличений (до 30 раз) с помощью лупы. Строение металлов и сплавов, определяемое этим методом, называется **макроструктурой**.

Макроскопический анализ позволяет установить:

– строение металла или сплава в литых деталях или слитках, наличие и характер распределение зон кристаллизации, усадочных раковин, пористости, трещин и т.д.;

- химическую неоднородность металла или сплава, получаемую в процессе кристаллизации;
- неоднородность состава и структуры металла или сплава, созданной термической или химико-термической обработками;
- строение металла после горячей обработки давлением (проката, штамповки,ковки и т.д.);
- характер излома металла или сплава.

Микроанализ. Микроструктурный анализ заключается в исследовании **микроструктуры** материалов при больших увеличениях (в 60–50000 раз) с помощью металлографических и электронных микроскопов.

В настоящее время используются несколько марок металлографических оптических микроскопов: МИМ-7, ММР-4, ММУ-3, МИМ-8М, Neophot-21 и др. Все микроскопы для микроструктурного анализа сконструированы по одному базовому принципу: освещение объекта и изучение его в отраженном свете.

На электронных микроскопах изучают очень тонкие слепки или реплики (фольги) со снятыми отпечатками микрорельефного строения приготовленных микрошлифов.

Рентгеноструктурным анализом называется исследование внутреннего строения металлов или сплавов с помощью рентгеновских лучей на специальных установках. Этот вид анализа основан на дифракции рентгеновских лучей рядами атомов в кристаллической решетке. Рассеянные рентгеновские лучи фиксируются на фотопленке или фотопластинке в виде пятен или колец. По характеру расположения этих колец определяются параметры и тип кристаллической решетки, а также степень ее искаженности и величина внутренних напряжений. Выявленное с помощью рентгеновских лучей строение металлов называется **рентгеноструктурой**.

На практике наиболее часто используется микроструктурный метод исследования металлов.

Методика приготовления микрошлифа

Для микроструктурного метода необходимо приготовить специальный микрошлиф исследуемого образца. **Микрошлифом** называется образец металла, поверхность которого специально подготовлена для микроанализа. Подготовка микрошлифа состоит в получении плоского среза в нужном месте поверхности образца металла и последующего шлифования, полирования и травления этой поверх-

ности с целью выявления структуры. Заготовку для микрошлифа опиляют напильником или обдирают на наждачном круге.

Шлифовка ведется до исчезновения рисок от предыдущей обработки. Для этого, при переходе на шлифовальную шкурку с меньшим номером зерна, образец поворачивают на 90° . Тонкая шлифовка ведется в два перехода последовательно на микрошкурках М28–М20 и М14–М10, при этом образец слегка прижимается к кругу. Полировка производится на вращающемся фетровом круге. Поверхность фетра периодически смачивается суспензией абразива. В качестве абразива используется оксид хрома, оксид алюминия или магния. **Полировка** ведется до исчезновения рисок, видимых под микроскопом при увеличении в 100 раз. После полировки микрошлиф промывается в струе проточной воды, обезжиривается спиртом (смачиванием поверхности микрошлифа тампоном). Промытый и обезжиренный микрошлиф сушится фильтровальной бумагой. После промывки и сушки поверхность микрошлифа должна быть идеально чистой, без признаков загрязнения и следов влаги.

Травление микрошлифов сталей и чугунов производится 4 %-ым раствором азотной кислоты в спирте окунанием или смачиванием тампоном. Длительность травления от 5 до 30 с. После травления производится промывка спиртом, а затем сушка фильтровальной бумагой. Контроль производится визуально – до равномерного потускнения поверхности. Микрошлиф рассматривается под микроскопом дважды: до травления и после травления.

При рассмотрении микрошлифа, приготовленного из доэвтектоидной стали, после полирования (до травления) под микроскопом виден светлый круг, на котором иногда заметны темные участки (серые или черные). Эти участки являются неметаллическими включениями в виде шлаков, оксидов, сульфидов и т.д. Если микрошлиф был приготовлен некачественно, то могут быть заметны царапины и другие дефекты обработки.

При рассмотрении микрошлифа, приготовленного из доэвтектоидной стали после травления, выявляется его структура, которая имеет зернистое строение. При этом зерна имеют различную видимость.

Однофазные структурные составляющие (чистые металлы, твердые растворы, химические соединения) будут выглядеть светлыми. Это объясняется равномерным воздействием травителя на все зерна. Следовательно, луч света, падающий на такое зерно, будет отражаться от его поверхности, проходить в объектив и давать светлое отраженное изображение. Границы между однородными и не-

однородными зернами имеют повышенное содержание примесей и травятся (растворяются) быстрее, вследствие чего образуются углубления (канавки). Свет, падающий на них, будет частично рассеиваться, и в результате они будут выглядеть более темными (рисунок 3.1).

В зернах, состоящих из неоднородных составляющих (двух или более фаз, например, механические смеси: перлит, ледебурит и т.п.), каждая составляющая при воздействии травителя будет протравливаться на различную глубину. В результате на поверхности таких зерен будет образовываться микрорельеф. Свет, падающий на поверхность протравленного неоднородного зерна, рассеивается и попадает в объектив микроскопа в меньшем количестве, чем и объясняется его темный цвет (рисунок 3.2).

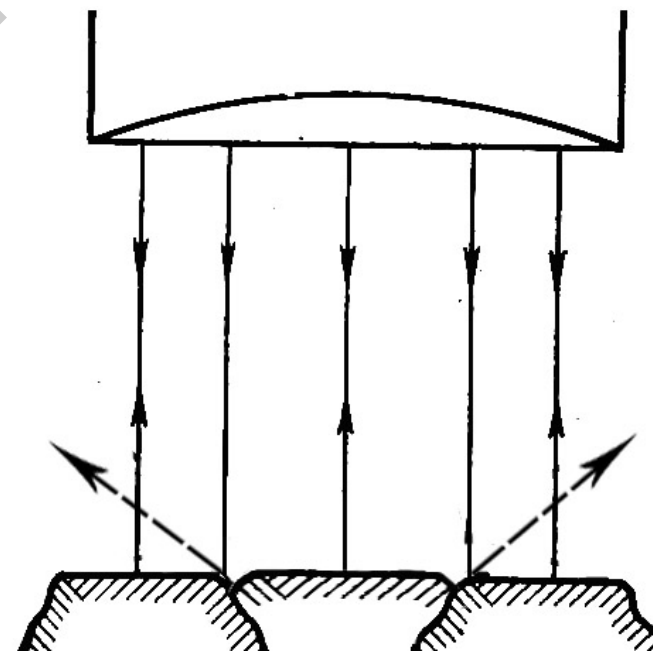


Рисунок 3.1. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа, состоящего из однородных структурных составляющих

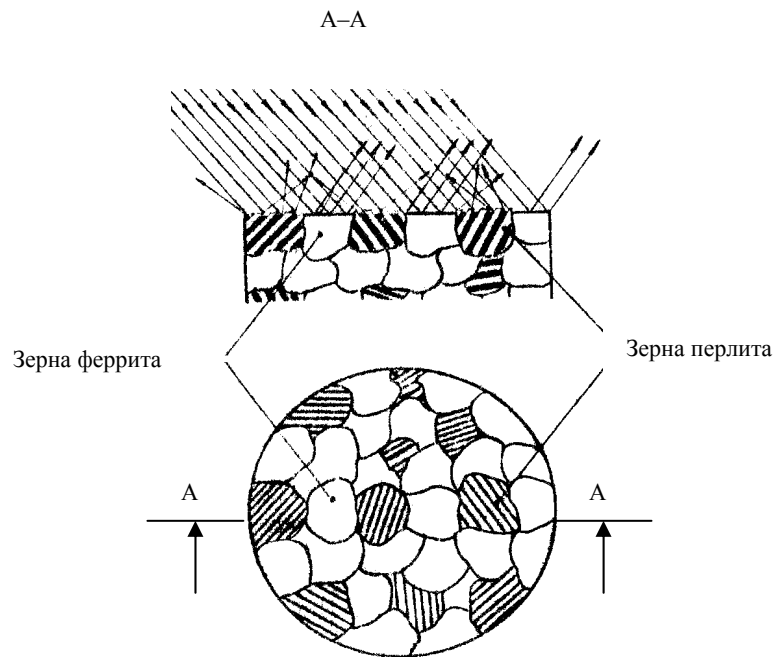


Рисунок 3.2. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа, состоящего из неоднородных структурных составляющих

Характеристики металлографического микроскопа

Металлографические микроскопы предназначены для визуального наблюдения и фотографирования непрозрачных объектов в светлом поле при прямом освещении, в темном поле при косом освещении и поляризованном свете с увеличением 60–1500 раз. Микроскоп позволяет применять иммерсионные объекты, обладающие более высокой разрешающей способностью. Основными характеристиками микроскопа являются его общее и полезное увеличение, а также разрешающая способность.

Разрешающая способность микроскопа характеризуется минимальным расстоянием между двумя точками, при котором они различаются раздельно. Это расстояние может быть определено по формуле:

$$d = \frac{\lambda}{A}, \quad (1)$$

где d – разрешающая способность, мкм;
 λ – длина световой волны в ангстремах, для белого света 0,6 мкм;
 A – числовая апертура объектива.

Числовая апертура объектива определяется уравнением:

$$A = h \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где h – коэффициент преломления среды между исследуемым предметом и объективом;
 α – отверстиеный угол объектива (рисунок 3.3).

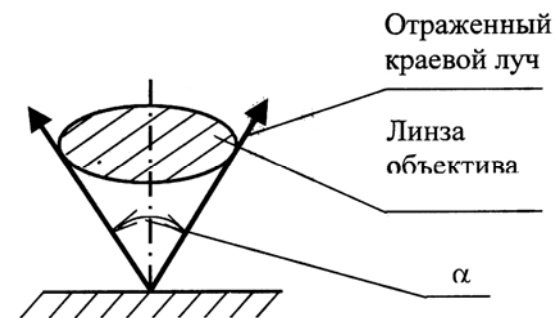


Рисунок 3.3. Отверстный угол объектива

Поскольку коэффициент преломления лучей света в воздухе $h = 1$, то наибольшее значение числовой апертуры при максимальном значении отверстиеного угла объектива $\alpha = 144^\circ$ будет:

$$A = h \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 1 \cdot 0,95 = 0,95.$$

При применении иммерсионного объектива, где свет проходит через прослойку кедрового масла, коэффициент преломления $h = 1,51$.

Тогда наибольшее значение числовой апертуры будет:

$$A = h \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 1,51 \cdot 0,95 = 1,43.$$

Как известно из курса физики, разрешающая способность микроскопа для белого цвета с учетом дифракции определяется уравнением:

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,6}{2 \cdot 0,95} \approx 0,3 \text{ мкм.} \quad \dots\dots(3)$$

При применении иммерсионного объектива с числовой апертурой $A = 1,43$ разрешающая способность микроскопа равна:

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,6}{2 \cdot 1,43} \approx 0,2 \text{ мкм.} \quad (4)$$

Этот расчет показывает, что в оптическом микроскопе, какое бы большое увеличение не применяли, мы не увидим кристаллит, размеры которого меньше 0,2–0,3 мкм.

Полезное увеличение микроскопа M , т.е. увеличение, при котором выявляются детали рассматриваемого предмета, определяется уравнением:

$$M = \frac{d_1}{d}, \quad (5)$$

где d_1 – разрешающая способность человеческого глаза. Наименьшая разрешающая способность глаза человека равна 300 мкм;

d – разрешающая способность микроскопа, мкм.

Тогда полезное увеличение обычного (сухого) объектива:

$$M = \frac{300 \text{ мкм}}{0,3 \text{ мкм}} = 1000 \text{ раз.} \quad (6)$$

Для иммерсионного объектива

$$M = \frac{300 \text{ мкм}}{0,2 \text{ мкм}} = 1500 \text{ раз.} \quad (7)$$

Общее увеличение микроскопа определяется по формуле:

$$V_m = V_{\text{ок}} \cdot V_{\text{об}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{ок}}$ и $V_{\text{об}}$ – увеличения окуляра и объектива соответственно.

Четкость изображения достигается при правильном подборе (комбинации) увеличений объектива и окуляра. В таблице 3 содержатся характеристики объективов и окуляров МИМ-7 и их сочетания для необходимого увеличения.

Таблица 3 – Увеличения микроскопа МИМ-7

Объективы	Окуляры						
	При визуальном наблюдении				При фотографировании		
	7*	10*	15*	20*	7*	10*	15*
$F = 23,17; A = 0,17$	60	90	130	170	70	120	160
$F = 13,89; A = 0,30$	100	140	200	300	115	200	270
$F = 8,16; A = 0,37$	170	240	360	500	200	340	450
$F = 6,16; A = 0,65$	-	320	500	650	-	440	600
$F = 2,77; A = 1,25$	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Примечание. A – числовая апертура (мера светосилы объектива); F – фокусное расстояние.

Устройство микроскопа МИМ-7

На рисунке 3.4 показан общий вид металлографического микроскопа МИМ-7. Он состоит из следующих основных систем: оптической, осветительной, регистрирующей (с фотографической аппаратурой) и механической.

Оптическая система микроскопа включает объектив и окуляр, от которых зависит увеличение микроскопа, и ряд вспомогательных элементов: призмы, зеркала, линзы, диафрагмы. Они смонтированы в корпусе и нужны для того, чтобы сложный, рассеянный луч белого цвета превратить в прямолинейный луч и сфокусировать его в одной точке. Объектив, представляющий собой сочетание линз, дает реальное увеличение микроструктуры. Окуляр состоит из нескольких линз и предназначен для увеличения изображения, полученного объективом.

В осветительную систему микроскопа входят источник света,

набор линз, светофильтров и диафрагм. Источником света является электрическая лампа (17 В), включаемая в сеть через понижающий трансформатор.

Механическая система включает устройства для макро- и микрофокусировки. Макрофокусировка осуществляется с помощью винта, ручки которого располагаются слева и справа на боковых поверхностях корпуса микроскопа, и стопора с рукояткой (слева). Микрофокусировка производится винтом, расположенным справа, ниже макровинта. Перемещение предметного столика в горизонтальных направлениях для просмотра всей поверхности шлифа проводится двумя винтами, расположенными на его боковой поверхности. Около этих винтов на столике нанесены шкалы отсчета с ценой деления 1 мм.

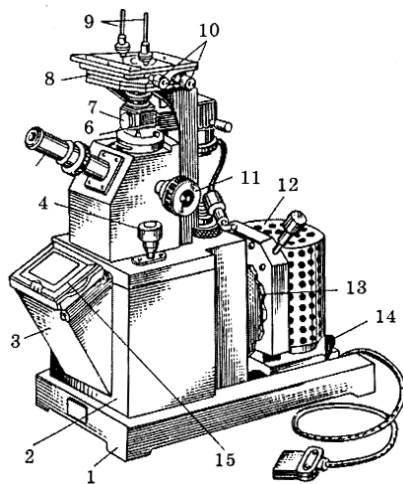


Рисунок 3.4. Общий вид микроскопа МИМ-7:

- 1 – основание; 2 – корпус; 3 – фотокамера; 4 – микрометрический винт;
5 – визуальный тубус с окуляром; 6 – рукоятка иллюминатора;
7 – иллюминатор; 8 – предметный столик; 9 – клеммы; 10 – винты перемещения столика; 11 – макрометрический винт; 12 – осветитель; 13 – рукоятка светофильтров; 14 – стопорное устройство осветителя; 15 – рамка с матовым стеклом

Оборудование, материалы, инструменты

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Шлифовально-полировальный станок.
3. Набор микрошлифов.
4. Набор наждачных бумаг, оксид хрома, раствор травителя.
5. Плакаты, стенды, фотографии микроструктур сталей.

Порядок выполнения работы

Для проведения исследований микроструктуры студенты получают набор шлифов из доэвтектоидной стали.

Шлифы предварительно шлифуются лаборантом. Полирование и травление студент проводит самостоятельно.

На микроскопе МИМ-7 при заданном увеличении (x240) рассматриваются микроструктуры шлифов до и после травления.

Анализ полученного результата проводят путем определения содержания углерода в стали в зависимости от процентного соотношения темных (перлит) и светлых (феррит) зерен. Микроструктура доэвтектоидной стали приведена на рисунке 3.5, а, ее схематическое изображение – на рисунке 3.5, б.

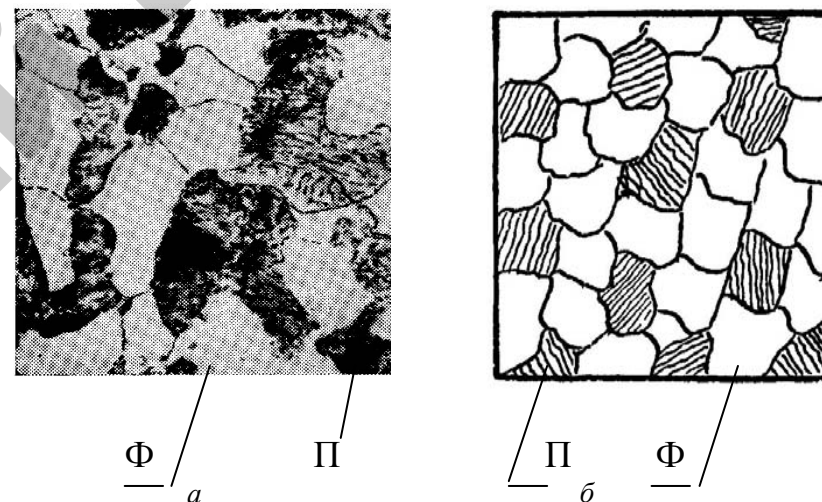


Рисунок 3.5. Микроструктура доэвтектоидной стали а, (увеличение x240) и ее схематическое изображение б

По количественному соотношению светлых и темных зерен (феррит, перлит), оцениваемых визуально, определяется количество перлита. По нему, с учетом содержания углерода в перлите (0,8 %), определяют содержание углерода в стали. На рисунке 3.5, б отчетливо видно, что темных зерен перлита в изучаемой стали примерно 30 %. Тогда для определения содержания в ней углерода составим пропорцию:

$$\begin{aligned} &\text{перлит } 100 \% - 0,8 \% \text{ C;} \\ &\text{перлит } 30 \% - X \% \text{ C.} \end{aligned}$$

ТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «СВИНЕЦ–СУРЬМА»

Тогда
$$X = \frac{0,8 \cdot 30}{100} \% C = 0,24 \% C,$$

что соответствует марке стали 25.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Определение основных методов исследования структуры металлов и сплавов.
3. Описание технологии приготовления микрошлифов.
4. Схема отражения световых лучей от поверхности микрошлифа после травления.
5. Изображение микрошлифа до травления с указанием дефектов и элементов микроструктуры и после травления с указанием структурных составляющих.
6. Определение марки стали по микроструктуре приготовленного микрошлифа и приведенной пропорции.
7. Выводы по работе.
8. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение металлам и металлическим сплавам.
2. Какое строение имеют металлы и сплавы?
3. Что называется структурой?
4. Какие методы применяют для исследования строения металлов?
5. Что называется макроанализом?
6. Поясните сущность рентгеноструктурного анализа металлов.
7. Что называется микроанализом?
8. Что называется микрошлифом?
9. Опишите технологию приготовления микрошлифа.
10. Чем производится грубая и тонкая шлифовки микрошлифа?
11. Как производится полирование микрошлифа?
12. Чем и с какой целью осуществляются травления микрошлифа?
13. Поясните схему видимости границ зерен под микроскопом.
14. Поясните схему видимости однородных и неоднородных зерен под микроскопом.
15. Какие вы знаете характеристики микроскопа?
16. Из каких основных узлов состоит микроскоп МИМ-7?

Цель работы:

- 1) освоить методики определения критических точек – температуры начала и конца кристаллизации металлов и сплавов термическим методом;
- 2) освоить построение и анализ диаграммы состояния сплавов системы «свинец–сурьма».

Студент должен знать сущность термического метода исследования и построения диаграмм состояния сплавов.

Студент должен уметь:

- 1) приготовить и расплавить в тигле свинцово-сурьмянистые сплавы заданной концентрации: (6 % Sb + 94 % Pb), (13 % Sb + 87 % Pb), (40 % Sb + 60 % Pb) и другие;
- 2) с помощью термоэлектрического пирометра определять показания термоэлектродвижущей силы охлаждающихся сплавов;
- 3) по полученным данным построить кривые охлаждения и диаграмму сплавов системы «свинец–сурьма».

Общие сведения

Основные материалы, применяемые в технике, – сплавы, а не чистые металлы. Чистые металлы, как правило, обладают более низкой прочностью по сравнению со сплавами и во многих случаях не обеспечивают требуемых технологических свойств.

Сплав – это соединение, полученное путем сплавления двух или более элементов. Сплав может быть получен и другими способами: спеканием, электролизом, возгонкой и т.д.

При изучении процессов, происходящих в металлах и сплавах при фазовых превращениях, пользуются следующими терминами и понятиями.

Компоненты – это вещества, образовавшие сплав. Компонентами могут быть чистые элементы (металлы и неметаллы), а также устойчивые химические соединения.

Система – это совокупность фаз, находящихся в состоянии равновесия.

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

Фазами могут быть: химические элементы, твердые растворы, химические соединения, жидкость.

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

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

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

Диаграммы состояния сплавов необходимы для практических и теоретических целей. С помощью диаграмм состояния можно установить температуру выплавки и литья сплавов, режимы термической, химико-термической обработки, обработки давлением и т.д.

Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов строят в координатах **температура–концентрация**, в весовых или атомных процентах (рисунок 4.1). По оси ординат откладывают температуру ($^{\circ}\text{C}$), а по оси абсцисс – массовую долю компонентов (от 100 % одного до 100 % другого).

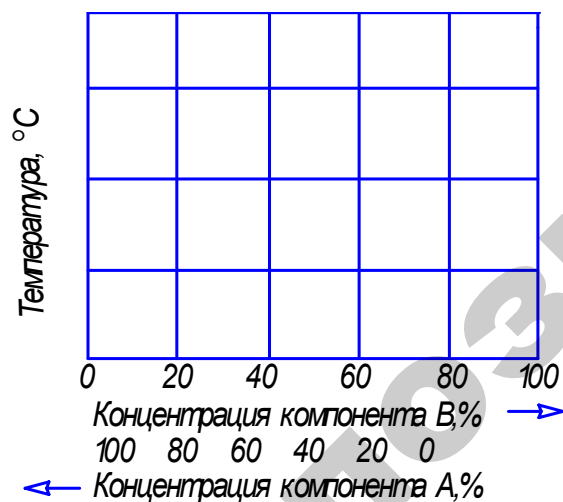


Рисунок 4.1. Координаты для изображения диаграмм состояния сплавов

Крайние ординаты на диаграмме соответствуют чистым компонентам, а ординаты между ними – двойным сплавам

Существует несколько методов построения диаграмм состояния (термический, металлографический, дилатометрический), но наиболее простым и достаточно точным является термический метод.

Термический метод построения диаграмм состояния

Сущность термического метода заключается в том, что изменение в состоянии металлов и сплавов (фазовое, внутрифазовое или структурное превращение) вызывает изменение энтальпии (свойств), а потому должно сопровождаться тепловым эффектом – выделением или поглощением тепла. Выделяется тепло при кристаллизации, поглощается при расплавлении, при этом изменяются физические свойства металлов и сплавов.

Температуры, при которых происходят изменения в состоянии сплава, называются **критическими**; соответствующие им точки на кривой охлаждения – **критическими точками**.

Для определения критических точек берут навески определенного состава сплава или чистого металла, расплавляют в тиглях, помещенных в электропечи (рисунок 4.2). Далее через короткие, равные промежутки времени (30 сек) измеряют температуру охлаждающегося или нагревающегося сплава или металла. Затем по полученным экспериментальным путем данным строят кривые охлаждения или нагревания в координатах температура–время.

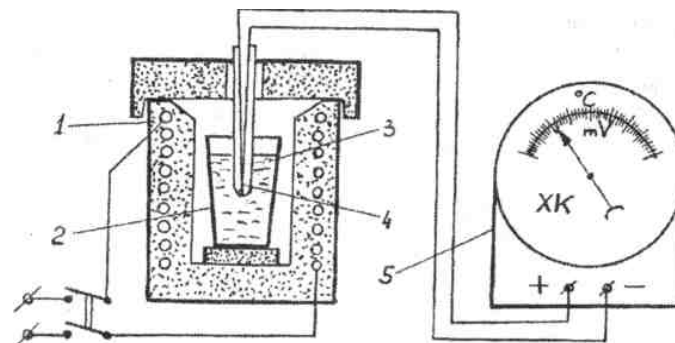


Рисунок 4.2. Схема установки для исследования процесса кристаллизации сплавов методом термического анализа:

- 1 – электропечь; 2 – тигель; 3 – расплавленный металл или сплав;
- 4 – горячий спай термопары; 5 – милливольтметр

Кривые охлаждения – графические зависимости изменения температуры сплава (T) от времени охлаждения (τ). Точки перегиба – остановки характеризуют начало и конец фазовых превращений.

Тепловой эффект вызывает при соответствующей температуре появление различного вида аномалий (ступенек, перегибов), тем самым, выявляя соответствующие превращения. Если на кривых охлаждения появляется горизонтальная площадка, то это означает, что превращение идет при постоянной температуре. Если образуются перегибы, то превращения происходят в интервале температур.

Метод измерения температур

При термическом анализе для измерения температур используют термоэлектрические пирометры, состоящие из термопары и регистрирующего измерительного прибора (милливольтметра, потенциометра).

Термопара представляет собой два разнородных металлических проводника, один конец которых соединен между собой, образуя горячий спай. Два других конца (холодный спай) присоединены посредством проводов к милливольтметру. Когда горячий спай нагревается, в замкнутой цепи возникает термоэлектродвижущая сила E . Результирующая термоэлектродвижущая сила тем больше, чем больше разность температур между горячим и холодным спаями $E = E_2(T_2) - E_1(T_1)$.

В зависимости от температуры нагрева применяют различные металлы для электродов термопары. В данной работе мы пользуемся термопарой XK (хромель–копель).

Методика построения диаграммы

Для построения диаграммы состояния сплавов «свинец–сурьма» готовятся навески следующей концентрации (6 % Sb + 94 % Pb), (13 % Sb + 87 % Pb), (40 % Sb + 60 % Pb). Приготовленные сплавы расплавляют в тигле печи. Снимают показания изменяющейся термоэлектродвижущей силы в мВ при охлаждении сплавов через равные промежутки времени. По полученным данным строят кривые охлаждения.

Методом термического анализа определяются критические точки указанных сплавов.

Диаграмму состояния строят следующим образом: по оси абсцисс откладывают в масштабе процентное содержание компонентов – свинца и сурьмы. По оси ординат в масштабе откладывают темпера-

туру. На оси концентрации через точки, соответствующие выбранным концентрациям сплавов, проводят перпендикуляры, являющиеся линиями сплавов. На каждой линии отмечают критические точки сплава, полученные при построении кривых охлаждения. 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 $Sb = 631^\circ C$). Линия ACB (рисунок 4.3, z), на которой поместились все критические точки начала кристаллизации жидкого сплава, называется линией *ликвидус* (жидкий).

Затем соединяют линией критические точки, характеризующие конец кристаллизации. Линия DCE (рисунок 4.3, z), соответствующая концу кристаллизации жидкого сплава, называется линией *солидус* (твердый). Так как все точки конца кристаллизации имеют одинаковую температуру, то эта линия будет горизонтальной.

Анализ диаграммы состояния сплавов «свинец–сурьма»

Для анализа диаграммы состояния сплавов пользуются правилом фаз или законом Гиббса, который выражает зависимость

$$C = K + n - f, \quad (1)$$

где C – число степеней свободы системы;

K – число компонентов;

n – число внешних факторов (температура, давление);

f – число фаз.

Под **числом степеней свободы** (вероятностью) системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения числа фаз. Поскольку диаграммы состояния рассматриваются при постоянном давлении, то формула (1) принимает следующий вид:

$$C = K + 1 - f. \quad (2)$$

Применим правило фаз к сплаву I (рисунок 4.3, z), кривая охлаждения показана на рисунке 4.3, $б$.

Точки пересечения сплава с линиями диаграммы обозначим цифрами: 1, 2, 3, а точка θ выбирается произвольно и всегда находится в области жидкого сплава. Используем формулу (2).

В точке θ сплав находится в жидком состоянии $C_0 = 2 + 1 - 1 = 2$ (жидкий сплав). Компонентов два (свинец и сурьма). Фаза – одна

(жидкий сплав). Число степеней свободы получилось две. Это означает, что можно изменять температуру, концентрацию, а сплав будет находиться в жидком состоянии.

На участке $0...1$ происходит охлаждение жидкого сплава, $C_{0...1} = 2 + 1 - 1 = 2$ (жидкий сплав).

В точке 1 начинается процесс кристаллизации жидкого сплава в виде свинца.

$C_1 = 2 + 1 - 2 = 1$ (жидкий сплав, свинец). Компонентов два (свинец и сурьма), фазы две (жидкий сплав и свинец).

На участке $1.. 2$ из жидкого сплава кристаллизуется свинец

$C_{1...2} = 2 + 1 - 2 = 1$ (жидкий сплав и свинец).

Получили, что число степеней свободы равно единице. Это означает, что выделение кристаллов свинца происходит только при изменении температуры. Концентрация жидкого сплава при охлаждении изменяется по линии AC (рисунок 4.3, z).

В точке 2 сплав пересекает линию DCE – солидус. На этой линии заканчивается процесс кристаллизации жидкого сплава. В данном случае жидкий сплав концентрации точки C кристаллизуется в виде равномерной механической смеси кристаллов свинца и сурьмы (**эвтектики**).

$C_2 = 2 + 1 - 3 = 0$ (жидкий сплав, свинец, сурьма).

Компонентов два (свинец и сурьма), фазы три (жидкий сплав концентрации точки C , свинец, сурьма).

Когда число степеней свободы равно 0, это значит, что система нонвариантная. Процесс идет при постоянной температуре. На кри-вой охлаждения появляется площадка $2...2'$.

$C_{2...2'} = 2 + 1 - 3 = 0$ (жидкий сплав, свинец, сурьма).

На участке $2'...3$ протекает охлаждение закристаллизовавшегося сплава

$C_{2...3} = 2 + 1 - 2 = 1$ (свинец, сурьма).

Компонентов два (свинец, сурьма), фазы две (свинец, сурьма). Процесс протекает при переменной температуре. Изменение температуры в этом интервале не вызывает изменения числа фаз.

При кристаллизации сплавов изменяется концентрация фаз и их количественное соотношение. Для определения этих характеристик пользуются правилом отрезков.

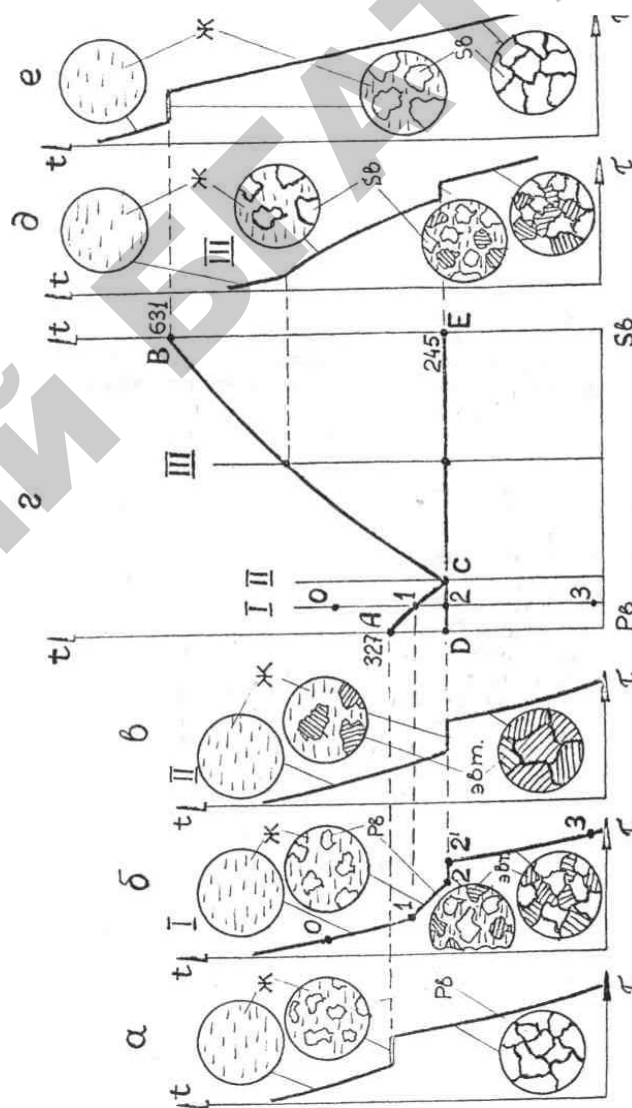


Рисунок 4.3. Диаграмма состояния сплавов Pb-Sb (Γ) и их кривые охлаждения: a – 100 % Pb; b – 94 % Pb + 6 % Sb (сплав D); c – 87 % Pb + 13 % Sb (сплав II); d – 40 % Pb + 60 % Sb (сплав III); e – 100 % Sb

Первое положение правила отрезков

Чтобы определить концентрации фаз или структур, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию (*каноду*) до пересечения с линиями, ограничивающими данные фазы или структуры. Проекция точек пересечения каноды с линиями диаграммы на ось концентрации показывают состав фаз или структур.

Пример 1. Сплав М (рисунок 4.4) состоит из 60 % Sb + 40 % Pb. В точке «к» сплава М при температуре 300 °С существуют две фазы (жидкий сплав и кристаллы Sb). Концентрация жидкого сплава определяется проекцией, опущенной на ось концентрации из точки «а» и равна: 38 % Sb + 62 % Pb.

Концентрация твердой фазы (кристаллов Sb) определяется проекцией, опущенной из точки «в» на ось концентрации и равна 100 % Sb.

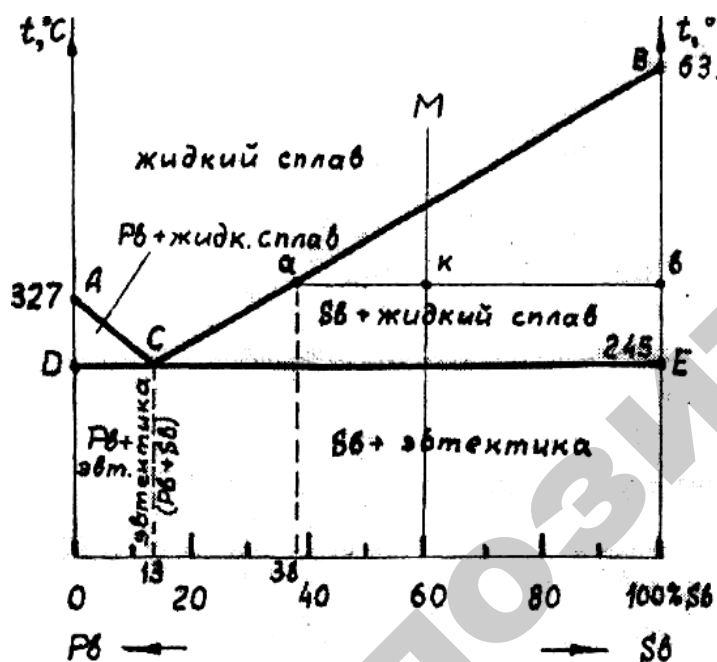


Рисунок 4.4. Применение правила отрезков

Второе положение правила отрезков

Для того чтобы определить количественное соотношение фаз или структур, через заданную точку проводят горизонтальную линию (*каноду*) до пересечения с линиями, ограничивающими данные фазы или структуры. Отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз или структур, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Пример 2. Сплав М (рисунок 4) состоит из 60 % Sb + 40 % Pb. В точке «к» сплава М при температуре 300 °С имеются две фазы: (жидкий сплав и кристаллы Sb). Количество данной фазы обозначается буквой *Q*.

Отношение количества жидкой фазы к количеству твердой фазы (Sb) определяется отношением следующих отрезков:

$$\frac{Q_{\text{ж}}}{Q_{\text{тв(Sb)}}} = \frac{kb}{ka}$$

Отрезок данной каноды «*ab*» характеризует количество обеих фаз в % и равняется 100 %. Отношение обратного отрезка ко всей каноде, умноженное на 100 %, определяет количество интересующей фазы:

$$Q_{\text{ж}} = \frac{kb}{ab} \cdot 100\%; \quad Q_{\text{ж}} = \frac{40}{62} \cdot 100\% = 64\%$$

Количество твердой фазы (Sb):

$$Q_{\text{тв(Sb)}} = \frac{ka}{ab} \cdot 100\%; \quad Q_{\text{тв(Sb)}} = \frac{22}{62} \cdot 100\% = 36\%$$

Порядок выполнения работы

1. Подготовить навеску (200 г) сплавов следующего состава: 6% Sb + 94 % Pb), (13 % Sb + 87 % Pb), (40 % Sb + 60 % Pb).
2. Поместить тигли с подготовленными навесками в электропечь и довести до плавления.
3. После расплавления сплава отключить печь, извлечь тигли и подсоединить провода холодного спая термопары ХК к клеммам милливольтметра.

4. Записать показания термоэлектродвижущей силы охлаждающихся сплавов в условных мВ с интервалом в 30 сек.

5. По полученным данным построить кривые охлаждения в координатах «милливольты–секунды».

6. Определить критические точки, соответствующие началу и концу кристаллизации по перегибу кривых или площадкам, и перевести значения: условные милливольты (мВ) в градусы Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), пользуясь градуировочной кривой (рисунок 4.5).

7. Записать температуры критических точек в таблицу 1.

8. В координатах «температура–концентрация» нанести линии, соответствующие исследуемым сплавам, и на них отметить критические точки.

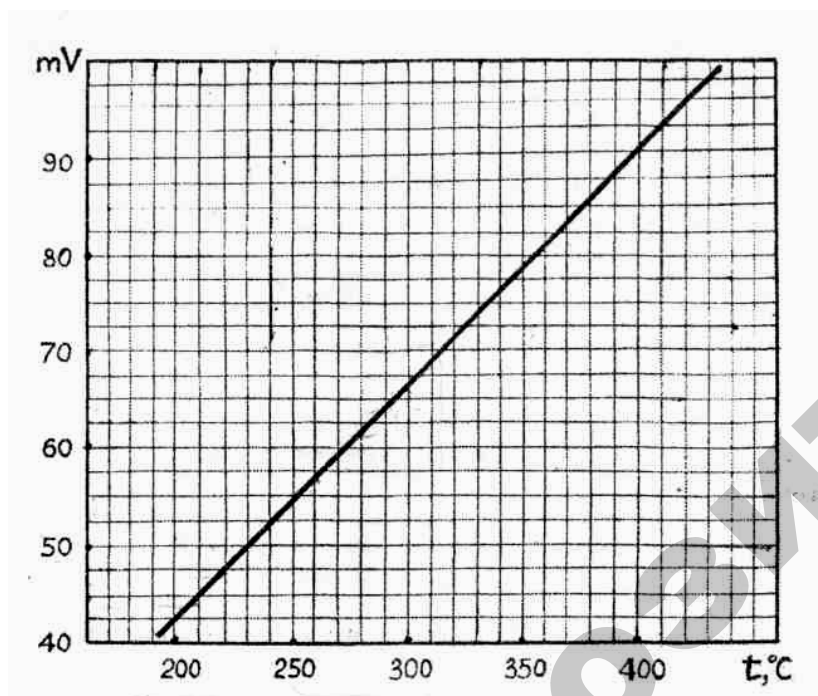


Рисунок 4.5. Градуировочная кривая термопары ХК

Таблица 1 – Критические точки сплавов «свинец-сурьма»

Номер сплава	Состав сплава	Температуры, $^{\circ}\text{C}$	
		Начала кристаллизации	Конца кристаллизации
1	Свинец 100 % + сурьма 0 %		
2	Сурьма 6 % + свинец 94 %		
3	Сурьма 13 % + свинец 87 %		
4	Сурьма 40 % + свинец 60 %		
5	Сурьма 100 % + свинец 0 %		

9. Критические точки, определяющие начало кристаллизации, соединить одной линией. Точки, соответствующие концу кристаллизации, соединить второй линией, тем самым, получив диаграмму состояния сплавов Pb–Sb.

Самостоятельная работа

1. Обозначить буквами линии диаграммы состояния сплавов и указать линии: *ликвидус*; *солидус*; линию эвтектического превращения.
2. Заполнить области диаграммы состояния, ограниченные линиями, указав структурный состав сплавов.
3. С помощью правила фаз проанализировать кривые охлаждения сплавов, указанных преподавателем.
4. Для предложенного преподавателем сплава определенного состава и температуры применить правило отрезков, определив концентрацию и количественный состав фаз.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения о сущности термического метода исследования сплавов
3. Схема установки.
4. Таблица критических точек (первые четыре пункта выполняются в процессе самоподготовки к лабораторной работе).
5. Графики кривых охлаждения сплавов.
6. Диаграмма состояния сплавов системы «свинец-сурьма».
7. Анализ процесса кристаллизации сплава.
8. Выводы.

9. Список использованной литературы.

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 такое термопара?
6. Как переводятся показания из милливольт в градусы Цельсия?
7. Что происходит на линии *ликвидус*?
8. Что происходит на линии *солидус*?
9. Что происходит на линии эвтектического превращения?
10. Что такое фаза?
11. Что такое компонент?
12. Что такое внешние факторы?
13. Что понимают под числом степеней свободы?
14. Сформулируйте правило фаз.
15. Объясните правило отрезков.
16. Какие сплавы являются доэвтектическими?
17. Какие сплавы являются эвтектическими?
18. Какие сплавы являются заэвтектическими?
19. Укажите теоретическое и практическое применение диаграмм состояния.

Лабораторная работа № 5

**АНАЛИЗ ДИАГРАММ
СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО–УГЛЕРОД»**

Цель работы: изучить диаграмму состояния сплавов «железо–цементит» и ее структурные составляющие.

Студент должен знать основные структурные составляющие и фазы железоуглеродистых сплавов; превращения, происходящие в сплавах при нагреве и охлаждении.

Студент должен уметь анализировать изменения, происходящие в железоуглеродистых сплавах, с помощью правила фаз и правила отрезков.

Общие сведения

Диаграммы состояния сплавов железа с углеродом дают представления о превращениях, происходящих в сталях и чугунах в зависимости от температуры и концентрации сплавов, а также скорости охлаждения.

Углерод может находиться в виде **цементита** (метастабильного равновесия) и **графита** (стабильного равновесия). В связи с этим, существуют два варианта диаграмм состояния сплавов железа с углеродом – «железо–цементит» (метастабильная) и «железо–графит» (стабильная). Большое практическое значение имеет метастабильная диаграмма, 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.

В железоуглеродистых сплавах при нагревании и охлаждении образуются следующие структурные составляющие: два твердых раствора, одно химическое соединение, две механические смеси.

Твердые растворы

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Максимальное содержание углерода $C = 0,02 \%$ при температуре равной $727 \text{ }^\circ\text{C}$. При комнатной температуре содержание углерода в феррите $0,006 \%$. Феррит – мягкая, пластичная структура со следующими механическими свойствами: $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$; $HВ = 800 \text{ МПа}$; $\delta = 40 \%$.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Максимальное содержание углерода $C = 2,14\%$ при температуре равной 1147°C . Аустенит существует до температуры $t = 727^\circ\text{C}$; при этой температуре содержание углерода в аустените $C = 0,8\%$. Ниже 727°C аустенит распадается. Аустенит тверже и прочнее феррита: $\sigma_b = 600\text{ МПа}$; $\text{НВ} = 1800\text{--}2000\text{ МПа}$.

Химические соединения

Цементит – химическое соединение Fe_3C (карбид железа). Цементит содержит углерода $C = 6,67\%$. Эта структура очень твердая и хрупкая: $\text{НВ} = 8000\text{ МПа}$; $\delta = 0\%$.

Механические соединения

Ледебурит – механическая смесь аустенита и цементита ($A+\text{Ц}$), которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией $C = 4,3\%$ при постоянной температуре $t = 1147^\circ\text{C}$. Ледебурит – эвтектическая смесь, твердая и хрупкая: $\text{НВ} = 5000\text{ МПа}$; $\delta = 1\text{--}2\%$.

Перлит – механическая смесь феррита и цементита ($\Phi+\text{Ц}$), которая кристаллизуется из аустенита при постоянной температуре $t = 727^\circ\text{C}$. Содержание углерода в перлите $C = 0,8\%$. Перлит – эвтектоидная смесь, средней прочности и пластичности: $\sigma_b = 650\text{ МПа}$; $\text{НВ} = 2000\text{ МПа}$; $\delta = 20\%$.

Диаграмма сплавов «железо–углерод» имеет пять фаз: жидкий сплав (Ж), цементит (Ц), феррит (Ф), аустенит (А) и графит (Гр).

Анализ диаграммы состояния сплавов «железо–цементит»

Каждая точка диаграммы состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ (рисунок 5.1) характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре и концентрации.

Точка A ($t = 1539^\circ\text{C}$) отвечает температуре плавления железа, а точка D ($t = 1250^\circ\text{C}$) – температуре плавления цементита.

Линия $ABCD$ – линия ликвидус. Линия начала кристаллизации жидкого сплава.

По линии AB жидкий сплав кристаллизуется в виде феррита (Ф).

По линии BC жидкий сплав кристаллизуется в виде аустенита (А).

По линии CD жидкий сплав кристаллизуется в виде цементита первичного (Ц_1).

Линия $AHJECF$ – линия солидус. Это линия конца кристаллизации жидкого сплава.

По линии AH жидкость затвердевает в виде феррита (Ф).

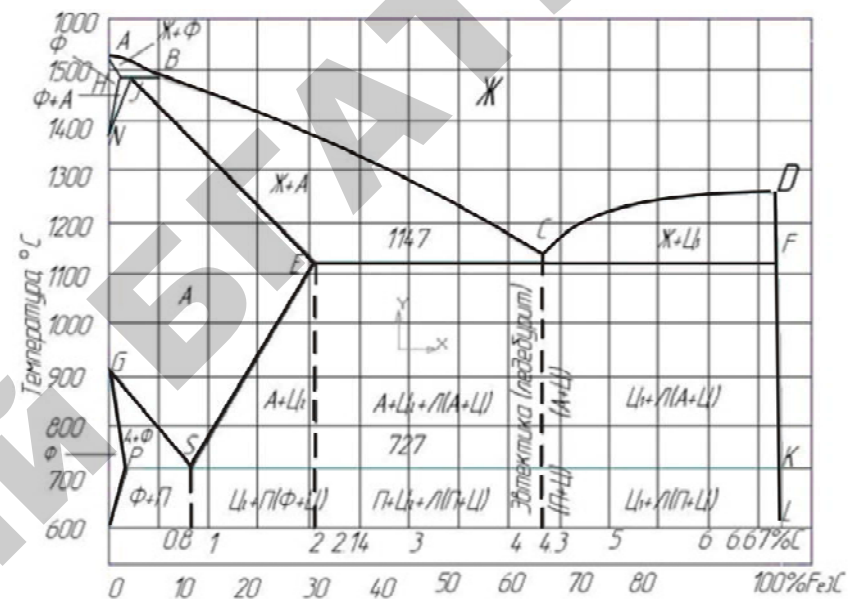


Рисунок 5.1. Диаграмма состояния сплавов системы «железо–цементит»

По линии JE жидкость затвердевает в виде аустенита (А).

По линии ECF жидкость затвердевает в виде механической смеси аустенита и цементита – ледебурита (Л).

Линия ECF – линия эвтектического или ледебуритного превращения.

Линия HJB – линия перитектического превращения. Жидкость взаимодействует с ферритом, образуя аустенит (А).

По линии ES из аустенита кристаллизуется цементит вторичный (Ц_2).

По линии GS из аустенита кристаллизуется феррит.

Линия PSK – линия эвтектоидного или перлитного превращения. Весь аустенит кристаллизуется в перлит (П).

По линии PQ из феррита кристаллизуется цементит третичный (Ц_3).

Таблица 1 – Точки диаграммы состояния «железо–цементит»

Обозначение	A	H	J	B	N	D	E	C	F	G	P	S	K
Концентрация углерода C, %	0	0.1	0.16	0.5	0	6.67	2.14	4.3	6.67	0	0.02	0.8	6.67
Температура, °C	1539	1440	1440	1440	1392	1250	1147	1147	1147	910	727	727	727

Построение кривых охлаждения с помощью правила фаз

Проанализируем превращения, происходящие в сплаве с 3 % углерода, остальное – железо, построив кривую охлаждения с помощью правила фаз, и определим его состав и количественное соотношение фаз с помощью правила отрезков при температуре 1300 °C.

При выполнении задания необходимо осуществить следующие действия.

Сплав наносится на диаграмму состояния сплавов «железо–цементит» (рисунок 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. $C = K + I - f$, где C – число степеней свободы, K – количество компонентов, f – количество фаз.

Анализируются изменения, происходящие в сплаве при охлаждении.

На участке «01» происходит охлаждение жидкого сплава. Компонентов «2» – железо и углерод, фаза одна – жидкий сплав. По правилу фаз

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

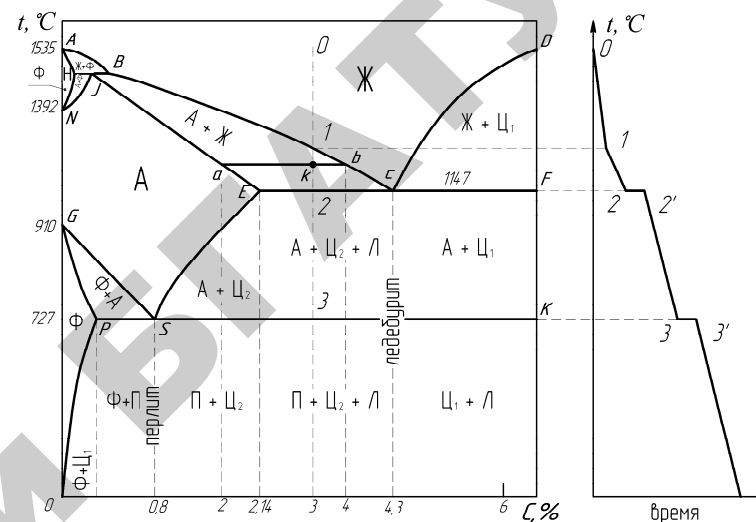


Рисунок 5.2. Диаграмма состояния сплавов «железо–цементит»

В точке тока «1» при пересечении сплава с линией «ликвидус» начинается процесс кристаллизации жидкого сплава с образованием аустенита. Процесс протекает от точки «1» до точки «2». Компонентов «2» – железо и углерод; фазы две – жидкий сплав и аустенит.

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

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.

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

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

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

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.

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

На участке 34 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 °С через данную точку проводим «каноду» – горизонталь до пересечения с линиями диаграммы, ограничивающими данные фазы. Точки «a» и «b». Проекция, опущенная из точки «a» и «b» на ось концентрации, показывают концентрацию каждой фазы. Концентрация жидкой фазы в точке «k» равна: 4 % С, остальное – Fe. Концентрация аустенита в точке «k» равна 2 % С, остальное – Fe.

Количество жидкого сплава в точке «k» равно:

$$Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{ak}{ab} \cdot 100 \% ; Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{3-2}{4-2} \cdot 100 \% = 50 \%$$

Количество аустенита в точке «k» равно:

$$Q_A = \frac{ak}{ab} \cdot 100 \% ; Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{3-2}{4-2} \cdot 100 \% = 50 \%$$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Привести диаграмму состояния сплавов Fe – Fe₃C.
3. Дать определения и указать механические свойства структурных составляющих.
4. Описать превращения, происходящие на линиях диаграммы Fe – Fe₃C.
5. Для сплавов (по заданию преподавателя) построить кривую охлаждения с применением правила фаз. Описать превращения в этих сплавах при охлаждении. Рассчитать концентрации и количественное соотношение фаз и структурных составляющих в указанных точках.
6. Выводы по работе.
7. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Назовите компоненты в железоуглеродистых сплавах.
2. Что такое феррит, какие его свойства?
3. Что такое аустенит, какие его свойства?
4. Что такое цементит, какие его свойства?
5. Что такое ледебурит, какие его свойства?
6. Что такое перлит, какие его свойства?
7. Назовите линию ликвидус, что на ней происходит?
8. Назовите линию солидус, что на ней происходит?
9. Назовите линию эвтектического превращения, что на ней происходит?
10. Назовите линию эвтектического превращения, что на ней происходит?
11. Как происходит образование цементита первичного, вторичного, третичного?
12. Для чего используется диаграмма состояния «железо–цементит»?
13. Что является фазами в диаграмме состояния сплавов «железо–цементит»?
14. Укажите предельную растворимость углерода в аустените и феррите.
15. Укажите на диаграмме области сталей и чугунов.
16. Сколько углерода содержится в феррите, аустените, цементите?
17. Постройте кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 2,14% углерода, используя диаграмму состояния сплавов «Fe – Fe₃C».
18. На диаграмме состояния сплавов «Fe – Fe₃C» для сплава с содержанием 2,5 % С при температуре 1200 °С определите состав и количественное соотношение жидкой и твердых фаз, используя правило отрезков.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Цель работы:

- 1) изучить влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей и чугунов;
- 2) изучить классификацию, маркировку и применение углеродистых конструкционных и инструментальных сталей;
- 3) изучить классификацию, маркировку и области применения белых и серых чугунов.

Студент должен знать классификацию, маркировку, структуры и свойства углеродистых сталей и чугунов.

Студент должен уметь выбрать марку стали или чугуна для конкретной детали.

Общие сведения

Стали

Сталь – это сплав железа с углеродом, содержание углерода в котором не превышает 2,14 %.

Сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим кроме углерода ряд постоянных или неизбежных примесей: *Mn, Si, S, P, O, N, H* и др., которые оказывают влияние на ее свойства.

Изменение соотношения в структуре стали пластичной (феррит) и твердой (цементит) фаз с увеличением содержания углерода (рисунок 6.1) является причиной повышения у стали прочностных (σ_s , σ_T , HB) и снижения пластических (δ , Ψ) свойств.

При содержании углерода больше 1,0...1,2 %, твердость стали в отожженном состоянии возрастает, а предел прочности уменьшается. Это объясняется выделением по границам бывшего зерна аустенита вторичного цементита. При испытании на растяжение образовавшийся вокруг зерен перлита каркас из цементита разрушается, приводя к снижению предела прочности.

Микроструктуры технического чистого железа и углеродистых сталей характеризуются левой нижней частью диаграммы состояния «железо–цементит». Сплавы с содержанием до 0,02 % углерода назы-

ваются технически чистым железом; от 0,02 до 0,8 % C – *доэвтектоидными* сталями; с содержанием 0,8 % C – *эвтектоидной* сталью; с содержанием более 0,8 % C – *заэвтектоидными* сталями.

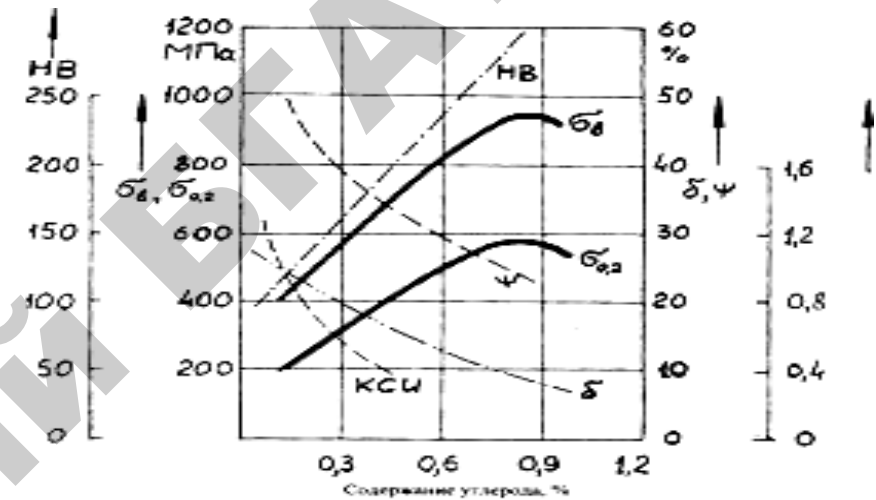


Рисунок 6.1. Влияние углерода на механические свойства стали.

Микроструктура доэвтектоидной стали состоит из феррита и перлита (рисунок 6.2).

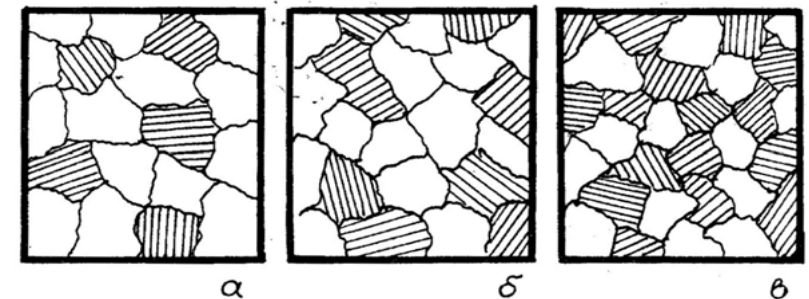


Рисунок 6.2. Схемы микроструктур стали с разным содержанием углерода: а) – 0,25 % C; б) – 0,40 % C; в) – 0,60 % C

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит – в виде полей полосчатого строения. Микроструктура эвтектоидной стали состоит только из перлита

(рисунок 6.3). **Перлит** – это структурная составляющая, состоящая из двух фаз: феррита и цементита.

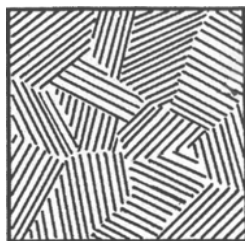


Рисунок 6.3. Схема микроструктуры эвтектоидной стали с 0,8 % углерода

Заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита (рисунок 6.4). В результате медленного охлаждения заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита: белая сетка – вторичный цементит, а внутри сетки зерна пластинчатого строения – перлит. Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более широкой получается цементитная сетка.

Механические свойства стали зависят от формы и размера цементитных включений. Можно добиться образования округлых зерен цементита отжигом на «зернистый перлит». Такая структура (смесь зерен цементита в ферритной основе (рисунок 6.5) может быть получена для эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.

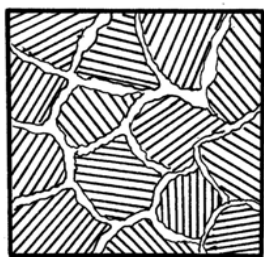


Рисунок 6.4. Схема микроструктуры заэвтектоидной стали

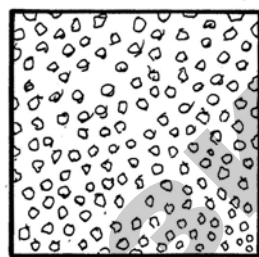


Рисунок 6.5. Схема микроструктуры заэвтектоидной стали после отжига на зернистый перлит

Сталь со структурой зернистого перлита имеет более высокую прочность, чем сталь такого же химического состава, но имеющая в структуре перлит с сеткой цементита.

Классификация сталей

Классификация сталей производится по способу производства, по химическому составу, по назначению и по качеству (рисунок 6.6).

По способу производства сталь делят на конверторную, мартеновскую 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 углеродистой и легированной стали.

В зависимости от **способа раскисления** жидкой стали в правильном агрегате ее различают как спокойную (**сп**), т.е. полностью раскисленную марганцем, кремнием и алюминием; полуспокойную (**пс**), раскисленную марганцем и кремнием; кипящую (**кп**), раскисленную только марганцем.

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 0,25 % С), среднеуглеродистые (0,25...0,60 % С) и высокоуглеродистые (свыше 0,60 % 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 стали 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 %) и **высоколегированные** (более 10 %).



Рисунок 6.6. Общая классификация сталей

По назначению стали классифицируют на **конструкционные, инструментальные и специального назначения** (с особыми свойствами).

Конструкционные стали (0,05–0,70 % С) применяют в машиностроении и строительстве для изготовления деталей машин, элементов конструкций и сооружений. Важнейшими характеристиками сталей, по которым осуществляется их выбор, являются механические свойства.

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.

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, газонасыщенностью и некоторыми другими факторами.

Основным показателем, лежащим в основе классификации сталей по качеству, является содержание вредных примесей – серы и

фосфора. Чем меньше указанных примесей, тем выше качество.

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

Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380–94)

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 ответственных сварных, клепаных и болтовых конструкций, реже – малонагруженных деталей машин (валы, оси, шестерни).

Углеродистые стали обыкновенного качества являются наиболее дешевыми, выплаваются по нормам массовой технологии. В них допускается повышенное содержание вредных примесей ($S \leq 0,05 \%$, $P \leq 0,04 \%$), а также газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями.

Стали маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрами от 0 до 6, указывающими номер марки. С увеличением цифры возрастает содержание углерода в стали. Углеродистые стали обыкновенного качества получают следующих марок (таблица 1).

Таблица 1 – Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380–94)

Марка стали	Ст0	Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6
Содержание углерода, %	0,23	0,06–0,12	0,09–0,15	0,14–0,22	0,18–0,27	0,28–0,37	0,28–0,49
Содержание марганца, %	–	0,25–0,50	0,25–0,50	0,30–0,65	0,4–0,7	0,5–0,8	0,5–0,8

Стали обыкновенного качества в зависимости от степени раскисления могут быть кипящие (кп), полуспокойные (пс), спокойные (сп). Цифры в их маркировке не указывают на содержание углерода.

Области применения некоторых марок стали углеродистой обыкновенного качества указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Применение углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Применение
Ст0	Неответственные (нерасчитываемые) элементы конструкций: ограждения, настилы, перила и т. д.
Ст2кп	Неответственные детали, требующие повышенной пластичности; стали, работающие при положительных температурах
Ст1, Ст2, Ст3. (для всех степеней раскисления)	Заклепки, котельные связи, гвозди
Ст3пс, Ст3сп	Несущие элементы конструкций и деталей, работающих при положительных температурах
Ст3нс, Ст3кп	Фасонные профили для вагонов
Ст3кп, Ст3пс	Фасонные профили для обода колес автомобилей и для сельскохозяйственного машиностроения
Ст3сп, Ст3пс, Ст4сп	Фасонные профили для тракторостроения (швеллеры для рамы и уголок для корпуса трактора)
Ст5пс, Ст5сп	Детали клепаных конструкций, крепежные детали, ручки, тяги, рычаги, пальцы, штыри и др., детали, работающие в интервале температур от 0 до 425 °С Арматура периодического профиля (10–40 мм)
Ст6пс, Ст6сп	Бабы молотов, валы, оси, шпиндели

Конструкционные углеродистые стали качественные (ГОСТ 1050–88)

Углеродистые качественные конструкционные стали маркируются по содержанию углерода в сотых долях: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75. Они могут быть с обычным и с повышенным содержанием марганца (обозначаются буквой Г в конце марки), с содержанием серы не более 0,04 %, фосфора – не более 0,035 %.

Стали 08, 10кп, 15кп – пластичные без термической обработки, применяются для листовой холодной штамповки, вытяжки. Из них производятся кузовные детали грузовых, 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 (долота, лемеха, лапы культиваторов, диски посевных и почвообрабатывающих машин). Наилучшие механические свойства у сталей 65Г, 70Г, 75Г.

Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435–90)

Инструментальные углеродистые стали выпускаются качественными (содержание серы не более 0,028 %, фосфора < 0,030 %) или высококачественными (содержание серы не более 0,018 %, фосфора < 0,025 %). В марке буква **У** обозначает – сталь углеродистая, буква **А** – высококачественная, цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

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

Высококачественные углеродистые стали – У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А

Примерное назначение: У7, У8, У9, У7А, У8А, У9А – для изготовления инструментов по дереву, зубила, долота;

У10, У11, У10А, У11А – мелкие сверла, фрезы, метчики, развертки;

У12, У13, У12А, У13А – для инструментов с максимальной износостойкостью, напильники, граверный инструмент.

Легированные стали

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

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

Буквы указывают на легирующий элемент, цифра после букв – количество легирующего элемента в целых долях (отсутствие цифры указывает, что оно составляет 1,0 – 1,5 %). Две цифры в начале маркировки стали указывают содержание углерода в сотых долях,

одна цифра – содержание углерода в десятых долях, буква А в конце маркировки – сталь высококачественная.

Легирующие элементы: Х – хром; Г – марганец; М – молибден; В – вольфрам; Н – никель; Т – титан; Ф – ванадий; Ю – алюминий; Б – ниобий; А (в середине марки) – азот.

Некоторые стали обозначаются условными буквами: А (в начале марки) – автоматная; Р – быстрорежущая; Ш – шарикоподшипниковая; Э – электротехническая.

Чугуны

Классификация чугунов

Чугун – это сплав железа с углеродом, с содержанием углерода свыше 2,14 % С и наличием постоянных примесей.

По назначению чугуны разделяют на *передельные* (85–90 % от всего объема производства), *литейные* (9–12 %), *специальные* (рисунк 6.7).

В зависимости от того, в каком виде углерод находится в чугунах, его разделяют на: *белый* – углерод находится в связанном состоянии (в виде цементита Fe_3C); *серый* – углерод находится в свободном состоянии (в виде графита); *половинчатый* (отбеленный) – углерод может быть в виде графита и цементита.

По форме включений графита чугуны подразделяют на *серый* с пластинчатым графитом (СЧ), *ковкий* с хлопьевидным графитом (КЧ), *высокопрочный* с шаровидным графитом (ВЧ).

Влияние примесей на структуру и свойства чугунов

На структурообразование 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.

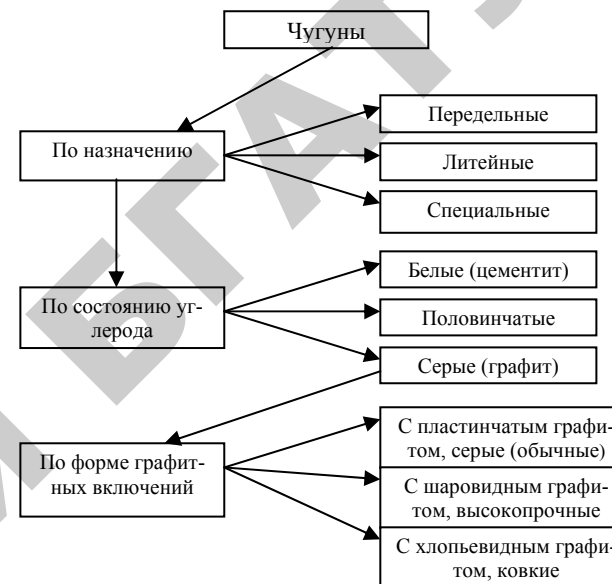


Рисунок 6.7. Классификация чугунов

Марганец увеличивает растворимость углерода в чугуне. При содержании более 0,5 % он повышает склонность чугуна к отбеливанию. Увеличение содержания марганца 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 тройной 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: способствует снижению ударной вязкости, повышает склонность к образованию холодных трещин.

Белые чугуны

Белые чугуны – это чугуны, в которых углерод находится в связанном состоянии, в виде цементита. Они очень твердые и хрупкие, плохо обрабатываются режущим инструментом. Поэтому отливки из белого чугуна применяются редко.

По структуре белые чугуны подразделяются (рисунок 6.8) на: доэвтектические (перлит + цементит + ледебурит), эвтектические (ледебурит), заэвтектические (цементит + ледебурит).

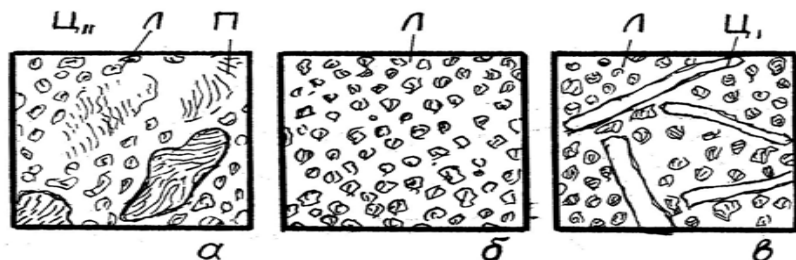


Рисунок 6.8. Схемы микроструктур белого чугуна:
а – доэвтектического, б – эвтектического, в – заэвтектического

Серые чугуны (ГОСТ 1412–85)

Серые чугуны – это чугуны, в которых углерод находится в свободном состоянии, в виде графита. В серых чугунах графитовые включения находятся в металлической основе (матрице). Структура матрицы может быть феррит, феррит + перлит, перлит в зависимости от содержания углерода и условий кристаллизации отливок (рисунок 6.9).

Серый обычный чугун имеет графитные включения пластинчатой формы.

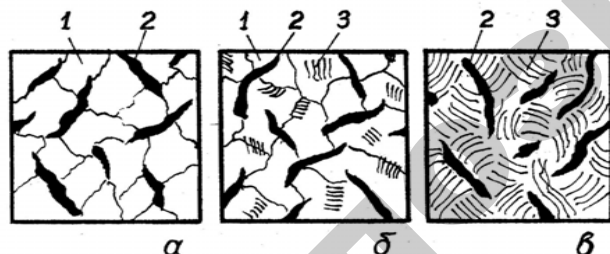


Рисунок 6.9. Схемы микроструктур серого чугуна:
а) – ферритный; б) – перлитно-ферритный; в) – перлитный;
1 – феррит; 2 – пластинчатый графит; 3 – перлит

Серый обычный чугун (благодаря меньшей в сравнении со сталью температурой плавления и наличием в структуре графита) обладает лучшими литейными свойствами. Он имеет хорошую жидкотекучесть и малую усадку. Наличие графита делает его хрупким, т.к. графитные включения нарушают сплошность металлической основы. Их можно рассматривать как готовые трещины в прочной металлической основе чугуна. Низкая пластичность серого чугуна практически не зависит от характера металлической основы. Чугун с перлитной основой более прочен и износоустойчив. Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом составляют до 80 % общего объема чугунолитейного производства. Серый обычный чугун – один из наиболее распространенных литейных сплавов. Он маркируется буквами СЧ и цифрами, указывающими на предел прочности при растяжении, в кгс/мм² или х 10 МПа.

Механические свойства серых чугунов зависят от химического состава. Из таблицы 3 видно, что для получения чугуна с высокой прочностью необходимо уменьшить суммарное содержание углерода и кремния при некотором увеличении содержания марганца. Такое изменение несколько ухудшает литейные свойства.

Таблица 3 – Механические свойства и химический состав серого чугуна по ГОСТ 1412–85

Марка чугуна	Механические свойства		Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа·(кгс/м)	НВ	Углерод	Кремний	Марганец
Ферритный чугун					
СЧ10	100(10)	120...200	3,6	2,4	0,6
СЧ15	150(15)	130...234	3,6	2,4	0,6
Феррито-перлитный чугун					
СЧ18	180(18)	130...230	3,5	2,0	0,6
Перлитный чугун					
СЧ20	200(20)	143...240	3,4	1,8	0,5
СЧ25	250(25)	155...255	3,3	1,8	0,8
СЧ30	300(30)	163...270	3,1	1,6	0,8
СЧ35	350(35)	179...290	2,95	1,4	0,9

Прочностные свойства серого чугуна при испытании на сжатие значительно лучше, чем при испытании на растяжение и изгиб. Это объясняется концентрацией напряжений возле пластинок графита.

Серый чугун с пластинчатым графитом имеет очень низкую пластичность. Механические свойства чугуна определяются соотношением структурных составляющих – главным образом феррита, перлита и графита. Особенно значительную роль играют количество, форма, размеры и характер распределения включений графита. Включения графита снижают прочность чугуна за счет уменьшения эффективной площади поперечного сечения. Кроме того, они играют роль внутренних концентраторов напряжений. Наряду с этим наличие графита в структуре чугуна обеспечивает такие его качества, как высокую циклическую вязкость и низкую чувствительность к внешним надрезам. Серый обычный чугун является основным конструкционным материалом для изготовления базовых отливок (таблица 4), работающих в условиях знакопеременных нагрузок и вибраций.

Таблица 4 – Применение отливок из серого чугуна.

Марка	Назначение
СЧ10, СЧ15	Малоответственные части сельскохозяйственных, текстильных, швейных машин, станочное литье, радиаторы
СЧ18, СЧ20	Ответственные части тракторов, автомобилей, станков, крупные шкивы и маховики
СЧ25, СЧ30	Ответственные отливки для дизелестроения, блоки автомобильных цилиндров. Поршневые кольца
СЧ30, СЧ35	Высокоответственные отливки: дизельные цилиндры, коленчатые и кулачковые валы, штампы и другие тяжелонагруженные отливки

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293–85)

Высокопрочным называется чугун с шаровидной формой графита. Его получают введением в жидкий серый обычный чугун модификаторов (*Mg, Ce, Li* и др.). Матрица высокопрочного чугуна может быть ферритной, ферритно-перлитной и перлитной (рисунок 6.10).

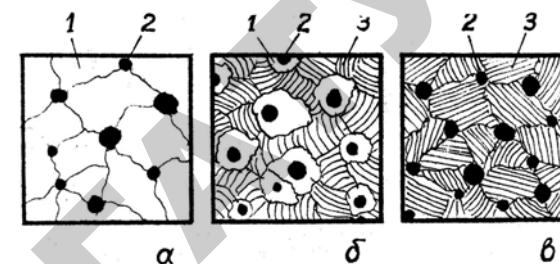


Рисунок 6.10. Схема зарисовки микроструктуры высокопрочного чугуна: а) – ферритный; б) – перлитно-ферритный; в) – перлитный; 1 – феррит; 2 – шаровидный графит; 3 – перлит.

Высокопрочные чугуны маркируются буквами ВЧ и цифрами, указывающими предел прочности при растяжении, в кгс/мм² или х 10 МПа.

Существуют следующие основные марки высокопрочных чугунов (см. таблицу 5). Ферритные чугуны ВЧ35 и ВЧ40 характеризуются умеренной прочностью и высокой пластичностью. Перлитно-ферритные чугуны ВЧ45 и ВЧ50 имеют более высокую прочность, но существенно меньшую пластичность. Требуемые свойства чугунов этих двух классов получают непосредственно в литом состоянии без термической обработки. Перлитные чугуны ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80 и ВЧ100 при значительно более высокой прочности, чем у перлитно-ферритных чугунов, имеют практически равную пластичность.

Таблица 5 – Механические свойства и химический состав высокопрочного чугуна по ГОСТ 7293–85

Марка чугуна	Механические свойства				Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	σ_T , МПа (кгс/мм ²)	δ , %	НВ	Углерод	Кремний	Марганец
Ферритный чугун							
ВЧ35	350(35)	220(22)	22	140...170	2,7...3,8	0,8...2,9	0,2...0,6
ВЧ40	400(40)	250(25)	15	140...202	2,7...3,8	0,5...2,9	0,2...0,6
Перлитно-ферритный чугун							
ВЧ45	450(45)	340(34)	10	140...225	2,7...3,8	0,5...2,9	0,3...0,7
ВЧ50	500(50)	320(32)	7	153...245	2,7...3,7	0,8...2,9	0,3...0,7
Перлитный чугун							
ВЧ60	600(60)	370(37)	3	192...277	3,0...3,6	2,4...2,8	0,4...0,7
ВЧ70	700(70)	420(42)	2	228...302	3,0...3,6	2,6...2,9	0,4...0,7
ВЧ80	800(80)	480(48)	2	248...351	3,2...3,6	2,6...2,9	0,4...0,7

ВЧ100	1000(100)	700(70)	2	270...360	3,2...3,6	3,0...3,8	0,4...0,7
-------	-----------	---------	---	-----------	-----------	-----------	-----------

Высокопрочный чугун находит применение в различных областях промышленности и сельского хозяйства (таблица 6).

Таблица 6 – Области применения высокопрочного чугуна

Марка чугуна	Наименование детали
ВЧ40	Корпус барабана механизма подъема крана, букса колеса приводного крана, букса колеса электрического крана
	Поршень, крестовина, корпус гидротурбины, статор, сепаратор, корпус клапана паровой турбины
ВЧ50	Коленчатый вал судового двигателя. Коленчатый вал двигателя электростанции. Коленчатый вал двигателя СДР 30/50
ВЧ60	Коленчатый вал автомобиля «Ваз». Коленчатый вал автомобиля «Волга»
ВЧ70	Коленчатый вал трактора и комбайна. Цилиндрические, конические шестерни, зубчатый венец канатного барабана, шестерни угольной дробилки

Ковкий чугун (ГОСТ 1215–79)

Ковким называется чугун с хлопьевидным или компактным графитом, получаемый путем отжига белого чугуна определенного химического состава. Матрица может быть перлитная, ферритная, перлитно-ферритная. Маркировка ковкого чугуна производится буквами КЧ и двумя числами, из которых первое обозначает предел прочности при растяжении (в кгс/мм² или x10 МПа), а второе – относительное удлинение (в %). Существуют следующие марки ковких чугунов (таблица 7). Рекомендуемый химический состав ковкого чугуна отличается пониженным содержанием графитизирующих элементов углерода (2,4...2,9 %) и кремния (1,0...1,6 %). Это объясняется необходимостью получения в литом состоянии полностью отбеленного чугуна по всему сечению отливки.

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 обстоятельство послужило причиной для получения названия «ковкий», хотя никаким процессамковки этот чугун не подвергается.

Таблица 7 – Механические свойства и химический состав ковкого чугуна

Марка чугуна	Механические свойства			Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	δ , %	НВ	Углерод	Кремний	Марганец
Ферритные чугуны						
КЧ30 - 6	300(30)	6	100...163	2,7	1,3	0,5
КЧ33 - 8	330(33)	8	100...163	2,7	1,3	0,5
КЧ36 - 10	360(36)	10	100...163	2,6	1,2	0,4
КЧ37 - 12	370(37)	12	100...163	2,5	1,2	0,3
Феррито-перлитные чугуны						
КЧ45 - 6	450(45)	7	150...207	2,6	1,2	0,6
КЧ50 - 5	500(50)	5	170...230	2,6	1,2	0,6
КЧ55 - 4	550(55)	4	192...241	2,6	1,2	0,6
Перлитные чугуны						
КЧ60 - 3	600(60)	3	200...269	2,6	1,2	0,6
КЧ65 - 3	650(65)	3	212...269	2,5	1,3	0,6
КЧ70 - 2	670(70)	2	241...285	2,5	1,3	0,6
КЧ80 - 1,5	800(80)	1,5	270...320	2,5	1,3	0,6

Графитизирующий отжиг является обязательной операцией технологического процесса получения отливок из КЧ (рисунок 6.11). Основная цель отжига обеспечить графитизацию всего цементита и получение чисто ферритной матрицы, либо частичная графитизация первичного цементита.

Основные преимущества ковкого чугуна заключаются в однородности его свойств по сечению отливки, отсутствию напряжений в отливках и сочетании высоких механических свойств с хорошей обрабатываемостью резанием.

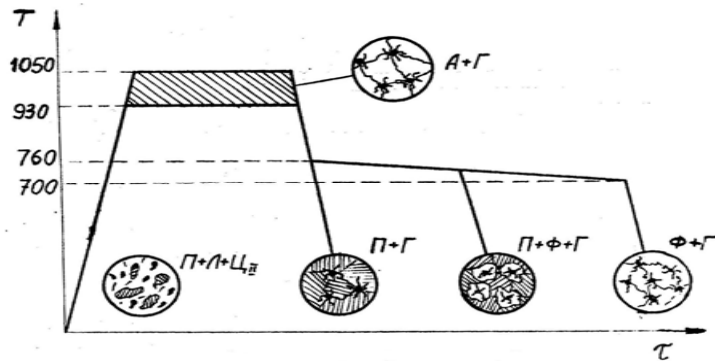


Рисунок 6.11. Режим отжига белого чугуна на ковкий.

Ковкий чугун используется во многих отраслях машиностроения преимущественно для отливок толщиной стенки 5...50 мм, что вызвано необходимостью получения полного отбела по всему сечению отливки. Из него изготавливают мелкие передние фасонные отливки, работающие в условиях динамических знакопеременных нагрузок: детали приводных механизмов, коробок передач, детали шасси в автотракторном машиностроении, коллекторы, рычаги и т.д.

Порядок выполнения работы

1. Получить наборы шлифов углеродистых сталей и чугунов.
2. Рассмотреть на микроскопе МИМ-7 при увеличении $\times 240$ шлифы образцов доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной сталей; белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов.
3. Зарисовать схематично просмотренные микроструктуры сталей и чугунов, используя приведенные схемы структур.
4. Изучить классификацию, маркировку, свойства и применение углеродистых сталей и чугунов.
5. Сделать выводы по работе.

Приборы и оборудование

1. Микроскоп МИМ-7.
2. Набор шлифов углеродистых сталей.
3. Набор шлифов чугунов.
4. Фотографии и плакаты микроструктур углеродистых сталей и чугунов.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Краткие сведения об углеродистых сталях и чугунах, классификация и маркировки углеродистых сталей и чугунов
3. Схемы микроструктур углеродистых сталей и чугунов.
4. Выводы по работе.
5. Список использованной литературы

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Какие имеются постоянные примеси в сталях?
3. Как влияют постоянные примеси на свойства сталей?
4. Как классифицируются стали по способу производства?
5. Как классифицируются стали по химическому составу?
6. Как классифицируются стали по назначению?
7. Как классифицируются стали по качеству?
8. Как подразделяются углеродистые стали по структуре?
9. На какие группы подразделяются углеродистые стали обыкновенного качества?
10. Как маркируются углеродистые стали обыкновенного качества?
11. Как маркируются конструкционные качественные стали?
12. Где применяются конструкционные качественные стали?
13. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
14. Что такое легированная сталь?
15. Что такое чугун?
16. Какие чугуны являются белыми?
17. Какие существуют структуры белых чугунов?
18. Какие чугуны являются серыми?
19. Как подразделяются серые чугуны в зависимости от формы графита?
20. Какие существуют структуры серых чугунов?
21. Как маркируются серые чугуны?
22. Какие чугуны считаются высокопрочными?
23. Какие чугуны считаются ковкими?

ЗАКАЛКА И ОТПУСК СТАЛЕЙ

Цель работы:

- 1) изучить теоретические основы закалки и отпуска стали;
- 2) практически освоить технологии закалки и отпуска закаленной стали;
- 3) установить изменения структуры и свойств углеродистой стали в результате закалки;
- 4) изучить изменение структуры и свойств закаленной стали при отпуске.

Студент должен знать основные методы закалки и отпуск сталей, взаимосвязи структуры и свойств сталей при закалке и отпуске.

Студент должен уметь назначить режимы термической обработки углеродистых сталей.

Общие сведения

В сельскохозяйственном машиностроении для изготовления деталей, инструментов, приспособлений широко используются углеродистые стали. Для получения необходимых механических свойств, предъявляемых к изделиям, стали подвергают термической обработке.

Термическая обработка – это совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения стальных изделий. Цель термической обработки стали – изменение ее структуры, приводящее к изменению свойств (твердости, прочности, пластичности, износостойкости, обрабатываемости резанием и т.д.).

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

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

Основная цель отжига – приблизить металл к равновесному состоянию, снять напряжения, вызванные предыдущей обработкой, снизить твердость, повысить пластичность, улучшить обрабатываемость резанием.

Отжики бывают: I рода – без фазовой перекристаллизации; II

рода – с фазовой перекристаллизацией.

К отжигу I рода относятся: диффузионный отжиг; рекристаллизационный отжиг; низкий отжиг.

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

Нормализация стали – термическая обработка, при которой доэвтектоидные стали нагревают выше критической точки A_{C3} , эвтектоидные и заэвтектоидные стали – выше критической точки A_{Cm} на $30...50\text{ }^\circ\text{C}$, с непродолжительной выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. Цель нормализации – перекристаллизация зерна стали, снятие внутренних напряжений, подготовка стали к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработкам.

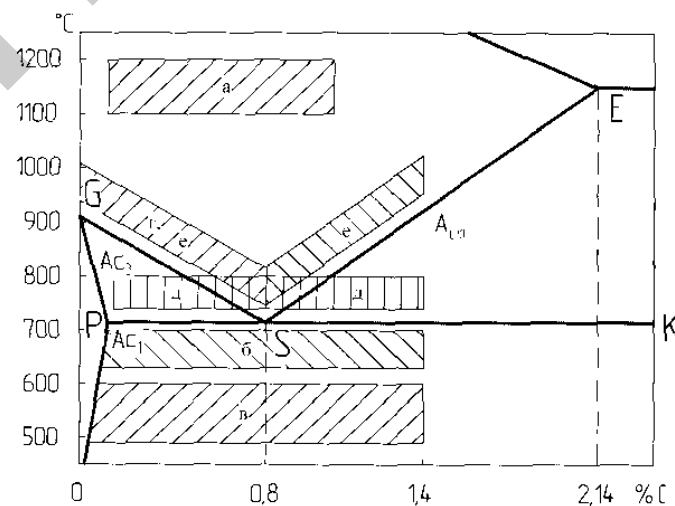


Рисунок 7.1. Температурные зоны нагрева для различных видов отжига:

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| a – диффузионный отжиг; | } отжики I рода |
| b – рекристаллизационный отжиг; | |
| в – низкий отжиг; | |
| z – полный отжиг; | } отжики II рода |
| d – неполный отжиг; | |
| e – нормализация | |

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 °С, выдержке при данной температуре и последующим охлаждении (со скоростью выше критической).

Цель закалки – повысить твердость стали за счет получения неравновесной структуры – мартенсита.

В зависимости от температуры нагрева при закалке различают **полную и неполную закалку** стали. Если температура нагрева выше A_{c3} , закалка считается полной, если температура нагрева выше A_{c1} , закалка считается неполной (рисунок 7.2).

Для доэвтектоидных сталей применяют полную закалку, в результате которой образуется структура мартенсита и небольшое количество аустенита остаточного.

Для заэвтектоидных сталей применяют неполную закалку. Структура после такой закалки представляет собой мартенсит плюс цементит и небольшое количество аустенита остаточного. Наличие цементита в закаленной стали повышает ее твердость и износостойкость.

Критическая скорость закалки – минимальная скорость охлаждения, при которой происходит превращение аустенита в мартенсит (касательная к началу распада аустенита на диаграмме изотермического превращения) (рисунок 7.3).

Неполная закалка не применяется для доэвтектоидных сталей, так как при этом образуется структура, состоящая из мартенсита и феррита и имеющая невысокую прочность и твердость. Для заэвтектоидных сталей не применяется полная закалка, поскольку в результате сохраняется большое количество аустенита остаточного, возможен перегрев стали, уменьшается твердость, а цементит отсутствует.

После закалки детали получают большие остаточные напряжения, которые могут привести к короблению или образованию трещин. Для предотвращения этих явлений сразу же после закалки детали необходимо подвергать отпуску.

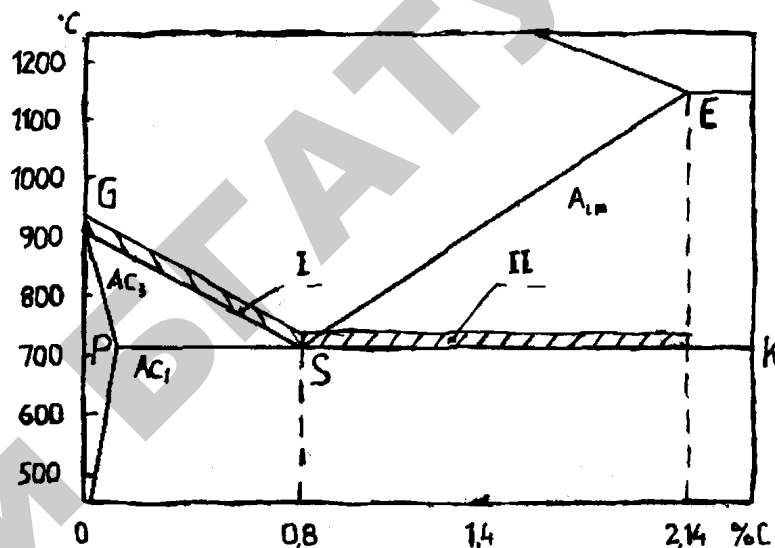


Рисунок 7.2. Температурные зоны нагрева стали под закалку:

I – полная закалка; II – неполная закалка

Отпуск стали – термическая обработка, которая заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_{c1} , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью. Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. Отпуск полностью или частично устраняет **внутренние** напряжения, возникающие при закалке.

Структура стали после закалки представляет собой **мартенсит** и **остаточный аустенит** (неравновесные структуры). При отпуске происходит переход стали в более устойчивое состояние, что сопровождается тремя превращениями.

Основные способы закалки

На способ закалки основное влияние оказывает метод охлаждения. Охлаждающая среда должна обеспечивать скорость охлаждения выше критической в интервале температур $A_1 - M_H$ и более плавное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения $M_H - M_K$ (рисунок 7.3).

1. Непрерывная закалка (в одном охладителе) (рисунок 7.3, кривая 1). Деталь нагревают до температуры закалки, затем быстро

погружают в закалочную жидкость со скоростью охлаждения выше критической и выдерживают до полного охлаждения. Этот метод применяют для закалки деталей несложного профиля и крупного сечения. Недостаток этого метода состоит в том, что в результате неравномерного охлаждения детали по сечению, возникают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению детали или возникновению трещин.

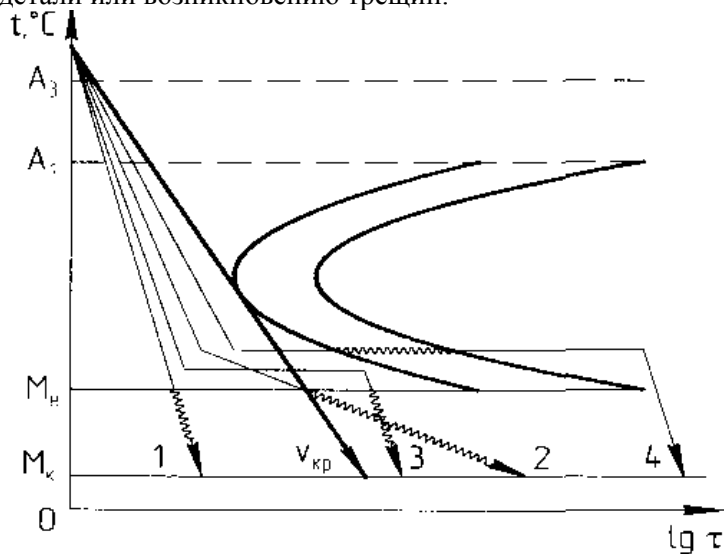


Рисунок 7.3. Основные способы закалки стали: 1 – непрерывная (в одном охладителе); 2 – прерывистая (в двух охладителях); 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая

2. Прерывистая закалка (в двух средах) (рисунок 7.3, кривая 2). Деталь нагревают до температуры закалки, после чего охлаждают со скоростью выше критической до температуры, немного выше точки M_n , а затем быстро переносят в менее интенсивный охладитель, например, из воды в масло. В результате переноса во вторую закалочную среду, мартенситное превращение протекает более медленно, вследствие чего уменьшаются внутренние напряжения. Данная закалка применяется для закалки инструмента несложного профиля, изготовленного из заэвтектидных углеродистых сталей.

3. Ступенчатая закалка (рисунок 7.3, кривая 3). Деталь, нагретую до температуры закалки, охлаждают со скоростью выше критической в среде, имеющей температуру на $30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ выше мартенситной точки M_n (расплавленные соли, щелочи), выдерживают изотермически для выравнивания температуры по всему сечению изделия, чтобы не произошел распад аустенита на феррито-цементитную смесь, а затем охлаждают в масле или на воздухе. Данный метод обеспечивает закалку с минимальными внутренними напряжениями и применяется для деталей сложной конфигурации (сверла, метчики, зенкеры, фрезы, развертки и т.д.). Недостаток этого метода состоит в том, что его невозможно использовать для закалки деталей крупного сечения.

4. Изотермическая закалка (рисунок 7.3, кривая 4) проводится так же, как и ступенчатая, но изотермическую выдержку выше точки M_n дают такую, чтобы произошел распад аустенита с образованием бейнита или другой структуры, соответствующей температуре выдержки. Внутренние напряжения и деформация при такой закалке минимальные. Изделие после закалки имеет меньшую твердость, но повышенные прочность, пластичность, ударную вязкость.

5. Закалка с самоотпуском. Деталь нагревают до температуры закалки, 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 (зубила, керны, лемеха, кузнечный инструмент и т.д.).

Из приведенного выше видно, что необходимые структуры при закалке можно получить в зависимости от различной скорости охлаждения (таблица 1).

Для определения общей продолжительности нагрева при закалке $\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{сквозного нагрева}} + \tau_{\text{изотермической выдержки}}$ пользуются опытными данными (таблица 2).

Таблица 1 – Скорость охлаждения стали в различных средах

Закалочная среда	Скорость охлаждения, °С/мин, при различных температурах, °С	
	650...550	300...200
Вода при температуре, °С		
18	600	270
28	500	270
50	100	270
10 %-й раствор NaOH в воде при 18 °С	1200	300
10 %-й раствор NaCl в воде при 18 °С	1100	300
Минеральное масло	100...150	20...50
Спокойный воздух	30	1

Таблица 2 – Ориентировочная продолжительность нагрева изделий в различных печах для закалки от 800...850 °С

	Продолжительность нагрева, секунды, на 1 мм сечения или толщины изделия		
	Круглое	Квадратное	Прямоугольное
В электропечи	40...50	50...60	60...75
В пламенной печи	35...40	45...50	55...60
В соляной ванне	12...15	15...18	18...22
В свинцовой ванне	6...8	8...10	10...12

Дефекты, возникающие при термической обработке стали.

1. Низкая твердость в результате недогрева (дозвтектоидные стали были нагреты до температуры ниже A_{c3} , а эвтектоидные и заэвтектоидные – ниже A_{c1}), или если охлаждение при закалке проводилось со скоростью ниже критической. Этот дефект может быть устранен повторной закалкой с правильным режимом.

2. Перегрев (повышенная хрупкость). Этот дефект возникает, если превысили температуру закалки на 100...200 °С. В результате закалки образуется крупноиглочатый мартенсит. Этот дефект устраняется полным отжигом и последующей закалкой с правильным режимом.

3. Мягкие пятна на поверхности детали (участки с пониженной твердостью). Образуются при возникновении паровой рубашки, уменьшающей скорость охлаждения. Для устранения этого дефекта деталь необходимо перемещать в охлаждающей среде.

4. Окисление и обезуглероживание поверхности детали. Этот дефект возникает, если нагрев под закалку ведется в печи с окисли-

тельной атмосферой и устраняется при нагреве деталей в нейтральных атмосферах (азоте, аргоне и т.д.).

5. Внутренние и наружные трещины, деформации и коробление.

Склонность к образованию трещин возрастает с увеличением в стали содержания углерода, с повышением температуры закалки и увеличением скорости охлаждения в температурном интервале мартенситного превращения. Трещины образуются в изделии в местах концентраторов напряжений (резкое изменение сечения изделия или местные вырезы, углубления, выступы и т.д.). Трещины – неисправимый дефект. Они могут быть устранены при медленном охлаждении деталей в области температур мартенситного превращения, изменением метода закалки и конструкции детали.

Превращения при отпуске

Первое превращение при отпуске происходит при температуре 80–200 °С. При этом происходит перераспределение углерода, который выделяется из мартенсита и образует зародыши низкотемпературного гексагонального ϵ -карбида $Fe_{24}C$. Тетрагональность мартенсита при этом уменьшается, соответственно, уменьшается его объем.

При низкотемпературном отпуске легированных сталей не происходит диффузионного перераспределения легирующих элементов. Выделяющиеся частицы карбидов имеют такое же содержание легирующих элементов, как и в мартенситах. Образуется механическая смесь малоуглеродистого мартенсита и карбидов, которая называется **отпущенный мартенсит** или **мартенсит отпуска**. Твердость стали сохраняется максимальной, такой, которая получилась при закалке.

Второе превращение при отпуске происходит при температуре 200...300 °С. Протекает одновременно несколько процессов:

- 1) продолжается распад мартенсита;
- 2) начинается распад остаточного аустенита.

Твердость закаленной стали заметно не изменяется, но повышается хрупкость. Поэтому отпуск в зоне температур 200–300 °С не производится.

Третье превращение при отпуске происходит при температуре 350...450 °С. Завершается процесс выделения углерода из α -раствора (мартенсита), осуществляется обособление решеток феррита и карбида, связанное с одновременным протеканием карбидного превращения, в результате которого образуется цементит

($Fe_{2,4}C \rightarrow Fe_3C$). Изменяются размеры и форма карбидных частиц. Она приближается к сфероидальной. Образуется феррито-цементитная очень мелкая смесь, которая называется **троостит отпуска**. Твердость стали снижается \sim на 1/3 от максимума.

Четвертое превращение при отпуске происходит при повышении температуры до 500...650 °С, которое приводит к изменениям микроструктуры; протекает процесс коагуляции и сфероидизации карбидов. Коагуляция карбидов происходит вследствие переноса атомов углерода через α -твердый раствор, растворения более мелких и рост более крупных частиц карбидов при обеднении углеродом α -твердого раствора. Образуется более крупная феррито-цементитная смесь, которая называется **сорбитом отпуска**. Твердость стали снижается \sim на 2/3 от максимума.

Все превращения и образование структур при отпуске происходят при определенной температуре нагрева в процессе выдержки и не зависят от скорости охлаждения. Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали 45 представлены на рисунке 7.4.

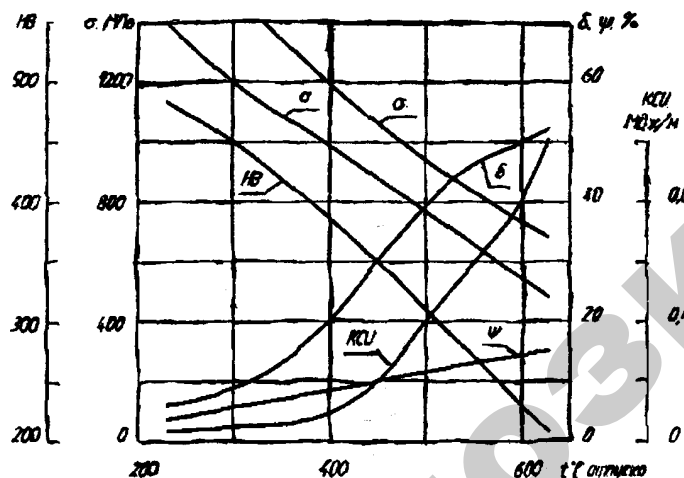


Рисунок 7.4. Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали с содержанием 0,45 % углерода

В легированных сталях второе и третье превращения при отпуске происходят при более высоких температурах в результате того,

что почти все легирующие элементы увеличивают силы связи в твердых растворах и затрудняют диффузионное перераспределение элементов. Карбидообразующие элементы, имеющие большое химическое сродство к углероду (Ti, Nb, V, W, Mo, Cr и др.) уменьшают скорость диффузии углерода и замедляют образование карбидов.

Виды отпуска и их применение

Низкий отпуск. Температура 150...200 °С. Структура стали – **мартенсит отпуска**. Твердость остается высокой – 55...62 HRC, но уменьшаются остаточные напряжения. Данный отпуск применяют для измерительного и режущего инструмента, после цементации, цианирования, поверхностной закалки, для деталей, требующих максимальной твердости.

Средний отпуск. Температура 350...500 °С. Структура стали после среднего отпуска – **троостит отпуска**. Твердость 40...50 HRC. Охлаждение после этого вида отпуска рекомендуется проводить в воде, что приводит к образованию в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, которые увеличивают предел выносливости деталей. Применяют для пружин, рессор и т.п.

Высокий отпуск. Температура 550...600 °С. Структура **сорбит отпуска**. Твердость 25...30 HRC. Данная структура имеет высокую ударную вязкость. 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, шатуны двигателей и др. Сочетание закалки и высокого отпуска в практике называется улучшением стали.

Структуры троостита и сорбита, получаемые отпуском, являются зернистыми в отличие от тех же структур, получаемых закалкой, которые являются пластинчатыми. В практике стремятся получать троостит и сорбит отпуска для обеспечения более высоких механических свойств сталей.

Порядок проведения работы

1. Изучить исходную структуру образца марки стали 45 и зарисовать схему ее структуры.
2. Измерить твердость стали в исходном состоянии.
3. Назначить режимы закалки:
 - а) температуру нагрева под закалку;
 - б) время нагрева и выдержки;

в) скорость охлаждения (охлаждающую среду) по диаграмме изотермического превращения аустенита (рисунок 7.3) для данной марки стали.

4. Нагреть образцы до температуры закалки и дать время на прогрев.

5. Охладить образцы в воде, масле, на воздухе.

6. Замерить твердость образцов после закалки в различных средах.

7. Изучить и зарисовать схемы микроструктур стали после закалки с различной скоростью охлаждения.

8. Построить график зависимости твердости стали от скорости охлаждения.

9. Изучить превращения в стали при отпуске.

10. Для образцов из стали 45, закаленных на мартенсит с охлаждением в воде, выполнить три вида отпуска:

а) низкий, температура 200 °С;

б) средний, температура 400 °С;

в) высокий, температура 600 °С.

11. Дать время выдержки при отпуске ~ 30 мин.

12. Замерить твердость образцов после отпуска на приборе ТК-2.

13. Построить график зависимости твердости закаленной стали HRC от температуры отпуска.

14. Изучить под микроскопом и зарисовать схемы структур отпущенной стали 45.

15. Сделать выводы по работе.

Приборы и оборудование

1. Образцы из стали 45 для закалки и отпуска диаметром 10–12 мм, длиной 30–40 мм.

2. Электроды камерные лабораторные СНОЛ.

3. Закалочные клещи.

4. Закалочные ванны.

5. Твердомеры ТК-2.

6. Микроскопы МИМ-7.

7. Набор шлифов закаленных сталей.

8. Микрошлифы стали 45 после низкого, среднего и высокого отпусков.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Определение основных видов термической обработки (отжиг, нормализация, закалка полная и неполная, отпуск).

3. Участок диаграммы Fe – Fe₃C с нанесенными на ней температурными зонами нагрева под закалку.

4. Диаграмму изотермического превращения аустенита (для стали У8А) со схематичным изображением способов закалки и их определение.

5. Краткие сведения о превращениях при отпуске, виды отпуска.

6. Назначенные режимы термической обработки.

7. Схемы микроструктуры образцов стали 45: а) исходной; б) после закалки, полученной с различной скоростью охлаждения; в) после различных видов отпуска.

8. График зависимости твердости стали от скорости охлаждения.

9. График зависимости твердости закаленной стали от температуры отпуска.

10. Выводы по работе.

11. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое отжиг?

2. Что такое закалка?

3. Что такое нормализация?

4. Что такое критическая скорость закалки?

5. Что такое полная закалка?

6. Что такое неполная закалка?

7. Что такое непрерывная закалка?

8. Что такое прерывистая закалка?

9. Что такое ступенчатая закалка?

10. Что такое изотермическая закалка?

11. Что такое закалка с самоотпуском?

12. Какие могут быть дефекты при закалке?

13. Как выбрать температуру под закалку для доэвтектоидных сталей?

14. Как выбрать температуру под закалку для заэвтектоидных сталей?

15. Как определить продолжительность нагрева при закалке?

16. Что такое мартенсит, в каком случае образуется эта структура?

17. Как влияет скорость охлаждения на твердость закаленной стали?

18. Что такое критическая точка A_{c3} ?

19. Что такое критическая точка A_{c1} ?
20. Что такое отпуск?
21. Какие существуют превращения при отпуске?
22. Какие виды отпуска вы знаете?
23. Какая структура образуется при низком отпуске?
24. В каком случае применяется низкий отпуск?
25. Какая структура образуется при среднем отпуске?
26. В каком случае применяется средний отпуск?
27. Какая структура образуется при высоком отпуске?
28. В каком случае применяется высокий отпуск?
29. В чем отличие троостита и сорбита закалки и троостита и сорбита отпуска?
30. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы:

- 1) изучить основные методы поверхностной закалки и химико-термической обработки;
- 2) изучить изменение структуры и свойств углеродистой стали после высокочастотной закалки и цементации.

Студент должен знать сущность и методы поверхностной закалки сталей, химико-термической обработки.

Студент должен уметь назначить режимы поверхностного упрочнения стальных деталей.

Общие сведения

Большинство деталей современных машин работает под действием статических и динамических нагрузок при обычных и повышенных температурах, вызывающих быстрый износ, коррозию и разрушение поверхностных слоев деталей.

В связи с этим возникает необходимость изменения состояния поверхности металла для увеличения ее стабильности и повышения сопротивляемости разрушениям. Это достигается различными методами упрочнения поверхности деталей при их производстве и восстановлении. Классификация методов упрочнения поверхности деталей машин предусматривает две принципиальные группы методов упрочнения (восстановления):

- 1) упрочнение без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры;
- 2) упрочнение с изменением химического состава поверхности и ее структуры.

Упрочнение методами первой группы достигается поверхностной закалкой, поверхностной пластической деформацией и другими методами.

Вторая группа упрочнения осуществляется различными методами химико-термической обработки (ХТО) и методами наложения защитных слоев. Эти методы осуществляются многочисленными видами технологических процессов (плазменное упрочнение, лазерное, ионно-плазменное, электроискровое упрочнение и др.).

Из методов упрочнения без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры, наиболее распространены методы поверхностной закалки, а из способов упрочнения с изменением химического состава поверхности и ее структуры – методы ХТО.

Выбор метода поверхностного упрочнения детали зависит от условий ее эксплуатации, формы, размеров, марки выбранной стали и других факторов.

Поверхностная закалка

Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагревают выше критических точек, а затем охлаждают со скоростью выше критической. В результате слой металла, нагретый выше A_{c3} (I), получит полную закалку; слой, нагретый выше A_{c1} (II), но ниже A_{c3} (II), – неполную закалку, а сердцевина (III) (рисунок 8.1) или не нагреется, или нагреется ниже A_{c1} и закалки не произойдет.

Основное назначение поверхностной закалки: повышение твердости, износостойкости и предела выносливости поверхности при сохранении вязкой сердцевины детали.

Способы поверхностной закалки определяются методами нагрева, которые могут быть:

- 1) в расплавленных металлах или солях;
- 2) пламенем ацетилено-кислородной или газовой горелки (закалка с газопламенным нагревом);
- 3) в электролитах;
- 4) токами высокой частоты, индуцируемыми в поверхностных слоях детали (закалка токами высокой частоты);
- 5) лазерами (лазерная закалка) и др.

В промышленности самым распространенным способом является закалка нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Реже, в основном для крупных деталей, применяется закалка с газопламенным нагревом.

Закалка ТВЧ

Закалку с индукционным нагревом ТВЧ широко используют для повышения долговечности осей, пальцев, валов и других деталей цилиндрической формы. Толщина поверхностного слоя, обработанная на структуру мелкоигльчатого мартенсита, определяется условиями работы детали. Когда изделие работает только на износ

или в условиях усталости, толщину закаленного слоя чаще принимают 1,5–3,0 мм, в условиях высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки – 4,0–6,0 мм. В случае особо больших контактных нагрузок, например, для валков холодной прокатки, толщина закаленного слоя достигает 10,0–15,0 мм и выше. Обычно считают, что площадь сечения закаленного слоя должна быть не более 20 % всего сечения.

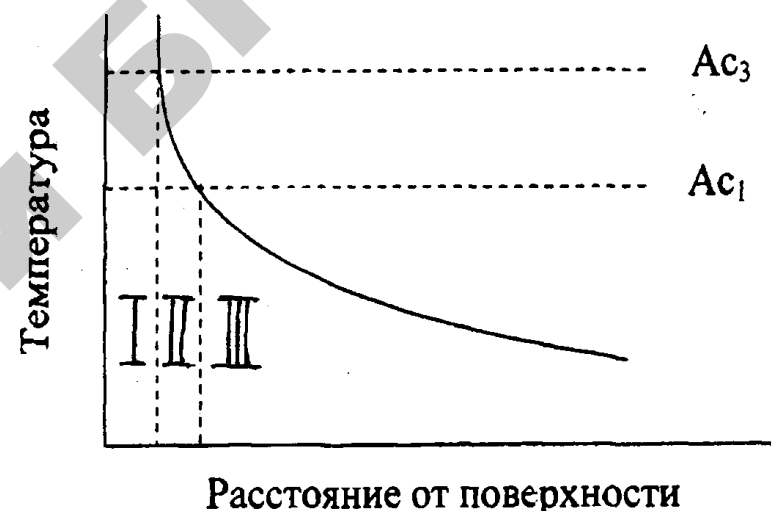


Рисунок 8.1. Распределение температуры от поверхности в глубину при поверхностной закалке

Индукционный нагрев происходит вследствие теплового действия тока, индуцируемого в изделии, помещенном в переменное магнитное поле высокой частоты.

Деталь 1 помещают внутри индуктора 2, представляющего собой один или несколько витков пустотелой водоохлаждаемой медной трубки или шины (рисунок 8.2). Переменный ток высокой частоты, протекая через индуктор, создает переменное магнитное поле. В результате индукции в поверхностном слое детали возникают вихревые токи, происходит выделение Джоулева тепла. Ток проходит, в основном, в поверхностном слое проводника (детали). Это явление называется поверхностным эффектом.

Около 90 % тепла выделяется в слое толщиной δ , которая определяется по уравнению (1):

$$y = 4,46 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \text{ (м)}. \quad (1)$$

Толщина слоя зависит от частоты тока f , Гц, а также магнитной проницаемости μ , Г/м и удельного электросопротивления ρ , Ом·м нагреваемого металла.

Для получения закаленного слоя толщиной 1,0 мм частота тока составляет 50-60 кГц, для слоя 2,0 мм частота тока – 15 кГц.

Источником ТВЧ служат машинные или ламповые генераторы. Машинные генераторы вырабатывают ток частотой от 1000 до 15000 Гц; ламповые – до 100 000 Гц. В последнее время широко применяют тиристорные и транзисторные преобразователи частоты, обеспечивающие плавное регулирование частоты тока в заданном режиме.

Охлаждающую жидкость (воду, масло) подают через душевое устройство (спрейер). Спрейер часто совмещают с индуктором. После закалки с индукционным нагревом изделия подвергают низкому отпуску при 160–200 °С, иногда самоотпуску.

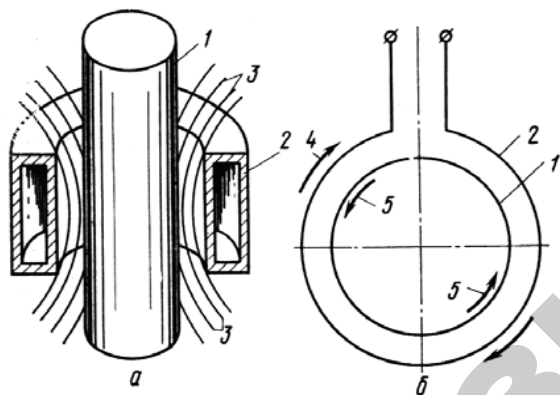


Рисунок 8.2. Схема высокочастотной установки:

- а* – распределение магнитного потока в индукторе; *б* – направление токов в индукторе и детали; 1 – нагреваемая деталь; 2 – виток индуктора; 3 – магнитные силовые линии; 4 – направление тока в индукторе; 5 – направление тока в детали

Для поверхностной индукционной закалки применяют стали содержащие 0,4–0,5 % углерода (40, 45, 40Х, 45Х, 40ХН, 50ХФА, 50Г, 50ХМ и др.).

Обладая высокой производительностью, метод поверхностной закалки ТВЧ в то же время мало эффективен для деталей сложной формы, для которых, в силу их конструктивных особенностей, возможно только местное упрочнение. Этого недостатка не наблюдается при газопламенной обработке, обеспечивающей для деталей сложной формы равномерное упрочнение.

Кроме поверхностного нагрева, описанного выше, получила распространение поверхностная закалка при глубоком индукционном нагреве (объемно-поверхностная закалка). В этом случае глубина прогрева до критических температур больше, чем глубина закаленного слоя. Для получения поверхностного закаленного слоя используются стали с *пониженной прокаливаемостью*. В этих сталях при охлаждении после нагрева на поверхности образуется мартенсит (60 HRC), а в сердцевине, поскольку скорость охлаждения меньше критической, образуется сорбит или троостит (30–40 HRC). В этом случае применяются специальные стали пониженной (55ПП, 60ПП) или регламентированной (47ГТ) прокаливаемости. Сталь 55ПП используют для деталей, у которых глубина закаленного слоя должна быть меньше 2–3 мм. В стали регламентированной прокаливаемости получение закаленного слоя глубиной 7–8 мм обеспечивает марганец, а мелкое зерно – титан.

Химико-термическая обработка стали

Химико-термической обработкой (ХТО) называется термическая обработка, заключающаяся в сочетании термического и химического воздействий с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали.

ХТО заключается в насыщении поверхностного слоя стали различными элементами (*C, N, Al, Cr, Si, B* и др.) путем их диффузии в атомарном состоянии из насыщающей среды (твердой, газовой, жидкой, паровой) при высокой температуре.

Физические основы химико-термической обработки заключаются в следующем:

- 1) образование насыщающего элемента в атомарном состоянии (**диссоциация**);
- 2) поглощение (растворение) атомов насыщающего элемента поверхностью металла (**адсорбция**);
- 3) проникновение насыщающего элемента вглубь (**диффузия**).

В результате образуется диффузионный слой, на поверхности которого концентрация диффундирующего элемента наибольшая.

В зависимости от насыщающего элемента существуют следующие разновидности химико-термической обработки:

цементация – насыщение стали углеродом;

азотирование – насыщение стали азотом;

цианирование – одновременное насыщение стали углеродом и азотом;

борирование – насыщение стали бором и т.д.

Насыщение стали металлами называется **диффузионной металлизацией**. В зависимости от насыщающего металла существуют процессы:

алитирование – насыщение алюминием;

хромирование – насыщение хромом;

силицирование – насыщение кремнием и т. д.

Практическое значение для сельхозмашиностроения имеют технологические процессы цементации, азотирования, цианирования, борирования, алитирования, диффузионного хромирования. Однако наиболее широко используется цементация (вследствие экономичности, не дефицитности насыщающей среды).

Цементация

Цементация заключается в насыщении стальных деталей углеродом для придания высокой твердости и износостойкости их поверхности при сохранении вязкой и пластичной сердцевины. Окончательные свойства цементированные изделия приобретают после закалки и низкого отпуска. Цементации обычно подвергаются детали, изготовленные из сталей с содержанием углерода 0,1–0,3 %, работающие в условиях контактного износа и приложения знакопеременных нагрузок: среднеразмерные зубчатые колеса, втулки, поршневые пальцы, кулачки, валы коробок передач автомобилей, отдельные детали рулевого управления и т.д.

В зависимости от состояния насыщающей среды, называемой «карбюризатором», различают цементацию в твердом, газовом и жидком карбюризаторах. Температура цементации изменяется в интервале 880–1000 °С.

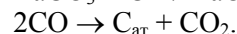
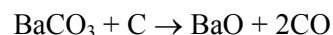
Цементация в твердом карбюризаторе

Цементируемые детали вместе с карбюризатором загружают в ящики, герметически упаковывают, выдерживают при 930 °С. Скорость насыщения 0,1–0,2 мм/ч. После цементации ящики охлаждают на воздухе до 400–500 °С, а затем раскрывают. В качестве карбюризатора применяют смесь древесного угля или каменноугольного полукокса с углекислым барием и кальцием. Для контроля за протеканием процесса и толщиной цементуемого слоя в ящик закладывают свидетели – образцы диаметром 10–15 мм из той же марки стали, которые периодически вынимают и определяют глубину слоя. Широко применяют карбюризатор, состоящий из древесного угля, 20 – 25 % BaCO₃ и 3,5 % CaCO₃. Рабочая смесь, применяемая для цементации, состоит из 20–25 % свежего карбюризатора и 80–75 % отработанного.

В цементационном ящике имеется воздух, кислород которого при высокой температуре взаимодействует с углеродом карбюризатора, образуя оксид углерода. Оксид углерода в присутствии железа диссоциирует по уравнению



Механизм действия активизатора сводится к увеличению количества в ящике CO:



Существенным недостатком цементации в твердом карбюризаторе является большая длительность процесса, невозможность регулирования содержания углерода в слое, необходимость прогрева малотеплопроводной массы карбюризатора, высокая стоимость подготовительных операций (ручная укладка деталей в ящики, приготовление карбюризатора и т. д.). Однако универсальность и простота цементации в твердом карбюризаторе обуславливает применение ее в мелкосерийном и единичном производствах.

Газовая цементация

Этот процесс осуществляют нагревом изделия в среде газов, содержащих углерод. Газовая цементация имеет ряд преимуществ по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе. В этом случае можно получить заданную концентрацию углерода в слое, скорость процесса составляет ≈ 0,2 мм/ч, что сокращает длительность процесса.

При этом обеспечивается возможность полной механизации и автоматизации процессов, включая и последующую термическую обработку деталей.

При газовой цементации в качестве карбюризатора используют природные газы, состоящие из метана (CH_4) и пропанбутановых смесей. Также применяют жидкие углеводороды (керосин, синтин, спирты и др.), каплями подаваемые в печь. Углеводородные соединения при высокой температуре разлагаются с образованием атомарного углерода и водорода.

В серийном производстве газовую цементацию обычно проводят в шахтных печах. В крупносерийном и массовом производствах газовую цементацию проводят в безмуфельных печах непрерывного действия.

Разработаны новые методы цементации: высокотемпературная вакуумная цементация; цементация в тлеющем разряде (ионная цементация); цементация в кипящем слое; цементация в расплавленных солях (жидкостная цементация); цементация пастами. В то же время самым распространенным промышленным методом является газовая цементация.

Структура цементационного слоя

Цементационный слой имеет переменную концентрацию углерода по толщине, уменьшающуюся от поверхности к сердцевине детали. Различают три основные зоны в слое (рисунок 8.3):

- 1 – заэвтектоидная зона, состоящая из перлита и цементитной сетки;
- 2 – эвтектоидная зона, представляющая собой перлит;
- 3 – доэвтектоидная зона, в которой по мере приближения к сердцевине уменьшается количество углерода, перлита, а количество феррита возрастает.

За глубину цементационного слоя принимают сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и половину доэвтектоидной зоны, где количество феррита и перлита составляет по 50 %.

Термическая обработка цементованной стали и свойства упрочненных деталей

Окончательные свойства стальных деталей достигаются в результате термической обработки, выполняемой после цементации. Этой обработкой можно исправить структуру и измельчить зерно сердцевины и цементационного слоя, получить высокую твердость в поверхностном слое 56–60 HRC и хорошие механические свойства сердцевины 26–40 HRC; устранить карбидную сетку в поверхностном

слое, которая может возникнуть при насыщении его углеродом до заэвтектоидной концентрации.

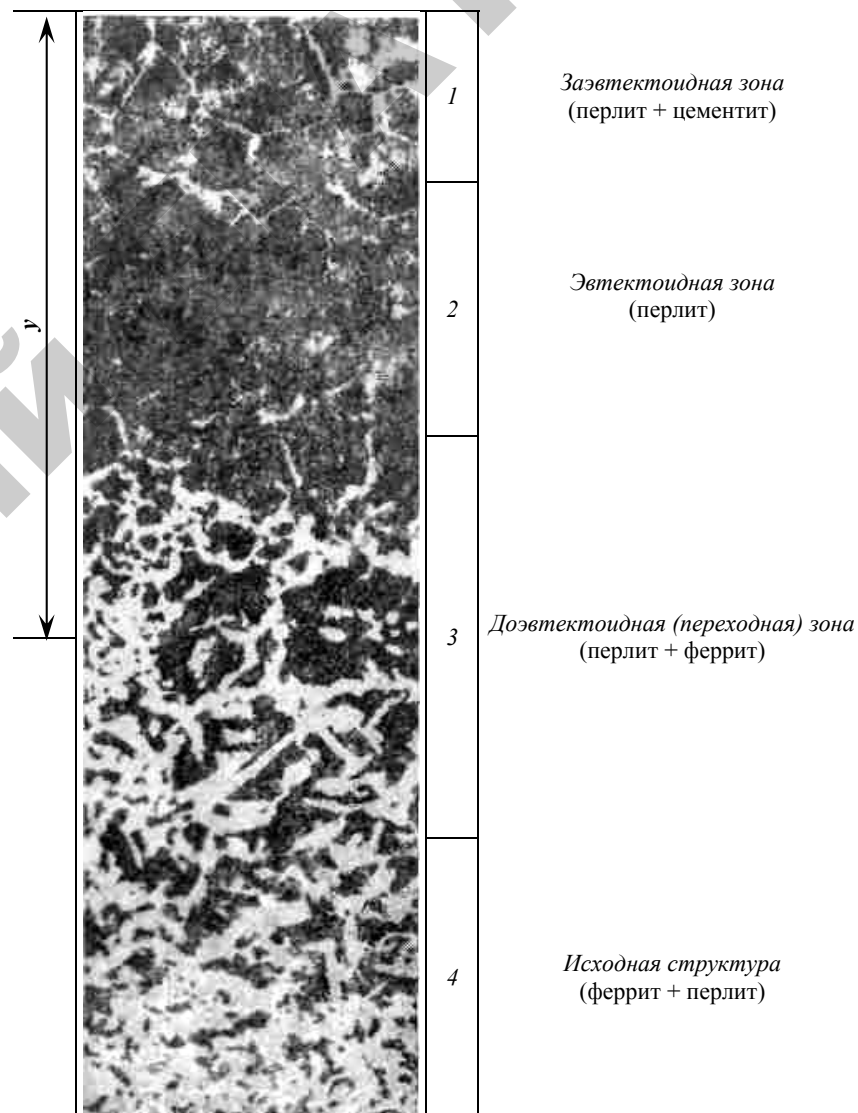


Рисунок 8.3. Структура стали после цементации

В большинстве случаев, особенно при обработке наследственно мелкозернистых сталей, применяют закалку выше точки A_{c3} (сердцевины) при 820–850 °С. Это обеспечивает измельчение зерна и полную закалку цементированного слоя и частичную перекристаллизацию и измельчение зерна сердцевины. После газовой цементации часто применяют закалку без повторного нагрева, а непосредственно из цементационной печи после подстуживания изделий до 840–860 °С, для уменьшения коробления обрабатываемых изделий. Такая обработка не исправляет структуры цементированного слоя и сердцевины, поэтому непосредственную закалку применяют только в том случае, когда изделия изготовлены из наследственно мелкозернистой стали. Для уменьшения деформации цементированных изделий выполняют также ступенчатую закалку в горячем масле (160–180 °С).

В результате термической обработки поверхностный слой приобретает структуру мелкоиглочатого мартенсита и изолированных участков остаточного аустенита (не более 15–20 %). Большое значение имеет *прокаливаемость*, под которой понимают способность стали образовывать структуру мартенсита с HRC 59–62 на заданном расстоянии от поверхности (толщина слоя до 0,8–1,1 мм). Карбиды уменьшают прокаливаемость, играя роль готовых центров распада аустенита, снижая его устойчивость.

Заключительной операцией термической обработки стальных деталей после цементации во всех случаях является низкий отпуск при 160–180 °С, переводящий мартенсит заковки в поверхностном слое в отпущенный мартенсит, снимающий напряжения.

Углеродистые качественные стали, содержащие $\leq 0,25\%$ С (стали 10, 15, 20, 25), применяются для изготовления цементированных деталей, от которых требуется высокая поверхностная твердость и допустима невысокая прочность сердцевины, и используются сравнительно редко.

Хромистые стали 15Х, 20Х, 20ХФ применяются для небольших деталей, работающих на износ в условиях трения, при средних удельных давлениях и скоростях.

Хромомарганцевые стали – марок 18ХГТ, 25ХГТ, 20ХГР дополнительно легированные Ti, Mn, В – применяются для изготовления ответственных деталей, работающих при больших скоростях, средних и высоких удельных давлениях, при наличии ударных нагрузок. Стали склонны к внутреннему окислению при газовой цементации, что снижает прокаливаемость слоя и предел выносливо-

сти. Марганец повышает прокаливаемость цементированного слоя, устраняет вредное влияние внутреннего окисления.

Азотирование

Азотированием называется процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом. Азотирование чаще всего проводится при температурах 500–600 °С. Азотирование повышает твердость поверхностного слоя деталей, износостойкость, сопротивление коррозии в атмосфере, воде, паре.

Свойства азотированного слоя выше, чем цементированного, и сохраняются до температур 450–550 °С. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие хром, ванадий, молибден и другие элементы (например, 20Х13, 30Х13, 30ХМЮА, 30Х3МФ1, 25Х3Н3МФ и др.). Их применяют для изготовления шестерен, колеччатых валов, клапанов, гильз цилиндров мощных двигателей, кулачков, втулок, деталей топливной аппаратуры и паровых турбин. Азотируются детали, работающие в условиях трения скольжения, склонные к короблению (деформации) и испытывающие небольшие контактные нагрузки. Азотированию могут подвергаться практически все легированные стали. Износостойкость азотированной стали в 2–4 раза выше износостойкости цементированной стали.

При азотировании в качестве карбюризатора применяют аммиак. Получившийся при диссоциации аммиака атомарный азот диффундирует в сталь, образуя твердые растворы в α и γ железе (азотистый феррит и аустенит) и химические соединения – нитриды. Данный процесс длительный, для получения глубины слоя 0,1 мм необходимо 24 часа. Для ускорения процесса азотирования сначала азотирование проводят при 500–520 °С, затем при 540–560 °С. Перед азотированием проводят улучшение (закалку и высокий отпуск).

Азотирование изделий является одним из основных методов повышения предела выносливости. Надрезы, царапины, резкие переходы сечений, отверстия и другие концентраторы напряжений, понижающие предел выносливости, после азотирования практически не оказывают ослабляющего влияния. Влияние азотирования тем сильнее, чем меньше поперечное сечение детали и больше конструктивные или технологические концентраторы напряжений.

Азотирование широко применяют для мало- и средненагруженных зубчатых колес сложной конфигурации, например, с внутренними зубьями и др., шлифование которых трудно осуществить. В этом случае зубчатые колеса изготавливают из стали 40Х (кониче-

ские) или 40ХФА (цилиндрические). После азотирования на глубину 0,10–0,13 мм, в результате которого обеспечивается минимальная деформация, проводится только притирка или хонингование зубьев.

Широко применяется азотирование деталей топливной аппаратуры и клапанов дизельных двигателей, деталей турбин из высокохромистых сталей (20Х13, 30Х13, 40Х13), а также штоков клапанов паровых турбин, гильз цилиндров, игл форсунок, пальцев, плунжеров и др.

Нитроцементация

Нитроцементацией называют процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом при температуре 840–860 °С в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа и аммиака. Продолжительность процесса 4–10 ч. Установлено, что при одновременной диффузии углерода и азота ускоряется диффузия углерода. Процесс проводят при более низкой температуре (840–860 °С вместо 910–930 °С при цементации). После нитроцементации следует закалка непосредственно из печи, реже после повторного нагрева, применяют и ступенчатую закалку.

После закалки проводят отпуск при 160–180 °С. Структура обработанного слоя после нитроцементации, как и после цементации, состоит из мелкокристаллического мартенсита и остаточного аустенита, но в ней присутствует небольшое количество дисперсных равномерно распределенных карбонитридов. Азота в слое должно быть 0,10–0,15 %, а углерода 1,0–1,65 %. Твердость слоя после закалки и низкого отпуска HRC 58–60. Нитроцементации обычно подвергают детали сложной конфигурации, склонные к короблению, в крупносерийном и массовом производствах, на автомобильных и тракторных заводах.

Порядок проведения работы

1. Изучить основные методы поверхностного упрочнения стали.
2. Изучить микроструктуру стали после поверхностной закалки ТВЧ.
4. Изучить микроструктуру стали после цементации.
5. Изучить микроструктуру стали после цементации и последующей закалки.
6. Составить отчет по работе.

Оборудование, инструмент и материалы

1. Установка ТВЧ с ламповым генератором, индукторы.
2. Металлографические микроскопы МИМ–7.

3. Образцы микроструктур стали после закалки ТВЧ и цементации, цементации и последующей закалки и отпуска.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Сведения об основных методах поверхностной закалки стали (принципиальная схема установки).
3. Перечень основных методов ХТО.
4. Схемы микроструктур стали после ТВЧ и цементации.
5. Выводы (сравнение способов упрочнения стальных деталей).
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. В каком случае применяется поверхностное упрочнение детали?
2. Изложите основные методы поверхностного упрочнения детали.
3. Изложите сущность поверхностной закалки.
4. Перечислите основные методы поверхностной закалки.
5. Объясните закалку газопламенным нагревом.
6. Объясните процесс закалки ТВЧ.
7. От чего зависит глубина закаленного слоя?
8. Какие установки применяют для закалки ТВЧ?
9. Что называется химико-термической обработкой?
10. Физическая сущность химико-термической обработки.
11. Объясните процесс цементации.
12. Какую термическую обработку проводят после цементации?
13. Какие существуют методы цементации?
14. Объясните процесс азотирования стали.
15. Какую предварительную термическую обработку проводят перед азотированием?
16. Укажите преимущества и недостатки цементации.
17. Укажите преимущества и недостатки закалки ТВЧ.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ПРИМЕНЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

- 1) изучить классификацию, состав, свойства и применение цветных металлов и сплавов на основе меди и алюминия;
- 2) изучить микроструктуру и маркировки меди и ее сплавов;
- 3) изучить микроструктуру и маркировки алюминия и его сплавов.

Студент должен знать классификацию, состав, свойства и применение цветных металлов и сплавов на основе меди и алюминия

Студент должен уметь провести микроструктурный анализ цветных сплавов на основе меди и алюминия, определить вид сплава.

Общие сведения

Цветные металлы и сплавы на их основе широко применяются в различных областях производства. В ближайшем будущем они должны в значительной степени занять место сплавов на железной основе. Основные причины – большие потери от коррозии (до 30 % годового производства чугуна и стали), малая плотность (у сплавов алюминия и магния), низкие температуры плавления и высокие электротехнические характеристики цветных металлов.

Алюминиевые, магниевые и титановые сплавы применяются в авиационной и автомобильной промышленности. В то же время изделия из легких сплавов используют в строительстве, транспортном машиностроении, приборостроении, судостроении и других отраслях промышленности. Медь обладает высокой электрической проводимостью и широко применяется в электротехнике; она является также основой многих важных промышленных сплавов (например, латуней, бронз и др.).

Медь и ее сплавы

Медь – металл красного, а в изломе – розового цвета, температура плавления – 1083 °С, плотность 8,94 г/см³. Она имеет ГЦК решетку, диамагнитна и не имеет полиморфизма. Удельное электрическое сопротивление меди равно 0,0178 мкОм·м. Промышленно производится 11 марок меди с различным содержанием примесей. В электронике применяют бескислородную медь марок

М00б (99,99 % Cu) и М0б (99,97 % Cu), в электротехнике и металлургии М0 (99,95 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu) и др. (ГОСТ 859 -01).

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

По характеру взаимодействия с медью легирующие элементы и примеси разделяют на три группы:

1. Элементы (Ag, Al, As, Au, Cd, Fe, Ni, Pt, P, Sb, Sn, Zn), взаимодействуя с медью, образуют твердые растворы. Они повышают ее прочность, но при этом существенно уменьшают тепло- и электропроводность.

2. Элементы (Bi, Pb), практически нерастворимые в меди в твердом состоянии и образуют с ней легкоплавкие эвтектики. Возникновение эвтектик по границам зерен приводит к разрушению слитков меди в процессе их горячей прокатки (явление красноломкости). Повышенное (более 0,005 %) содержание висмута вызывает хладноломкость меди.

3. Элементы (Se, S, O, Te и др.) образуют с медью хрупкие химические соединения (например, Cu₂O, Cu₂S). Увеличение содержания серы в меди, с одной стороны, обеспечивает повышение качества ее механической обработки (резанием), с другой стороны, вызывает хладноломкость меди. Присутствие кислорода в меди является причиной ее «водородной болезни», проявляющейся в образовании микротрещин и разрушении при отжиге (температуре выше 400 °С) в водородсодержащей среде.

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.

Микроструктура меди после пластической деформации и рекристаллизационного отжига представлена на рисунке 9.1. Она состоит из зерен меди и двойников.

Сплавы на основе меди

Латунями называются сплавы меди с цинком. Они маркируются буквой Л и цифрой, указывающей содержание меди в сплаве в

%, остальное – цинк. Если латунь легирована другими элементами, то после буквы Л ставят обозначение этих элементов: С – свинец, О – олово; Ж – железо, А – алюминий, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель. Числа после букв показывают содержание легирующих элементов (по ГОСТ 15527–04). Например, Л96 – латунь, которая содержит 96 % меди, а остальное – цинк; ЛАН59-3-2 – латунь, содержащая 59 % меди, 3 % алюминия, 2 % никеля, а остальное – цинк.

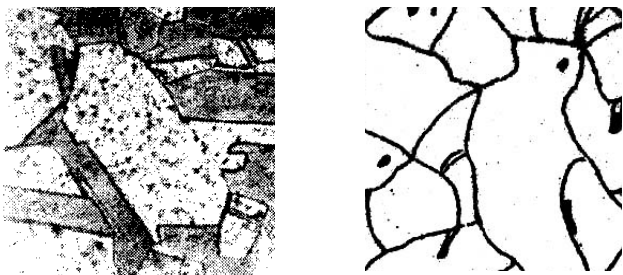


Рисунок 9.1. Микроструктура меди после деформации и отжига (слева), x200, справа – схема зарисовки

Латуни по структуре подразделяются на однофазные и двухфазные сплавы. Практическое применение находят однофазные латуни с содержанием цинка до 39 % (α -латуни) и двухфазные с содержанием цинка от 39 до 45 % ($\alpha + \beta'$ латуни).

Латуни бывают деформируемые и литейные. Однофазные латуни пластичны, хорошо паяются, свариваются и обрабатываются давлением (прокатка, волочение, высадка и др.) в горячем и холодном состоянии. Микроструктура α -латуни (α -твердый раствор Zn в Cu) в литом состоянии имеет дендритное строение. Микроструктура деформированной и отожженной α -латуни (рисунок 9.2) имеет зернистое строение и полосы двойникования. Вследствие различной ориентировки зерен они травятся с разной интенсивностью, поэтому получают различную окраску.



Рисунок 9.2. Микроструктура деформированной и отожженной

однофазной латуни Л80 (слева), x200, справа – схема зарисовки

Двухфазные латуни, например, ЛС59-2 имеют структуру $\alpha + \beta'$ (рисунок 9.3), где α фаза – светлые зерна, β' – темные. Фаза β' является твердым раствором на базе соединения CuZn и имеет упорядоченное строение, что придает ей повышенную хрупкость.

Изделия из двухфазных латуней (проволока, трубы, прутки, листы, ленты) изготавливаются холодной штамповкой и глубокой вытяжкой.

Основным видом термической обработки латуней является смягчающий отжиг перед пластическим деформированием при 600...700 °С с медленным охлаждением. Если требуется повышение твердости и прочности, то охлаждение ведут ускоренно (на воздухе, в воде).

Бронзы называются сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка и никеля. В бронзах может находиться цинк, но при наличии других легирующих элементов. Маркируются бронзы буквами Бр, затем буквы, указывающие легирующий элемент, и цифры, показывающие содержание этих элементов. Обозначение элементов в бронзах то же, что и при маркировке латуней: Ф – фосфор, Ц – цинк, Х – хром, Б – бериллий (ГОСТ 613-97). Например, БрОФ6,5-0,4 содержит 6,5 % олова, 0,4 % фосфора, а остальное – медь.

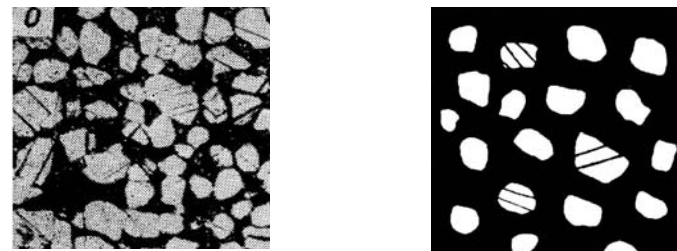


Рисунок 9.3. Микроструктура двухфазной латуни ЛС 59-2 (слева), x200, справа – схема зарисовки

Бронзы бывают деформируемые и литейные.

Различают оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, свинцовистые, оловянно-фосфорные и другие бронзы. Структура и свойства бронз изменяются в зависимости от скорости охлаждения кристаллизующихся сплавов, вида термической обработки и характера обработки давлением. Бронзы немагнитны, коррозионно-стойки, имеют высокие коэффициенты тепло- и электропроводности. Для улучшения свойств их подвергают термообработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию с целью наклепа.

Оловянистые бронзы содержат до 12 % олова, с повышением 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).

При содержании до 6...7 % Sn микроструктура литой бронзы состоит из дендритов α -твердого раствора олова в меди (рисунок 9.4). Микроструктура этой бронзы после деформации и отжига представляет однородные по составу зерна твердого α -раствора.

Алюминиевые бронзы, например, БрА5, БрА7 и другие (5...11 % Al), являются дешевыми заменителями оловянистых. Эти бронзы очень пластичные и их используют для изготовления проката различного профиля и других изделий. Алюминиевые бронзы пластически деформируются как в холодном, так и горячем состоянии, коррозионно-стойки, обладают высокими механическими свойствами. Они имеют хорошие литейные свойства. Высокопрочные алюминиевые бронзы применяются для изготовления шестерен, втулок, подшипников, пружин, деталей электрооборудования.



Рисунок 9.4. Микроструктура литой бронзы (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Свинцовистые бронзы, например БрС30, содержат 27...33 % свинца. Свинец практически не растворяется в меди в жидком состоянии. После охлаждения наблюдается структура, состоящая из зерен меди и эвтектики Cu + Pb, в которой 99,98 % Pb, расположенной по границам зерен Cu в виде крупных скоплений (рисунок 9.5). Эти бронзы используют для изготовления подшипников качения, работающих при высоких удельных нагрузках и больших скоростях.

Бериллиевые бронзы, например, БрБ2, содержат 1,8...2,5 % бериллия. Они обладают высокими упругими свойствами, стойкостью против коррозии, хорошо свариваются. Бериллиевые бронзы

упрочняются закалкой с последующим старением, при этом в 3 раза повышается предел прочности. Применяются для изготовления деталей точного приборостроения: упругие элементы электронных приборов и устройств, мембраны.

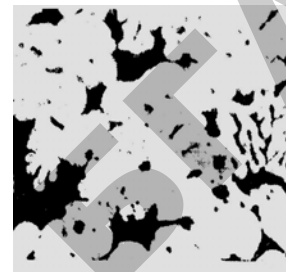


Рисунок 9.5. Микроструктура литой бронзы БрС30: светлые зерна меди и темные участки эвтектики (слева), $\times 300$, справа – схема зарисовки

Алюминий и его сплавы

Алюминий – самый распространенный металл в природе. Обладает ценными физико-химическими свойствами. Широко применяется в чистом виде, является основой многих легких сплавов.

Кристаллическая решетка алюминия – ГЦК., температура плавления $660\text{ }^\circ\text{C}$, плотность $2,7\text{ г/см}^3$, предел прочности $\sigma_B = 80\text{...}100\text{ МПа}$, $\text{HB} = 250\text{...}300\text{ МПа}$, $\delta = 35\text{...}40\%$, $\psi = 80\%$.

Алюминий высокой и технической чистоты по ГОСТ11069 -01 маркируется А99 (99,999 % Al), А8, А7, А6, А5, А0 (содержание алюминия от 99,85 % до 99 %). Технический алюминий хорошо сваривается, имеет высокую пластичность. Из него изготавливают различные строительные конструкции, малонагруженные детали машин. Алюминий используется как электротехнический материал для изготовления кабелей, проводов, шин.

Алюминий обладает низкой плотностью, высокой тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью во многих средах за счет образования на поверхности металла плотной оксидной пленки Al_2O_3 . Технический отожженный алюминий АДМ (М – мягкий; $\sigma_B = 80\text{ МПа}$; $\delta = 35\%$) упрочняется холодной пластической деформацией.

Более высокими механическими и технологическими свойствами обладают сплавы на основе алюминия. Алюминиевые сплавы, в основном, подразделяются на **деформируемые**, **литейные** и **спечен-**

ные. Последние используются при производстве **порошковых**, в том числе и гранулируемых сплавов и **композиционных** материалов.

Маркировка алюминиевых сплавов. В настоящее время одновременно существуют две маркировки сплавов: старая буквенно-цифровая и новая цифровая. Существует буквенно-цифровая маркировка технологической обработки полуфабрикатов и изделий. Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в таблице 1. В таблице 2 дана классификация алюминиевых сплавов.

В сельскохозяйственном машиностроении чаще всего применяются литейные алюминиевые сплавы.

Таблица 1 – Буквенно-цифровая маркировка алюминиевых сплавов

Принцип классификации	Сплав	
	Название	Обозначение
По химическому составу	–	АМг, АМц
По названию сплава	Дюралюмин	Д1, Д16
По технологическому назначению	Ковочный	АК6, АК8
По свойствам	Высокопрочный	В95, В96
По методу получения полуфабрикатов и изделий	Спеченный	САП, САС, АК9, АК12
	Литейный	Д1, Д18
По виду полуфабрикатов	Проволочный	АМг5П

Таблица 2 – Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
Деформируемые	Коррозионно-стойкие, повышенной пластичности	А1 – Mn А1 – Mg А1 – Mg – Si	АМц АМг6 АВ, АД31, АД33
	Пластичные при комнатной температуре	А1 – Cu – Mg	Д18, В65
	Среднепрочные	А1 – Cu – Mg	Д1, Д16
	Высокопрочные	А1 – Zn – Mg – Cu	В95, В96Ц1
	Малой плотности, высокомодульные	А1 – Mg – Li – Zr	1420
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре	А1 – Mg – Si – Cu	АК6, АК8
	Жаропрочные	А1 – Cu – Mg – Fe – Ni А1 – Cu – Mn	АК4 – 1 Д20, Д21
Спеченные	Жаропрочные	А1 – А1 ₂ О ₃ А1 – Cu – Mg – А1 ₂ О ₃ А1 – Cr – Zr	САП – 1 САП – 2 СПАК – 4 01419
	Высокомодульные с пониженной плотностью	А1 – Mg – Li – Zr	01429
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения	А1 – Si – Ni А1 – Si – Fe	САС1 – 50 САС – 2
	Высокопрочные	А1 – Zn – Mg – Cu	ПВ90
Литейные	Герметичные	А1 – Si А1 – Si – Mg А1 – Si – Cu – Mg	АК12, АК9ч, АК7 АК8л АК9М, АК8М

Окончание таблицы 2

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
	Высокопрочные и жаропрочные	Al – Cu – Mn Al – Cu – Mn – Ni Al – Si – Cu – Mg	AM5 AK6MцH AK5M2, AK5M
	Коррозионно-стойкие	Al – Mg Al – Mg – Zn	AL8, AMг10 АЦ4Mг
Композиционные	Волокнистые, армированные борным волокном (Б.В.)	AD1 – BV AD33 – BV	BKA – 1 BKA – 2
	Сплавы, армированные стальной проволокой	Матрица: AD1, AV; проволока 18X15H5AM3	KAC – 1, KAC – 1A

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-93)

Основные требования, предъявляемые к этим сплавам, – сочетание хороших литейных свойств (высокой жидкотекучести, небольшой усадки, малой склонности к образованию горячих трещин и пористости) с оптимальными механическими и химическими свойствами. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава. Больше всего распространены сплавы на основе систем Al – Si, Al – Cu, Al – Mg.

Силумины (конструкционные герметичные сплавы) систем Al – Si, описываются диаграммой состояния сплавов (рисунок 9.6) (AK12) и Al – Si – Mg (AK9ч, AK7ч, AK8л). Сплав AK12 близок к эвтектическому составу (10...13 % Si) и обладает высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью, большой плотностью отливок. В то же время структура сплава AK12, представляющая собой игольчатую грубую эвтектику с включениями кристаллов первичного кремния (рисунок 9.7), не обеспечивает требуемых механических свойств материала.

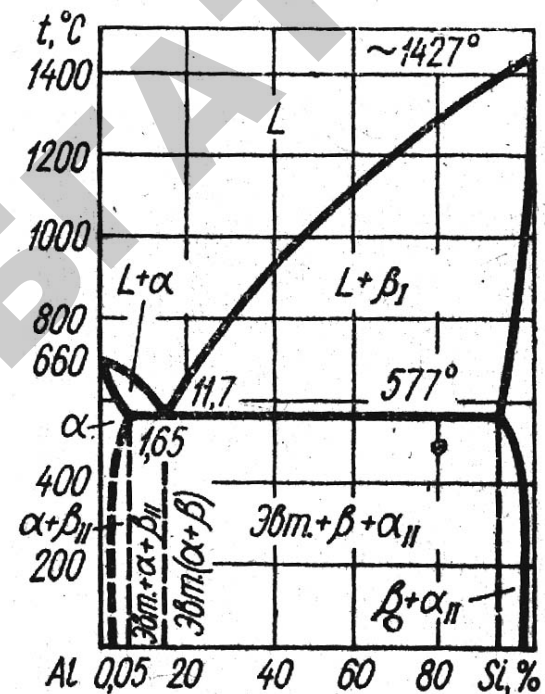


Рисунок 9.6. Диаграмма состояния сплавов системы «алюминий–кремний»

Повышение пластичности сплава за счет изменения структуры достигается модифицированием АК12 натрием (0,065 %) посредством введения в расплав смеси солей (67 % NaF + 33 % NaCl) (рисунок 9.8). Легированные силумины АК9ч, АК7ч, АК8л упрочняются термической обработкой.

Сплав АК12 используют для изготовления мелких, а АК9ч и АК7ч – средних и крупных литых деталей (корпусов компрессоров, картеров двигателей внутреннего сгорания). Сплав АК8л применяется для отливок, получаемых литьем под давлением (блоков цилиндров автомобильных двигателей), и отличается хорошим комплексом технологических свойств.

Высокопрочные и жаропрочные литейные сплавы. Это сплавы систем Al – Cu – Mn (AM5), Al – Cu – Mn – Ni (AK6MцH) и Al – Si – Cu – Mg (AK5M2, AK5M).

Сплав AM5 упрочняется термообработкой, он широко используется для литья крупногабаритных отливок в песчаные формы.

Сплав AK6MцH характеризуется высокой жаропрочностью, хорошей обрабатываемостью резанием, однако имеет пониженные литейные свойства и коррозионную стойкость. Он термически упрочняется. Температура работы сплава – до 350 °С.

Сплавы AK5M2 и AK6MцH используются для изготовления корпусов приборов, головок цилиндров двигателей, работающих при повышенных температурах (250...270°С).

Коррозионно-стойкие литейные алюминиевые сплавы. Сплавы систем Al–Mg (AMг10) и Al–Mg–Zn (AЦ4Mг) обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, обрабатываются резанием и свариваются. Сплав AMг10 характеризуется невысокими литейными свойствами и низкой жаропрочностью (рабочие температуры до 80°С). Сплав AЦ4Mг обладает стабильными механическими свойствами, хорошей жаропрочностью (до 150 °С) и удовлетворительными литейными свойствами. Эти сплавы способны работать в условиях коррозии морской воды вместо дефицитных бронз, латуней и нержавеющей сталей.

Спеченные алюминиевые сплавы (порошковые и гранулированные) характеризуются повышенными механическими и физическими свойствами.

Спеченный алюминиевый порошок (САП) — это материал, полученный холодным, а затем горячим брикетированием (прессованием под давлением 700 МПа при 500...600 °С). Потом из горячепрессованных брикетов ковкой, прокаткой или прессованием изготавливаются изделия или полуфабрикаты. САП характеризуется высокой прочностью и жаропрочностью при повышенных температурах (350...500 °С).

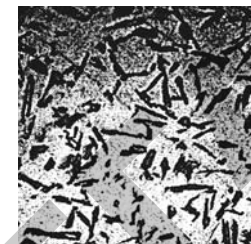


Рисунок 9.7. Микроструктура немодифицированного силумина АК12: кристаллы избыточного кремния и игольчатая эвтектика $\alpha + \text{Si}$ (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

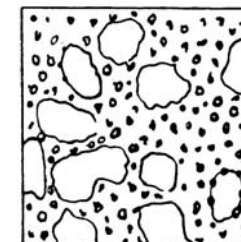
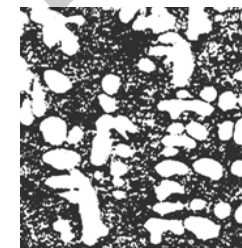


Рисунок 9.8. Микроструктура модифицированного силумина АК12: светлые дендриты α -твердого раствора в мелкозернистой эвтектике (слева), $\times 200$, справа – схема зарисовки

Спеченные алюминиевые сплавы систем Al – Si – Ni (САС-1) и Al – Si – Fe (САС-2) обладают низким коэффициентом термического расширения, изготавливаются из порошков, полученных пульверизацией жидких сплавов. Это обеспечивает сплавам достаточно равномерную дисперсную структуру, содержащую мелкие включения кремния и интерметаллидов.

В настоящее время получили распространение **гранулируемые алюминиевые сплавы**, отличающиеся высоким содержанием легирующих элементов (Mn, Cr, Zr, Ti, V), нерастворимых или мало растворимых в алюминии, и **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 ус-

талостной трещины и значительной прочностью. Эти материалы используются для изготовления труб.

Деформируемые алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784 - 97)

Самыми распространенными деформируемыми алюминиевыми сплавами являются **дюралюмины** Al – Cu – Mg (Д1, Д16, Д18, Д19, ВД17 и др.). Они упрочняются термической обработкой, хорошо свариваются точечной сваркой, удовлетворительно обрабатываются резанием (в термоупрочненном состоянии), однако склонны к межкристаллитной коррозии после нагрева (особенно Д1, Д16 и В65). Сплавы Д19 и ВД17 работают при нагреве до 200...250 °С (например, из сплава ВД17 изготавливают лопатки компрессора двигателя). В авиации дюралюмины применяются для изготовления лопастей воздушных винтов (Д1), силовых элементов конструкций самолетов (Д16, Д19), заклепок (В65, Д18) и др. Микроструктура дюралюминия характеризуется сложным фазовым составом.

Высокопрочные сплавы системы Al – Zn – Mg – Cu (В3, В95, В96Ц) обладают лучшей коррозионной стойкостью, чем дюралюмины. Рабочая температура высокопрочных сплавов не превышает 120 °С, ибо они не являются теплопрочными. Сплавы используются для изготовления высоконагруженных изделий, как правило, работающих в условиях сжатия (стрингеры, шпангоуты, лонжероны и др.).

Ковочные сплавы системы Al – Mg – Si – Cu (АК6 и АК8) обладают высокой пластичностью при горячей обработке давлением, удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатываются резанием. Из этих сплавов изготавливаются ковкой и штамповкой детали самолетов, работающие под нагрузкой (рамы, пояса лонжеронов, крепежные детали).

Жаропрочные алюминиевые сплавы системы Al – Cu – Mn (Д20, Д21) и Al – Cu – Mg – Fe – Ni (АК4, АК4-1) работают при повышенных температурах (до 300 °С). Их применяют для изготовления деталей (поршни, головки цилиндров, диски и лопатки компрессоров). Сплавы обладают высокой пластичностью и технологичностью в горячем состоянии.

Материалы и оборудование

1. Металлографический микроскоп МИМ-7, установка для приготовления шлифов, наборы микрошлифов и травителей.
2. Плакаты, стенды, фотографии микроструктур сплавов на основе меди и алюминия.

Порядок выполнения работы

1. Для изучения микроструктуры сплавов на основе меди и алюминия студенты получают набор шлифов (шлифы предварительно подготавливаются лаборантом).
2. На микроскопе МИМ-7 при заданном увеличении студенты изучают и определяют структуру бронз, латуней, силуминов и дюралюминов.
3. Студенты схематично зарисовывают в отчете изученные микроструктуры.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткая характеристика меди и сплавов на ее основе.
3. Краткая характеристика алюминия и сплавов на его основе.
4. Диаграмма состояния сплавов Al – Si (выполняется в процессе самоподготовки к работе).
5. Схемы микроструктур изучаемых сплавов, описание их свойств и применения в сельскохозяйственном машиностроении.
6. Выводы по работе.
7. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает медь?
2. Как маркируется медь?
3. Где применяется медь?
4. Какие сплавы на основе меди известны?
5. Что такое латунь?
6. Как подразделяются латуни по структуре?
7. Как маркируются латуни?
8. Где применяются деформированные латуни?

9. Где применяются литейные латуни?
10. Что такое бронза?
11. Как маркируются бронзы?
12. Где применяются оловянные бронзы?
13. Где применяются алюминиевые бронзы?
14. Где применяются бериллиевые бронзы?
15. Какими свойствами обладает алюминий?
16. Как маркируется алюминий?
17. Где применяется алюминий?
18. Какие сплавы на основе алюминия известны?
19. Как маркируются алюминиевые сплавы?
20. Укажите классификацию алюминиевых сплавов.
21. Где применяются дюралюмины?
22. Где применяются силумины?
23. Что представляют собой спеченные алюминиевые сплавы?
24. Что представляют собой композиционные алюминиевые сплавы?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Настоящие тестовые задания составлены для использования в электронном варианте для изучения раздела «Материаловедение» и активной самостоятельной работы студентов над дисциплиной «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», которая изучается на всех инженерных факультетах сельскохозяйственных вузов. Для каждой работы приведен перечень вопросов, охватывающих теоретическое и экспериментальное содержание.

Форма тестовых заданий предусматривает выбор одного правильного ответа из нескольких предложенных вариантов. Задания представлены, главным образом, в виде утверждения, которому соответствует одно правильное суждение или ответ.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ И ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ

1. Способность материала сопротивляться деформации или разрушению в условиях статического нагружения называется:

- 1) ударной вязкостью;
- 2) пластичностью;
- 3) износостойкостью;
- 4) прочностью.

2. Пластическая деформация – это:

- 1) деформация, которая исчезает после снятия нагрузки;
- 2) необратимое изменение деформированного тела;
- 3) изменение размеров нагруженного тела;
- 4) работа, затраченная на разрушение образца материала.

3. Способность материала сопротивляться пластической деформации при контактном воздействии нагрузки в поверхностном слое называется:

- 1) ударной вязкостью;
- 2) выносливостью;
- 3) твердостью;
- 4) износостойкостью.

4. Относительное удлинение материала при разрыве является характеристикой:

- 1) прочности;
- 2) износостойкости;
- 3) выносливости;
- 4) пластичности.

5. Способность материала получать остаточную деформацию без разрушения называется:

- 1) пластичностью;
- 2) прочностью;
- 3) твердостью;
- 4) выносливостью.

6. Нагрузка, действующая на единицу площади, называется:

- 1) относительным сужением при разрыве;
- 2) деформацией;
- 3) пластичностью;
- 4) напряжением.

7. Относительное сужение при разрыве обозначают символом:

- 1) HRC; 2) Ψ ; 3) KCV; 4) σ_T .

8. Символом δ обозначают:

- 1) ударную вязкость;
- 2) твердость по Роквеллу;
- 3) относительное удлинение при разрыве;
- 4) предел текучести.

9. Символом σ_B обозначают:

- 1) твердость по Бринеллю;
- 2) предел прочности при растяжении;
- 3) ударную вязкость;
- 4) относительное удлинение при разрыве.

10. Для испытания на разрыв обычно используют образец:

- 1) в виде куба;
- 2) в виде прутка квадратного сечения с надрезом;
- 3) в виде шайбы;
- 4) цилиндрический с утолщениями (головками) на концах.

11. Прочность материала выражается:

- 1) в процентах;
- 2) в Дж/м² (кгс·см/см²);
- 3) в МПа (кгс/мм²);
- 4) это безразмерная величина.

12. По оси абсцисс диаграммы растяжения откладывается:

- 1) твердость материала;
- 2) нагрузка на образец;
- 3) абсолютное удлинение;
- 4) температура.

13. Точка 3 диаграммы растяжения (рисунок 1) соответствует следующему состоянию:

- 1) материал упруго деформирован;
- 2) образец не деформирован;
- 3) отмечается текучесть материала;
- 4) разрушение образца.

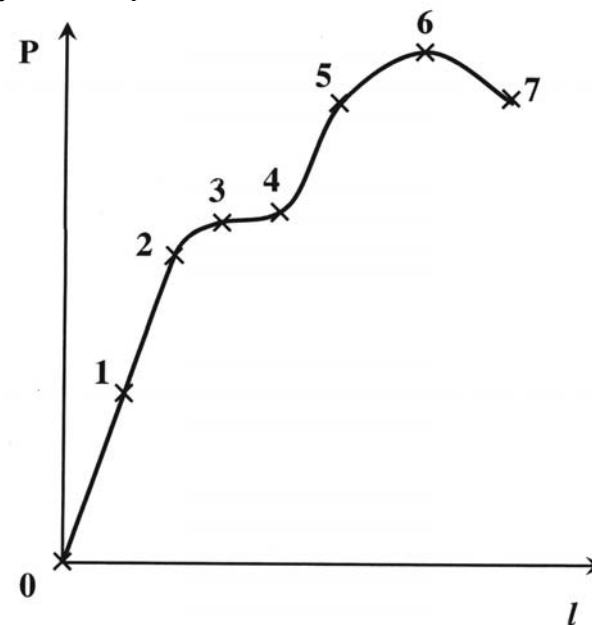


Рисунок 1. Диаграмма растяжения стали

14. В случае если нагружение материала было доведено до точки 1 диаграммы растяжения (рисунок 1), а затем нагрузка снята, состояние образца окажется следующим:

- 1) размеры образца окажутся первоначальными;
- 2) на образце будет утоньшенный участок – шейка;
- 3) на образце не образуется шейка, но он будет длиннее первоначального;
- 4) образец окажется короче первоначального.

15. Образец в точке 4 диаграммы растяжения (рисунок 1):

- 1) пластически деформирован;
- 2) упруго деформирован;
- 3) не деформирован;
- 4) разорван.

16. Участок упругого деформирования диаграммы растяжения (рисунок 1) заканчивается:

- 1) в точке 2;
- 2) в точке 4;
- 3) в точке 6;
- 4) такого участка на диаграмме нет.

17. Точка 6 диаграммы состояния (рисунок 1) соответствует следующему состоянию образца:

- 1) образец уже разорван;
- 2) образец еще не разорван, но на нем начала образовываться шейка;
- 3) образец только упруго деформирован;
- 4) образец испытывает нагрузку, соответствующую пределу пропорциональности материала.

18. Начало образования шейки на образце соответствует (рисунок 1):

- 1) точке 6; 2) точке 4; 3) точке 2; 4) точке 1.

19. В случае если напряжение в образце выше $\sigma_{0,05}$, но меньше σ_T , состояние образца следующее:

- 1) образец разорван;
- 2) образец только упруго деформирован;
- 3) началось пластическое деформирование образца;
- 4) образец не деформирован.

20. Разрушением образца падающим маятником определяют:

- 1) твердость по Роквеллу;
- 2) прочность при разрыве;
- 3) ударную вязкость;
- 4) твердость по Бринеллю.

21. Для определения ударной вязкости используют следующий образец:

- 1) в виде прутка прямоугольного сечения с надрезом;
- 2) цилиндрический образец с утолщениями на концах;
- 3) в виде куба;
- 4) в виде плоской полосы.

22. Ударная вязкость обозначается:

- 1) KCV; 2) δ ; 3) HRC; 4) $\sigma_{0,2}$.

23. С помощью маятникового копра определяют:

- 1) твердость по Роквеллу;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) относительное удлинение при разрыве.

24. Ударная вязкость имеет размерность:

- 1) МПа ($\text{кг}/\text{мм}^2$);
- 2) %;
- 3) Дж/ м^2 ;
- 4) ударная вязкость – безразмерная величина.

25. Полученный результат KCU ≈ 0 при измерении ударной вязкости говорит о том, что:

- 1) испытание проведено неправильно;
- 2) испытан материал с очень высокой вязкостью;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

- 3) испытан очень хрупкий материал;
- 4) при испытании образец не разрушился.

26. Более высокую ударную вязкость имеет:

- 1) напильник;
- 2) гвоздь;
- 3) сверло;
- 4) иголка.

27. Получить разную величину ударной вязкости одной и той же стали возможно:

- 1) если испытать закаленную и незакаленную стали;
- 2) если сделать образцы разного сечения;
- 3) если сделать образцы разной длины;
- 4) невозможно (в любом случае).

1. Сущность измерения твердости по методу Роквелла состоит во внедрении в образец:

- 1) алмазной пирамиды;
- 2) алмазного конуса или закаленного стального шарика;
- 3) закаленного стального шарика;
- 4) ничего не внедряется.

2. Измерение твердости по методу Бринелля производится вдавливанием в образец:

- 1) алмазного конуса или закаленного стального шарика;
- 2) алмазной пирамиды;
- 3) закаленного стального шарика;
- 4) ничего не вдавливаются.

3. Условия испытания при измерении твердости по методу Бринелля:

- 1) нагрузка, время приложения нагрузки;
- 2) диаметр отпечатка, нагрузка, время приложения нагрузки;
- 3) диаметр отпечатка.
- 4) время приложения нагрузки.

4. Шарика каких диаметров используются при измерении твердости по методу Бринелля, мм:

- 1) 0,5; 3,0; 7,0; 2) 2,5; 5,0; 10,0; 3) 1,5; 3,0; 6,0; 4) 1,0; 4,0; 8,0.

5. Зависимость между пределом прочности и твердостью Бринелля:

- 1) прямолинейная;
- 2) криволинейная;
- 3) не существует;
- 4) параболическая.

6. При измерении твердости по методу Роквелла применяются инденторы:

- 1) пирамида;
- 2) конус, шарик;

- 3) шарики различного диаметра;
- 4) конусы с различными углами.

7. Твердость, измеренная по методу Роквелла с алмазным конусом, обозначается:

- 1) HB;
- 2) HV;
- 3) HRB;
- 4) HRA.

8. При измерении твердости по методу Роквелла к образцу прикладывается:

- 1) предварительная нагрузка;
- 2) предварительная и основная нагрузки;
- 3) основная нагрузка;
- 4) ничего не применяется.

9. HRC обозначает твердость, определенную методом:

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла;
- 4) такого обозначения твердости нет.

10. Твердость по Бринеллю обозначается:

- 1) KCV;
- 2) HB;
- 3) Ψ ;
- 4) σ_b .

11. На чертеже детали указано 90 HRB, обозначающее:

- 1) относительное сужение материала при растяжении;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором – стальным шариком.

12. На чертеже детали указано 55 HRC, обозначающее:

- 1) твердость по Виккерсу;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором – твердосплавным конусом.

13. На чертеже детали указано 302 HB, обозначающее:

- 1) предел прочности;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором – стальным шариком.

14. На чертеже детали указано 190 HB_{5/750/10}, обозначающее:

- 1) ударную вязкость;
- 2) твердость по Бринеллю, измеренную шариком диаметром 5 мм, при нагрузке 750 кг, времени приложения нагрузки 10 с;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором – стальным шариком.

15. При определении твердости измеряют диаметр отпечатка по методу:

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла с алмазным конусом;
- 4) Роквелла с шариком.

16. Твердость по Роквеллу измеряется:

- 1) в %;
- 2) в МПа (кг/мм²);
- 3) в Дж/м²;
- 4) твердость по Роквеллу – безразмерная величина.

17. Для определения твердости используется две шкалы на приборе по методу:

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла;
- 4) такого метода нет.

18. Твердость закаленных изделий измеряют:

- 1) по Роквеллу с алмазным конусом;
- 2) по Бринеллю;
- 3) по Роквеллу с шариком;
- 4) перечисленными методами твердость закаленных изделий измерить невозможно.

19. Мера измерения твердости по Бринеллю:

- 1) глубина отпечатка, мм;
- 2) диаметр отпечатка, мм;
- 3) прикладываемая нагрузка, кг;
- 4) величина отскока, мм.

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

20. Мера измерения твердости по Роквеллу:

- 1) диаметр отпечатка, мм;
- 2) глубина отпечатка, мм;
- 3) прикладываемая нагрузка, кг;
- 4) величина отскока, мм.

21. Для измерения твердости по Бринеллю используется алмазный конус:

- 1) при измерении мягких материалов;
- 2) при измерении твердых материалов;
- 3) во всех случаях;
- 4) при измерении твердости по Бринеллю алмазный конус не применяется.

22. Твердость напильника можно измерить:

- 1) по Бринеллю;
- 2) по Роквеллу с алмазным конусом;
- 3) по Роквеллу с шариком;
- 4) любым из перечисленных методов.

23. Неразрушающим видом контроля является следующий метод испытания:

- 1) измерение прочности;
- 2) измерение ударной вязкости;
- 3) измерение пластичности;
- 4) измерение твердости.

1. Микроструктурный анализ заключается в изучении:

- 1) структуры материалов невооруженным глазом;
- 2) структуры материалов при увеличении с помощью микроскопов;
- 3) структуры материалов с помощью рентгеновских лучей;
- 4) определении химического состава.

2. Макроструктурный анализ заключается в изучении:

- 1) структуры материалов невооруженным глазом;
- 2) структуры материалов при увеличении с помощью микроскопов;
- 3) структуры материалов с помощью рентгеновских лучей;
- 4) химического состава.

3. Рентгеноструктурный анализ представляет исследование внутреннего строения металлов:

- 1) невооруженным взглядом;
- 2) с помощью рентгеновских лучей;
- 3) с помощью электронных лучей;
- 4) на металлографическом микроскопе.

4. Структура представляет собой:

- 1) внутреннее строение металлов и сплавов;
- 2) химический состав сплава;
- 3) внешний вид образца металла;
- 4) координационное число кристаллической решетки.

5. Микрошлиф представляет собой:

- 1) образец, отрезанный от заготовки;
- 2) специально приготовленный образец для проведения микроанализа;
- 3) отрезанный образец, обработанный напильником;
- 4) отрезанный образец, обработанный на шлифовальном круге.

6. Приготовление микрошлифа производится:

- 1) отрубкой образца от заготовки;
- 2) шлифованием, полированием, травлением плоской поверхно-

сти образца;

- 3) опиловкой образца напильником;
- 4) шлифованием отрезанного образца.

7. Шлифовка образца производится:

- 1) наждачной бумагой различной зернистости;
- 2) напильником;
- 3) на фетровом круге;
- 4) на наждачном круге.

8. Полировка образца производится:

- 1) наждачной бумагой различной зернистости;
- 2) травлением кислотами;
- 3) на фетровом круге;
- 4) на наждачном круге.

9. Травление микрошлифов сталей и чугунов производится:

- 1) спиртом;
- 2) 2 % -ным раствором серной кислоты;
- 3) 4 % -ным раствором азотной кислоты в спирте;
- 4) 1 % -ным раствором плавиковой кислоты.

10. Характеристиками микроскопа являются:

- 1) числовая апертура объектива;
- 2) разрешающая способность и полезное увеличение;
- 3) отношение длины световой волны к числовой апертуре объектива;
- 4) увеличения окуляра и объектива.

11. Общее увеличение микроскопа равно:

- 1) отношению разрешающей способности человеческого глаза к разрешающей способности микроскопа;
- 2) увеличению окуляра, умноженное на увеличение объектива;
- 3) отношению длины световой волны к числовой апертуре объектива;
- 4) сумма увеличений окуляра и объектива.

12. Полезное увеличение микроскопа равно:

- 1) отношению разрешающей способности человеческого глаза к разрешающей способности микроскопа;
- 2) увеличению окуляра, умноженное на увеличение объектива;
- 3) отношению длины световой волны к числовой апертуре объектива;

4) сумма увеличений окуляра и объектива.

13. Для определения содержания углерода в углеродистой стали необходимо:

- 1) установить количество цементита;
- 2) установить количество перлита;
- 3) определить размер зерна феррита;
- 4) определить количество неметаллических включений.

14. Для определения марки углеродистой стали необходимо по микроструктуре:

- 1) установить количество перлита;
- 2) установить количество цементита;
- 3) определить размеры зерна перлита;
- 4) определить количество неметаллических включений.

15. Содержание углерода в стали, состоящей из 50 % перлита и 50 % феррита, составляет:

- 1) 0,16 %;
- 2) 0,24 %;
- 3) 0,40 %;
- 4) 0,56 %.

16. Содержание углерода в стали, состоящей из 40 % перлита и 60 % феррита, составляет:

- 1) 0,16 %;
- 2) 0,24 %;
- 3) 0,32 %;
- 4) 0,56 %.

17. Содержание углерода в стали, состоящей из 20 % перлита и 80 % феррита:

- 1) 0,16 %;
- 2) 0,24 %;
- 3) 0,40 %;
- 4) 0,56 %.

18. Содержание углерода в стали, состоящей из 30 % перлита и 70 % феррита, составляет:

- 1) 0,16 %;
- 2) 0,24 %;
- 3) 0,40 %;
- 4) 0,56 %.

19. Содержание перлита в стали с 0,6 % С при комнатной температуре составляет:

- 1) 25 %;
- 2) 50 %;
- 3) 75 %;
- 4) 100 %.

20. Содержание перлита в стали с 0,8 % С при комнатной температуре составляет:

- 1) 25 %;
- 2) 50 %;
- 3) 75 %;
- 4) 100 %.

21. Содержание перлита в стали с 0,4 % С при комнатной температуре составляет:

- 1) 25 %; 2) 50 %; 3) 75 %; 4) 100 %.

22. Содержание перлита в стали с 0,2 % С при комнатной температуре составляет:

- 1) 25 %; 2) 50 %; 3) 75 %; 4) 100 %.

Лабораторная работа № 4

**ТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ
И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ
СПЛАВОВ «СВИНЕЦ – СУРЬМА»**

1. Сплавами называют:

- 1) соединение компонентов, полученное сплавлением двух или более компонентов;
- 2) твердые растворы внедрения;
- 3) твердые растворы замещения;
- 4) химические соединения.

2. Компонентами называют:

- 1) вещества, образующие сплав;
- 2) составляющие структуры сплава;
- 3) внешние факторы системы;
- 4) твердые растворы замещения.

3. Эвтектиками называют:

- 1) механические смеси одновременно образующихся кристаллитов различных компонентов, их твердых растворов из жидкого состояния;
- 2) твердые растворы внедрения;
- 3) твердые растворы замещения;
- 4) химические соединения.

4. Диаграмма состояния сплава представляет:

- 1) графическое изображение фазовых превращений в зависимости температуры и концентрации;
- 2) зависимость температуры сплава от времени;
- 3) зависимость механических свойств сплава от температуры;
- 4) зависимость механических свойств сплава от химического состава.

5. По оси абсцисс диаграммы состояния откладывается:

- 1) скорость охлаждения сплавов;
- 2) время;
- 3) концентрация сплава;
- 4) температура.

6. По оси ординат диаграммы состояния откладывается:

- 1) температура;
- 2) время;
- 3) скорость охлаждения;
- 4) концентрация сплава.

7. Кривая охлаждения сплава представляет:

- 1) зависимость температуры сплава от химического состава;
- 2) графическое изображение зависимости изменения температуры от времени охлаждения;
- 3) графическое изображение механических свойств от температуры;
- 4) зависимость температуры сплава от структуры.

8. Отсутствие горизонтальной площадки на кривой охлаждения (рисунок 2) говорит о том, что:

- 1) кривая охлаждения принадлежит чистому металлу;
- 2) кривая принадлежит эвтектическому сплаву;
- 3) кривая отображает образование твердого раствора;
- 4) у металлических сплавов такой кривой охлаждения не может быть.

9. Критическая точка представляет собой:

- 1) жидкое состояние сплава;
- 2) температуру, при которой происходит изменение состояния сплава;
- 3) температуру кристаллизации компонента;
- 4) переход сплава из равновесного в метастабильное состояние.

10. В области CBE (рисунок 3) состояние сплавов следующее:

- 1) жидкое состояние + компонент B;
- 2) компонент A + эвтектика;
- 3) твердый раствор + эвтектика;
- 4) полностью жидкое.

11. Сплав 1 (рисунок 3) содержит металла A:

- 1) 20 %;
- 2) 40 %;
- 3) 60 %;
- 4) 80 %.

12. По линии AC диаграммы (рисунок 3) происходит:

- 1) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента B;

- 2) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента A;
- 3) кристаллизация жидкого сплава в виде эвтектики;
- 4) кристаллизация жидкого сплава в виде твердого раствора.

13. По линии CB диаграммы (рисунок 3) происходит:

- 1) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента B;
- 2) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента A;
- 3) кристаллизация жидкого сплава в виде эвтектики;
- 4) кристаллизация жидкого сплава в виде твердого раствора.

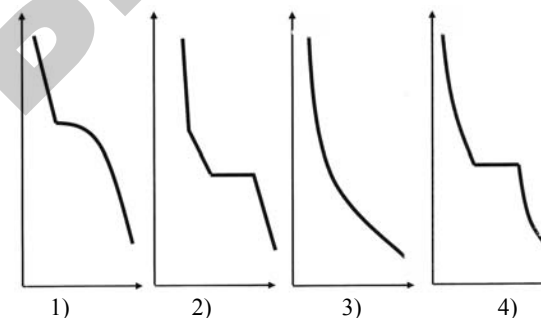


Рисунок 2. Типовые кривые охлаждения

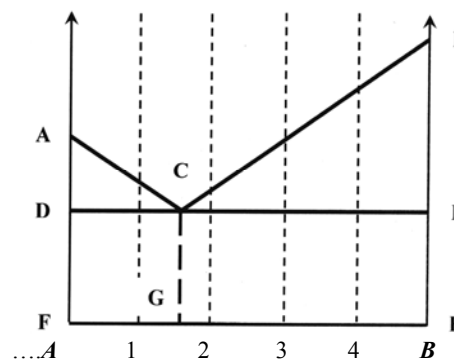


Рисунок 3. Вид диаграммы состояния сплавов с эвтектикой

14. По линии DCE диаграммы (рисунок 3) происходит:

- 1) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента B;
- 2) кристаллизация жидкого сплава в виде компонента A;

- 3) эвтектическое превращение;
- 4) образование твердого раствора.

15. Линией солидус на диаграмме (рисунок 3) является линия:

- 1) ACB ;
- 2) BEK ;
- 3) CG ;
- 4) DCE .

16. Линией ликвидус на рисунке 3 обозначена:

- 1) DCE ;
- 2) ACB ;
- 3) CG ;
- 4) такой линии нет.

17. Определить кривую охлаждения, соответствующую выбранному сплаву K (рисунок 4):

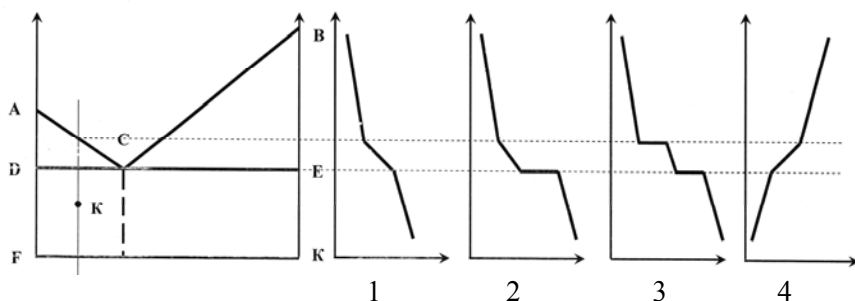


Рисунок 4. К выбору кривой охлаждения для сплава точки K

18. Состав эвтектики в точке K (рисунок 4):

- 1) соответствует составу эвтектики данной диаграммы;
- 2) состоит из 10 % металла A и 90 % металла B ;
- 3) состоит из чистого металла B ;
- 4) по диаграмме это определить нельзя.

19. Термопара представляет:

- 1) один проводник;
- 2) два проводника из одинакового материала, спаянных с одного конца;
- 3) два проводника из одного материала;
- 4) два разнородных проводника, спаянных с одного конца.

20. Для измерения температуры используются следующие свойства термопары:

- 1) изменение электрического сопротивления при нагреве;
- 2) изменение длины при нагреве;

- 3) изменение химического состава при нагреве;
- 4) создание ЭДС при нагреве.

21. К материалу проволок термопары предъявляются следующие требования:

- 1) проволоки должны быть из одинакового специального сплава;
- 2) проволоки должны быть из одного и того же чистого металла;
- 3) проволоки должны быть из разных специальных материалов;
- 4) пригодны любые неметаллические материалы.

22. Термопару применяют к следующему прибору:

- 1) к омметру;
- 2) к милливольтметру пирометрическому;
- 3) к амперметру;
- 4) термопару не присоединяют к прибору, о температуре судят по цвету термопары.

23. Величина ЭДС термопары зависит:

- 1) от температуры нагретых концов;
- 2) от суммы температур нагретых и холодных концов;
- 3) от разности температур нагретых и холодных концов;
- 4) термопара не создает ЭДС.

**АНАЛИЗ ДИАГРАММ
СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО–УГЛЕРОД»**

1. Ферритом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектическая смесь перлита с цементитом.

2. Аустенитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита с цементитом.

3. Цементитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

4. Перлитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

5. Линия ликвидус диаграммы состояния сплавов «железо–цементит» (здесь и далее рисунок 5) обозначена буквами:

- 1) *ABCD*; 2) *AHIECF*; 3) *PSK*; 4) *ECF*.

6. Состав жидкой фазы при кристаллизации аустенита меняется по следующей линии диаграммы состояния сплавов «железо–цементит»:

- 1) *IE*; 2) *BC*; 3) *ECF*; 4) состав жидкой фазы не меняется.

7. Количество углерода в эвтектическом сплаве диаграммы состояния сплавов «железо – цементит» составляет:

- 1) 0,8 %; 2) 2,14 %; 3) 4,3 %; 4) 6,67 %.

8. Предельная концентрация углерода в аустените достигается при температуре:

- 1) 727 °C; 2) 910 °C; 3) 1147 °C; 4) 1539 °C.

9. При постоянной температуре кристаллизуется следующий железоуглеродистый сплав:

- 1) с 4,3 % углерода;
- 2) с 2,14 % углерода;
- 3) сталь 20;
- 4) таких сплавов очень много.

10. Содержание углерода (в %) в ледебурите составляет:

- 1) 0,2 %; 2) 0,8 %; 3) 2,14 %; 4) 4,3 %.

11. Температура образования эвтектоида составляет:

- 1) 1539 °C; 2) 1147 °C; 3) 727 °C; 4) эвтектоид образуется в интервале температур, а не при какой-то определенной.

12. Начало кристаллизация стали с 0,5 % C происходит с температуры (примерно):

- 1) 1500 °C; 2) 1300 °C; 3) 750 °C; 4) 700 °C.

13. При кристаллизации стали с 0,7 % C из жидкого расплава появляется следующая твердая фаза:

- 1) феррит; 2) аустенит; 3) цементит; 4) ледебурит.

14. Кристаллы аустенита у сплава с 2,2 % углерода при температуре 1147 °C содержат углерода:

- 1) 0,8 %; 2) 2,14 %; 3) 4,3 %; 4) сплав при этой температуре не имеет аустенита.

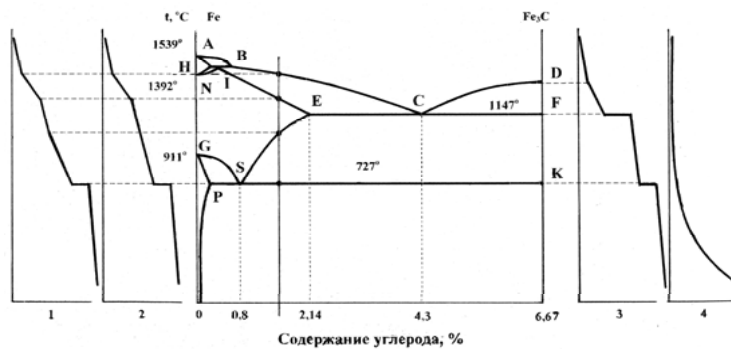


Рисунок 5. Диаграмма состояния сплавов «железо–цементит»

15. Сталь с 1,0 % C при температуре 1400 °C состоит из:

- 1) цементита + жидкого сплава;
- 2) перлита + цементита вторичного;
- 3) перлита + ледебурита + цементита вторичного;
- 4) аустенита + жидкого сплава.

16. Критическим точкам A_{C3} соответствует следующая линия диаграммы «железо–цементит»:

- 1) PS ;
- 2) SE ;
- 3) GS ;
- 4) ECF .

17. Начиная с линии SE диаграммы состояния сплавов «железо–цементит» при охлаждении происходит следующее превращение в сплавах:

- 1) выделение избыточного феррита;
- 2) образование перлита;
- 3) образование ледебурита;
- 4) выделение вторичного цементита.

18. Ледебурит при температуре 1000 °C представляет собой:

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый раствор углерода в α -железе;
- 3) химическое соединение Fe_3C ;
- 4) механическую смесь аустенита с цементитом.

19. В сплаве с 2,14 % углерода в интервале температур 1300–1200 °C при охлаждении происходит:

- 1) образование эвтектики – ледебурита;
- 2) кристаллизация цементита;
- 3) кристаллизация аустенита;
- 4) образование эвтектоида – перлита.

20. В сплаве с 3 % углерода в интервале температур 1147–727 °C при охлаждении происходит:

- 1) выделение вторичного цементита;
- 2) образование ледебурита;
- 3) переход аустенита в перлит;
- 4) в этом интервале температур никаких структурных превращений не происходит.

21. Структуру феррит + перлит могут иметь следующие сплавы:

- 1) доэвтектоидные стали;
- 2) заэвтектоидные стали;
- 3) доэвтектические чугуны;
- 4) заэвтектические чугуны.

22. В железоуглеродистых сплавах при переходе температуры 727 °C во время охлаждения происходит:

- 1) полная кристаллизация жидкого расплава;
- 2) переход аустенита в перлит;
- 3) переход перлита в аустенит;
- 4) выделение вторичного цементита.

23. Третичный цементит образуется:

- 1) при кристаллизации жидкого расплава;
- 2) при понижении растворимости углерода в феррите;
- 3) при понижении растворимости углерода в аустените;
- 4) при аллотропическом (полиморфном) превращении γ -железа в α -железо.

24. Форма кристаллической решетки α -железа:

- 1) объемно-центрированная кубическая;
- 2) гранцентрированная кубическая;
- 3) гексагональная;

**ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ
И ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ
СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ**

4) тетрагональная.

25. Форма кристаллической решетки γ -железа:

- 1) объемно-центрированная кубическая;
- 2) гранецентрированная кубическая;
- 3) гексагональная;
- 4) тетрагональная.

26. Максимальная растворимость углерода в α -железе:

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

27. Максимальная растворимость углерода в γ -железе:

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

28. Содержание углерода в перлите составляет:

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

29. Содержание углерода в цементите составляет:

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

30. Аллотропическая форма чистого железа при 750 °C обозначается:

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) δ .

31. Аллотропическая форма чистого железа при 1000 °C обозначается:

- 1) α ;
- 2) β ;
- 3) γ ;
- 4) δ .

32. Температура плавления чистого железа:

- 1) 768 °C;
- 2) 910 °C;
- 3) 1401 °C;
- 4) 1539 °C.

33. В перлите содержится:

- 1) одна фаза;
- 2) две фазы;
- 3) три фазы;
- 4) четыре фазы.

34. Структура перлита образуется при температуре:

- 1) 727 °C;
- 2) 910 °C;
- 3) 1147 °C;
- 4) 1539 °C.

1. Структура доэвтектоидной стали состоит из:

- 1) цементита;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

2. Структура эвтектоидной стали состоит из:

- 1) феррита и цементита третичного;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

3. Структура заэвтектоидной стали состоит из:

- 1) феррита и перлита;
- 2) феррита и цементита третичного;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

4. Структура эвтектоидной стали представлена на рисунке б:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

5. Структуру доэвтектоидной стали представлена на рисунке б:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

6. Структуру заэвтектоидной стали представлена на рисунке б:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

7. Структура технически чистого железа представлена на рисунке б:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

8. Сера оказывает следующее влияние на свойства стали:

- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;

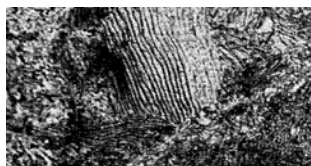
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает пластичность.

9. Фосфор оказывает следующее влияние на свойства стали:

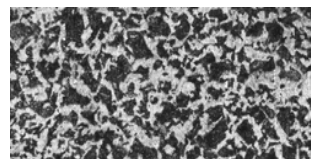
- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает пластичность.

10. Структура серого чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.



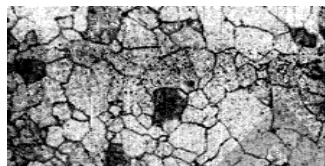
а)



б)



в)



г)

Рисунок 6. Микроструктура углеродистых сталей, x240

11. Структура серого чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

12. Структура ковкого чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

13. Структура белого доэвтектического чугуна состоит из:

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита пластинчатого.

14. Структура серого чугуна на перлитной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

15. Структура белого заэвтектического чугуна состоит из:

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

16. Структура высокопрочного чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита пластинчатого.

17. Структура высокопрочного чугуна на перлитной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) перлита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

18. Структура эвтектического белого чугуна изображена на рисунке 7:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

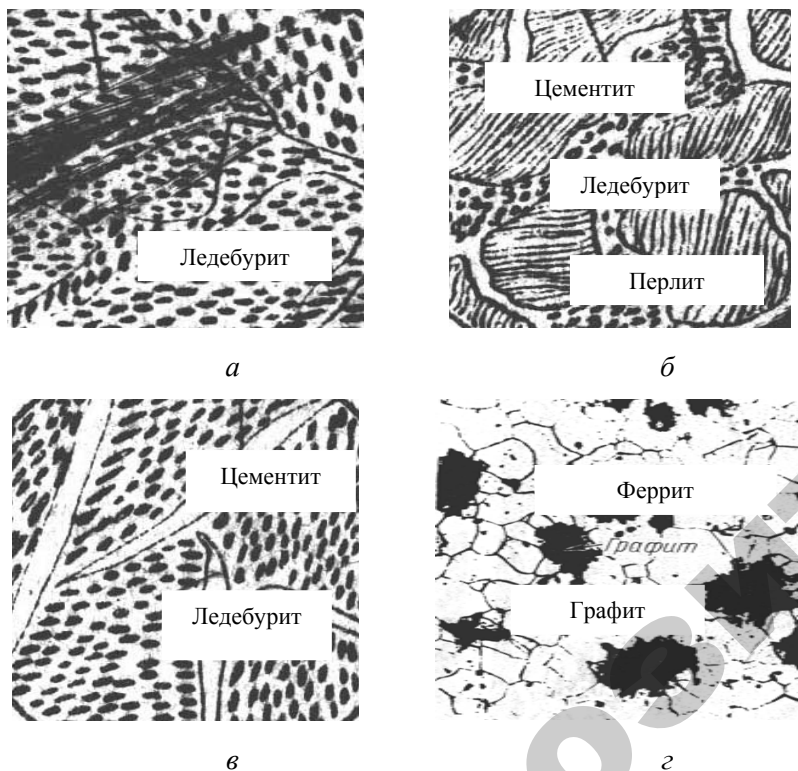


Рисунок 7. Микроструктура чугунов, х240

18. Структура доэвтектического белого чугуна изображена на рисунке 7:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

19. Структура ковкого чугуна на ферритной основе изображена на рисунке 7:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

20. Структура заэвтектического белого чугуна изображена на рисунке 7:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

21. Структура ковкого чугуна на перлитной основе изображена на рисунке 7:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

22. Структура серого чугуна на ферритной основе изображена на рисунке 8:

- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.

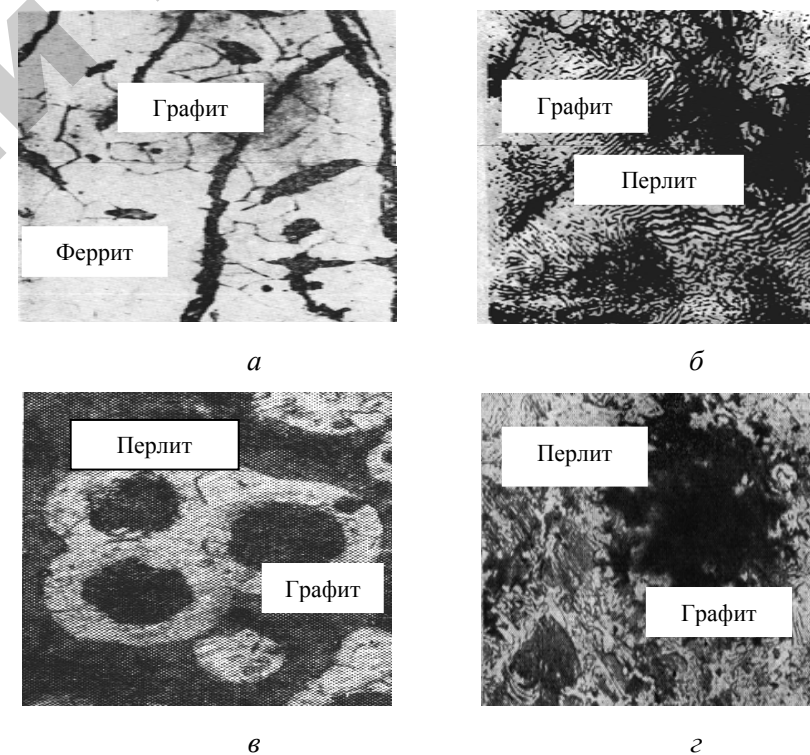


Рисунок 8. Микроструктура чугунов, х240

23. Структура высокопрочного чугуна на перлитной основе изображена на рисунке 8:

- 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

24. Структура серого чугуна на перлитной основе изображена на рисунке 8:

- 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

25. Структура белых чугунов формируется в следующих условиях:

- 1) быстрое охлаждение в металлической изложнице;
2) медленное охлаждение в земляной форме;
3) путем отжига белого чугуна;
4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

26. Структура ковкого чугуна формируется в следующих условиях:

- 1) быстрое охлаждение в металлической изложнице;
2) медленное охлаждение в земляной форме;
3) путем отжига из белого чугуна;
4) модифицированием жидкого чугуна магнием

27. Структура серого чугуна с пластинчатым графитом формируется в следующих условиях:

- 1) быстрое охлаждение в металлической форме;
2) медленное охлаждение в земляной форме;
3) отжигом белого чугуна;
4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

28. Структура высокопрочного чугуна с шаровидным графитом формируется в следующих условиях:

- 1) при быстром охлаждении в металлической форме;
2) при медленном охлаждении в земляной форме;
3) при отжиге деталей, изготовленных из белого чугуна;
4) путем модифицирования жидкого серого чугуна магнием.

29. Форма графита в высокопрочном чугуне:

- 1) пластинчатая; 2) шаровидная; 3) хлопьевидная; 4) графита нет.

30. Форма графита в сером чугуне:

- 1) пластинчатая;
2) шаровидная;
3) хлопьевидная;
4) графита нет.

31. Полностью раскисленной является сталь:

- 1) СтЗпс; 2) Стбсп; 3) Ст1кп; 4) среди перечисленных нет.

32. Маркировка материала СтЗпс принадлежит:

- 1) качественной конструкционной стали;
2) качественной инструментальной стали;
3) стали обыкновенного качества;
4) легированной стали.

33. Углеродистой качественной конструкционной стали принадлежит следующая маркировка:

- 1) сталь У12; 2) сталь 30Х13; 3) сталь 45; 4) сталь Ст2кп.

34. Инструментальной углеродистой сталью является:

- 1) сталь У8А;
2) сталь 65;
3) сталь 12Х18Н10Т;
4) сталь Р6М5.

35. 1,2 % углерода может иметь следующий материал:

- 1) сталь обыкновенного качества;
2) качественная конструкционная сталь;
3) углеродистая инструментальная сталь;
4) ковкий чугун.

36. Первое число марки ковкого чугуна КЧ 33-8 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм²;
2) предел прочности при изгибе, кгс/см²;
3) относительное удлинение, %;
4) относительное сужение, %.

37. Первое число марки высокопрочного чугуна ВЧ 60-3 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм²;
2) предел прочности при изгибе, кгс/мм²;

ЗАКАЛКА И ОТПУСК СТАЛЕЙ

- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

38. Первое число марки серого чугуна СЧ 20 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм²;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/мм²;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

39. Первые цифры в маркировке высокопрочного чугуна ВЧ 60 означают:

- 1) прочность чугуна при изгибе;
- 2) удлинение чугуна при растяжении;
- 3) прочность чугуна при растяжении;
- 4) количество углерода в чугуне.

40. Более пластичным из чугунов СЧ 35, ВЧ 60, КЧ 55-4 является:

- 1) серый;
- 2) ковкий;
- 3) высокопрочный;
- 4) сравнить невозможно, так как в маркировке серого чугуна пластичность не указывается.

41. Относительное удлинение, равное 8 % при разрыве имеет следующий материал:

- 1) КЧ33-8; 2) ВК8; 3) сталь 08; 4) сталь У8.

42. Относительное удлинение при растяжении у ковкого чугуна КЧ 30-6 составляет:

- 1) 6 %;
- 2) 30 %;
- 3) в маркировке не указывается удлинение;
- 4) это чугун не ковкий.

1. Трооститом называют:

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый пересыщенный раствор углерода в α -железе;
- 3) твердый раствор углерода в α -железе;
- 4) химическое соединение углерода с железом.

2. Мартенситом называют:

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый пересыщенный раствор углерода в α -железе;
- 3) твердый раствор внедрения углерода в γ -железе;
- 4) химическое соединение железа с углеродом.

3. Структурой бездиффузионного превращения аустенита является:

- 1) цементит; 2) троостит; 3) мартенсит; 4) сорбит.

4. Меньшую по сравнению с сорбитом твердость имеет структура:

- 1) мартенсит; 2) цементит; 3) троостит; 4) перлит.

5. Наиболее твердой является структура:

- 1) троостит; 2) феррит; 3) сорбит; 4) мартенсит.

6. Наиболее хрупкой является структура:

- 1) сорбит; 2) троостит; 3) перлит; 4) мартенсит.

7. Наименьшая скорость охлаждения при термической обработке может быть получена:

- 1) на воздухе; 2) вместе с печью; 3) в воде; 4) в масле.

8. В качестве охлаждающей среды при закалке углеродистой стали используют воду для получения следующей структуры:

- 1) цементита; 2) сорбита; 3) троостита; 4) мартенсита.

9. Критическая скорость закалки это:

- 1) наименьшая скорость получения чистого мартенсита;
- 2) скорость, при которой образуется трещина;
- 3) характеристика охлаждающей среды;
- 4) наибольшая из возможных скоростей охлаждения.

10. Нагрев доэвтектоидной стали на 30–50 °С выше температуры точек A_{C3} с последующим охлаждением на воздухе соответствует следующей термической операции:

- 1) нормализации;
- 2) закалке;
- 3) отпуску;
- 4) диффузионному отжигу.

11. Неполная закалка это:

- 1) закалка с охлаждением стали со скоростью менее критической с температур выше линии GSK ;
- 2) закалка с нагревом выше линии PSK , но ниже линии GSE диаграммы;
- 3) закалка с нагревом выше линии GSE диаграммы;
- 4) закалка только поверхности детали.

12. Отпуском называют:

- 1) нагрев стали выше линии GSK с быстрым охлаждением;
- 2) нагрев закаленной стали до температур ниже линии PSK с последующим охлаждением;
- 3) нагрев стали выше линии GSK с медленным охлаждением;
- 4) нагрев стали выше линии GSE с медленным охлаждением.

13. Нагрев заэвтектоидной стали до температуры выше линии SK , но ниже SE с последующим охлаждением в воде соответствует следующей термической операции:

- 1) полной закалке;
- 2) нормализации;
- 3) отжигу;
- 4) неполной закалке.

14. Сталь У13, нагретая до температуры 650 °С и охлажденная в масле, будет иметь структуру:

- 1) мартенсит + цементит вторичный;

- 2) троостит;
- 3) перлит + цементит вторичный;
- 4) сорбит.

15. Для полной закалки стали 40 необходимая температура нагрева составляет:

- 1) 650 °С;
- 2) 750 °С;
- 3) 850 °С;
- 4) 1050 °С.

16. Для закалки стали У11 рекомендуют следующую температуру нагрева:

- 1) 1147 °С;
- 2) 910 °С;
- 3) 780 °С;
- 4) 560 °С.

17. Для среднего отпуска углеродистой стали используют следующую температуру нагрева:

- 1) 910 °С;
- 2) 780 °С;
- 3) 600 °С;
- 4) 400 °С.

18. Сталь У12 после неполной закалки будет иметь следующую структуру:

- 1) перлит + цементит вторичный;
- 2) мартенсит + феррит;
- 3) мартенсит;
- 4) мартенсит + цементит вторичный.

19. Сталь 50 после полной закалки может иметь твердость:

- 1) 56 HRC;
- 2) 30 HRC;
- 3) 250 HB;
- 4) 90 HRB.

20. Сталь У10 после нормализации будет иметь структуру:

- 1) феррит + перлит;
- 2) мартенсит + цементит вторичный;
- 3) мартенсит + феррит;
- 4) перлит + цементит вторичный.

21. Сталь 45 после закалки и среднего отпуска будет иметь структуру:

- 1) сорбит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

22. Сталь У8 после закалки и высокого отпуска будет иметь структуру:

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) сорбит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

23. Закаленная сталь У10 после низкого отпуска будет иметь твердость (примерно):

- 1) 60 HRC;
- 2) 50 HRC;
- 3) 40 HRC;
- 4) 30 HRC.

24. Сталь У12 после закалки и низкого отпуска будет иметь структуру:

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска + цементит;
- 3) сорбит отпуска;
- 4) троостит отпуска.

25. После закалки напильника из стали У11 необходимо провести:

- 1) отжиг;
- 2) высокий отпуск;
- 3) низкий отпуск;
- 4) нормализацию.

26. Закалка со средним отпуском требуется для изделия:

- 1) сверло;
- 2) метчик;
- 3) пружина;
- 4) напильник.

27. Сорбитную структуру должна иметь следующая из перечисленных деталей автомобиля:

- 1) шестерня коробки передач;
- 2) лист рессоры;
- 3) шатун;
- 4) крестовина карданного вала.

28. Термическая обработка метчика из стали У12А для нарезания резьбы заключается в:

- 1) закалке + высоком отпуске;
- 2) закалке + низком отпуске;
- 3) закалке + нормализации;

4) нормализации.

29. Причиной образования трещин при закалке является:

- 1) слишком низкая скорость охлаждения;
- 2) повышенная температура нагрева;
- 3) малое количество углерода в стали;
- 4) слишком низкая температура нагрева.

30. Причиной недостаточной твердости стали после закалки и отпуска может быть:

- 1) слишком высокая температура нагрева для закалки;
- 2) малая температура отпуска;
- 3) слишком высокая температура отпуска;
- 4) слишком высокая скорость охлаждения при закалке.

31. Причиной коробления деталей при закалке может быть:

- 1) недостаточная температура нагрева;
- 2) неправильное погружение детали в охлаждающую среду;
- 3) недостаточная температура отпуска;
- 4) недостаточная скорость охлаждения при закалке.

32. Причиной слишком высокой твердости после закалки и отпуска может быть:

- 1) недостаточная температура отпуска;
- 2) недостаточная скорость охлаждения при закалке;
- 3) слишком высокая температура отпуска;
- 4) слишком высокая скорость охлаждения при закалке.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

1. Сущность процесса цементации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя углеродом с последующей закалкой;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом и азотом.

2. Для цементации применяется следующая марка стали:

- 1) сталь 60;
- 2) сталь У10;
- 3) сталь 20;
- 4) сталь 40Х13.

3. После цементации производится следующая термическая обработка:

- 1) закалка + низкий отпуск;
- 2) отпуск;
- 3) отжиг;
- 4) нормализация.

4. Микроструктура поверхностного слоя стали после цементации (до закалки) представляет собой:

- 1) перлит и цементит;
- 2) феррит и перлит;
- 3) аустенит и феррит;
- 4) перлит.

5. Температура нагрева углеродистой стали под цементацию до закалки равна:

- 1) 210 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 1147 °С;
- 4) 920 °С.

6. Высокая твердость поверхностного слоя при цементации углеродистой стали с последующей закалкой обусловлена:

- 1) образованием нитридов железа;
- 2) образованием мартенсита с содержанием углерода до 1 %;
- 3) образованием наклепанной поверхности;
- 4) образованием карбидов хрома и вольфрама.

7. В поверхностном слое детали при цементации содержание углерода:

- 1) сохраняется постоянным;
- 2) изменяется;
- 3) увеличивается до 1 % углерода;
- 4) уменьшается до 0,1 % углерода.

8. Поверхностный слой детали при цементации насыщают следующим элементом:

- 1) азотом;
- 2) углеродом;
- 3) кремнием;
- 4) хромом.

9. Содержание углерода в поверхностном слое стали после цементации составляет:

- 1) 0,2 %;
- 2) до 0,5 %;
- 3) до 1 %;
- 4) до 1,3 %.

10. Структура стали после цементации и последующей закалки представляет собой:

- 1) на поверхности – мартенсит, в сердцевине – феррит и перлит;
- 2) на поверхности – цементит, в сердцевине феррит и аустенит;
- 3) на поверхности – перлит и цементит, в сердцевине – мартенсит;
- 4) на поверхности – аустенит, в сердцевине – перлит.

11. Сущность процесса нитроцементации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом в жидкой среде;
- 3) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом в газовой среде;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом.

12. Основным назначением нитроцементации является:

- 1) повышение режущих свойств инструмента из быстрорежущей стали за счет нитридов;
- 2) получение в поверхностном слое детали азотистого мартенсита;
- 3) получение в поверхностном слое аустенитной структуры;
- 4) насыщение поверхностного слоя различными металлами.

13. Высокая твердость поверхностного слоя детали при азотировании обусловлена:

- 1) высоким содержанием углерода;
- 2) образованием нитридов углерода, хрома, молибдена, алюминия;
- 3) образованием мартенсита;
- 4) образованием цементита.

14. Сущность процесса азотирования заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя бором;
- 4) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом.

15. Азотирование производится при температуре:

- 1) 550 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 910 °С;
- 4) 1400 °С.

16. Для азотирования можно применять следующий материал:

- 1) сталь 60;
- 2) сталь У11;
- 3) сталь 38ХМЮА;
- 4) сталь Ст5сп.

17. Поверхностный слой детали при азотировании насыщают следующим элементом:

- 1) азотом и углеродом;
- 2) азотом воздуха;
- 3) атомарным азотом;
- 4) окислами азота.

18. Для азотирования можно применять следующую сталь:

- 1) сталь 45;
- 2) сталь 35ХМЮА;
- 3) сталь Ст6сп;
- 4) сталь 40Х13.

19. Основное назначение хромирования изделий из малоуглеродистой стали (до 0,2 % углерода) заключается:

- 1) в повышении поверхностной твердости;
- 2) в резком повышении коррозионной стойкости;
- 3) в повышении пластичности поверхностного слоя;

- 4) в повышении предела прочности стали.

20. Основное назначение процесса силицирования заключается:

- 1) в повышении жаростойкости;
- 2) в повышении жаростойкости и коррозионной стойкости;
- 3) в улучшении обрабатываемости резанием;
- 4) в улучшении свариваемости.

21. Основное назначение процесса алитирования заключается:

- 1) в повышении окалинстойкости деталей за счет образования на поверхности пленки окиси алюминия;
- 2) в повышении твердости сердцевины детали;
- 3) в повышении дисперсности закаленных деталей;
- 4) в образовании на поверхности детали мартенсита.

22. Сущность процессов диффузионной металлизации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя стали различными газами;
- 3) в насыщении поверхностного слоя стали различными металлами;
- 4) в насыщении поверхностного слоя стали окислами металлов.

23. Сущность процесса цианирования заключается:

- 1) в одновременном насыщении поверхности стали углеродом и азотом (в жидкой среде);
- 2) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 4) в насыщении поверхностного слоя кремнием.

24. Основным назначением процесса борирования является:

- 1) повышение окалинстойкости;
- 2) повышение износостойкости;
- 3) повышение износостойкости и жаростойкости;
- 4) повышение износостойкости, жаростойкости и коррозионной стойкости поверхностного слоя детали.

25. Сущность процесса поверхностного упрочнения путем заковки с нагревом ТВЧ заключается:

- 1) в проведении отпуска нагревом ТВЧ после заковки;

2) в насыщении поверхностного слоя азотом после нагрева ТВЧ;
3) в нагреве поверхностного слоя среднеуглеродистой стали ТВЧ до аустенитного состояния с последующим охлаждением для получения мартенсита отпуска;

4) в насыщении поверхностного слоя детали углеродом с последующим нагревом ТВЧ.

26. Нагрев поверхностного слоя деталей при применении ТВЧ вызван:

1) прохождением тока через деталь;
2) изменением величины напряжения;
3) постоянным магнитным полем на поверхности детали;
4) индукцированием вихревых токов в высокочастотном магнитном поле.

27. На поверхности детали получается структура аустенита и феррита при следующем режиме нагрева ТВЧ:

1) при нагреве выше A_{C3} ;
2) при нагреве ниже A_{C1} ;
3) при нагреве выше A_{C1} , но ниже A_{C3} ;
4) при нагреве ниже A_{Cm} .

28. Содержание углерода в поверхностном слое детали при закалке с нагревом током высокой частоты (ТВЧ):

1) не изменяется;
2) увеличивается, так как при нагреве происходит насыщение углеродом воздуха;
3) уменьшается, так как при длительном нагреве выгорает углерод;
4) зависит от конфигурации и толщины детали.

29. Микроструктура поверхностного слоя стали после нагрева ТВЧ (до охлаждения) представляет собой:

1) аустенит;
2) цементит и перлит;
3) перлит;
4) феррит и перлит.

30. Для нагрева поверхности детали ТВЧ на глубину до 1 мм применяется следующее оборудование:

1) тигельные печи сопротивления;

2) машинные генераторы;
3) ламповые генераторы;
4) муфельные печи.

31. На толщину упрочненного слоя при закалке с нагревом ТВЧ влияет следующий основной фактор:

1) напряжение тока на концах индуктора;
2) сила тока, проходящего через генератор;
3) частота тока, проходящего по индуктору;
4) толщина стенок и форма индуктора.

32. Для нагрева поверхности детали под закалку ТВЧ на большую глубину (более 1 мм) применяется следующее оборудование:

1) тигельные печи сопротивления;
2) машинные генераторы;
3) ламповые генераторы;
4) муфельные печи сопротивления.

33. Для поверхностной закалки с нагревом ТВЧ может применяться сталь следующей марки:

1) сталь 20; 2) сталь 45; 3) сталь У11; 4) сталь Ст6сп.

**МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА
И ПРИМЕНЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

1. Силумину принадлежит следующая маркировка:

- 1) БрАЖ9-4; 2) Л90; 3) КЧ37-12; 4) АК12.

2. Алюминиевый сплав может маркироваться:

- 1) Л80; 2) Д16; 3) Т15К6; 4) СЧ30.

3. Силумин может иметь маркировку:

- 1) АК7ч; 2) Л68; 3) Д1; 4) Т30К4.

4. В бронзе БрОЦС 3-12-5 содержание меди составляет:

- 1) 3 %; 2) 5 %; 3) 12 %; 4) 80 %.

5. В одном из представленных сплавов (АК7ч, Л96, Л70, СЧ15) содержание цинка составляет:

- 1) 9 %; 2) 15 %; 3) 30 %; 4) 70 %.

6. Латунью является сплав меди с:

- 1) железом; 2) свинцом; 3) оловом; 4) цинком.

7. Маркировку Д20 имеет следующий сплав:

- 1) сплав алюминия с медью и магнием;
2) быстрорежущая сталь;
3) сплав меди с цинком – латунь;
4) такой марки не может быть.

8. Сплав меди с оловом, меди с алюминием и другими элементами называется:

- 1) силумином;
2) бронзой;
3) латунью;
4) твердыми сплавами.

9. Алюминий с содержанием примесей 0,2 % маркируется:

- 1) А8; 2) А7; 3) А6; 4) А0.

10. Сплав марки Б83 имеет состав:

- 1) бронза с 83 % олова;
2) баббит с 17 % олова;
3) бронза с 83 % меди;
4) баббит с 83 % олова.

11. В марке М2 содержание меди составляет:

- 1) 99,99 %; 2) 99,9 %; 3) 99,7 %; 4) 99,5 %.

12. В марке М1 содержание меди составляет:

- 1) 99,99 %; 2) 99,9 %; 3) 99,7 %; 4) 99,5 %.

13. Алюминий, содержащий 1,0 % примесей, маркируется:

- 1) А95; 2) А85; 3) А5; 4) А0.

14. В марке М0 содержание меди составляет:

- 1) 99,99 %; 2) 99,95 %; 3) 99,9 %; 4) 99,0 %.

15. Алюминий, содержащий 0,05 % примесей, маркируется:

- 1) А95; 2) А85; 3) А9; 4) А0.

16. На изготовление подшипника скольжения идет сплав:

- 1) БрБ2; 2) Б83; 3) Л68; 4) АК12.

17. Для изготовления деталей деформированием применяют сплав:

- 1) АК12; 2) СЧ20; 3) Д16; 4) БрС30.

18. Для получения литых деталей применяют сплав:

- 1) АК12; 2) АК4; 3) Д16; 4) БрС30.

19. Сплав алюминия с кремнием называется:

- 1) бронза; 2) латунь; 3) силумин; 4) дюралюмин.

20. Микроструктура сплава АК12 модифицированного представляет собой:

- 1) твердый раствор;
2) твердый раствор α и интерметаллиды;
3) твердый раствор α и эвтектику;
4) эвтектику.

21. Микроструктура сплавов для подшипников скольжения должна быть:

- 1) однофазная, твердая;
- 2) двухфазная, мягкая основа и твердые включения;
- 3) однофазная, мягкая;
- 4) двухфазная, твердая основа и мягкие включения.

22. Сплав меди с цинком называется:

- 1) бронза; 2) латунь; 3) дюралюмин; 4) силумин.

23. Алюминиевые сплавы системы алюминий – кремний называются:

- 1) силумин; 2) дюралюмин; 3) латунь; 4) баббит.

24. Марка А999 относится к следующей группе (по чистоте):

- 1) химической чистоты;
- 2) высокой чистоты;
- 3) технической чистоты;
- 4) особой чистоты.

25. Алюминий имеет следующую кристаллическую решетку:

- 1) объемно - центрированную кубическую;
- 2) тетрагональную;
- 3) гранецентрированную;
- 4) гексагональную.

26. Медь имеет следующую кристаллическую решетку:

- 1) ОЦК; 2) ГЦК; 3) гексагональную; 4) тетрагональную.

27. Температура плавления алюминия равна:

- 1) 1083 °С; 2) 660 °С; 3) 419 °С; 4) 232 °С.

28. Температура плавления меди равна:

- 1) 1083 °С; 2) 660 °С; 3) 419 °С; 4) 232 °С.

29. Литую структуру и свойства силуминов улучшают:

- 1) литьем под давлением;
- 2) литьем в кокиль;
- 3) модифицированием цирконием;
- 4) уменьшением содержания кремния.

30. На электропроводность меди деформация оказывает следующее влияние:

- 1) не влияет;
- 2) увеличивает;
- 3) уменьшает;
- 4) при малой деформации (до 10 %) – увеличивает, а при большой – уменьшает.

31. В сплаве БрАЖ 9-4 содержание меди составляет:

- 1) 87 %; 2) 13 %; 3) 9 %; 4) 4 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторные работы и тестовые задания, рассмотренные в практикуме, позволяют студентам очной и заочной форм обучения вузов агроинженерного профиля освоить основы материаловедения, практические методы изучения структуры и механических свойств металлов, термической обработки железоуглеродистых и цветных сплавов.

Приведенные сведения и приемы определения структуры и свойств металлов и сплавов, методы термической обработки сталей могут быть использованы в их дальнейшей инженерной деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Практикум по технологии конструкционных материалов / под ред. В.Н. Ковалевского. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 288 с.
2. *Золоторевский, В.С.* Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
3. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / под общ. ред. С.С. Некрасова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.
4. *Андрушевич, А.А.* Материаловедение: учебн.-метод. комплекс / А.А. Андрушевич, Т.К. Романова. – Минск: БГАТУ, 2008. – 192 с.
5. *Капцевич, В.М.* Материаловедение и технология конструкционных материалов: методические указания к лабораторным работам для студентов заочной формы обучения / В.М. Капцевич, А.А. Андрушевич [и др.]. – Мн. БГАТУ, 2008. – 105 с.
6. ГОСТ 9012–59 (СТ СЭВ 468–77). Метод измерения твердости по Бринеллю. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 40 с.
7. ГОСТ 9013–59 (СТ СЭВ 469–77, ИСО 6508–88). Метод измерения твердости по Роквеллу. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.
- Метод измерения твердости по Роквеллу. ГОСТ 9013–59 (СТ СЭВ 469–77, ИСО 6508–88). – М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.
8. *Фетисов, Г.П.* Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман [и др.]. – М.: Высшая школа, 2005. – 861 с.
9. *Арзамасов, Б.Н.* Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина – 3-е изд., стереотип. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.
10. *Худокормова, Р.Н.* Материаловедение: лаб. практикум: учеб. пособие для вузов / Р.Н. Худокормова, Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: Выш. школа, 1988. – 224 с.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Основная литература

Андрушевич, А.А. Материаловедение: учеб.-метод. комплекс / А.А. Андрушевич, Т.К. Романова. – Минск: БГАТУ, 2008. – 192 с.

Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., стереотип. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.

Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Metallurgy, 1986. – 544 с.

Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для высш. технич. учебн. заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990. – 528 с.

Практикум по технологии конструкционных материалов / под ред. В.Н. Ковалевского. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 288 с.

Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / под общ. ред. С.С. Некрасова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.

Дополнительная литература

ГОСТ 9012–59 (СТ СЭВ 468–77). Метод измерения твердости по Бринеллю. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 40 с.

ГОСТ 9013–59 (СТ СЭВ 469–77, ИСО 6508–88). Метод измерения твердости по Роквеллу. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 11 с.

Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.

Испытание материалов: справочник / под ред. Х. Блюменауэра: пер с нем.; под ред. М.Л. Бернштейна. – Москва: Metallurgy, 1979. – 448 с.

Капцевич, В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: методические указания к лабораторным работам для студентов заочной формы обучения / В.М. Капцевич, А.А. Андрушевич [и др.]. – Мн.: БГАТУ, 2008. – 105 с.

Ржевская, С.В. Материаловедение: учебник для вузов / С.В. Ржевская – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Логос, 2004. – 424 с.

Савич, В.В. Спеченные порошковые материалы: методы и приборы контроля свойств исходных порошков, исследования структуры и эксплуатационных характеристик изделий из них / Савич В.В. [и др.]. – Минск: Тонпик, 2008. – 320 с.

Смирнов, М.А. Основы термической обработки стали / М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – Москва: Наука и технологии, 2002. – 420 с.

Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман [и др.]. – М.: Высшая школа, 2005. – 861 с.

Худокормова, Р.Н. Материаловедение: лаб. практикум: учеб. пособие для вузов / Р.Н. Худокормова, Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: Выш. школа., 1988. – 224 с.

Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. – Москва: Наука и технологии, 2004. – 1704 с.

**РЕКОМЕНДАЦИИ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

По каждой выполненной работе студентом оформляется отчет, который должен быть оформлен в соответствии с требованиями Стандарта предприятия СТП БАТУ 02-96 «Отчет по лабораторной работе и практическим занятиям».

В содержании отчета отражаются следующие основные моменты:

- 1) титульный лист с названием лабораторной работы. Титульный лист выполняется с указанием соответствующих надписей и приведен в приложении 2;
- 2) цель лабораторной работы;
- 3) краткие сведения из теории по теме выполняемой работы, порядок проведения экспериментов;
- 4) оборудование, приборы и инструменты, используемые при проведении лабораторной работы;
- 5) характеристика образцов до испытания (форма и геометрические размеры, материал);
- 6) результаты испытаний (журнал наблюдений, характеристика образцов после испытаний и т.п.);
- 7) обработка результатов испытаний, расчет характеристик и их анализ;
- 8) выводы по выполненной лабораторной работе;
- 9) список использованной литературы.

Для оформления отчета по лабораторным работам можно использовать отдельную тетрадь или листы форматом 210 x 297 мм, сброшюрованные в общепринятой форме или вложенные в отдельный файл. В конце семестра отчеты по всем лабораторным работам сдаются преподавателю.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология металлов»

Дисциплина «Материаловедение. ТКМ»
Раздел «Материаловедение»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ
И ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Отчет по лабораторной работе № 1

Исполнитель : студент группы 9 ТС
Иванова И.А.

Руководитель: преподаватель
Миранович А.В.

Минск 2009

Термины и пояснения к ним в соответствии с ГОСТ 1497-84

Термины	Пояснение
Начальная расчетная длина образца, l_0	Участок рабочей длины образца между нанесенными метками до испытания, на котором определяется удлинение
Конечная расчетная длина образца, l_K	Длина расчетной части образца после разрыва образца
Начальный диаметр образца, d_0	Диаметр рабочей части цилиндрического образца до испытания
Диаметр образца после разрыва, d_K	Минимальный диаметр рабочей части образца после разрыва
Начальная площадь поперечного сечения образца, F_0	Площадь поперечного сечения рабочей части образца до испытания
Площадь поперечного сечения образца после разрыва, F_K	Минимальная площадь поперечного сечения рабочей части образца после разрыва
Осевое растягивающее усилие, P	Усилие, действующее на образец, в данный момент испытания
Напряжение, σ	Напряжение, определяемое отношением осевого растягивающего усилия P к начальной площади поперечного сечения рабочей части образца F_0
Абсолютное удлинение образца, Δl	Приращение начальной расчетной длины образца в любой момент испытания
Предел пропорциональности, $\sigma_{пц}$	Напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между усилием и удлинением достигает такой величины, что тангенс угла наклона, образованного касательной к кривой «усилие - удлинение» в точке $P_{пц}$ с осью усилий увеличивается на 50 % от своего значения на упругом (линейном) участке
Модуль упругости, E	Отношение приращения напряжения к соответствующему приращению удлинения в пределах упругой деформации
Предел упругости, σ_y	Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % первоначальной расчетной длины образца
Предел текучести, σ_T	Наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающего усилия, когда остаточное удлинение достигает 0,2 % расчетной длины образца
Временное сопротивление (предел прочности), σ_B	Напряжение, соответствующее наибольшему усилию P_{max} предшествующему разрыву образца
Относительное удлинение после разрыва, δ	Отношение приращения расчетной длины образца ($l_K - l_0$) после разрушения к начальной расчетной длине l_0 , выраженное в процентах
Относительное сужение после разрыва, ψ	Отношение разности F_0 и минимальной F_K площади поперечного сечения образца после разрушения к начальной площади поперечного сечения образца F_0 , выраженное в процентах

Приложение 4

Твердость по Бринеллю

Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке P в кг			Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке P в кг		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
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 отыскания по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм — на 4. Например, для отпечатка диаметром 1,65 мм, полученного при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 750 кг, число твердости следует искать в таблице для отпечатка 3,30 мм ($2,165 = 3,30$); оно равно 341.

Приложение 5

Соотношение чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу

Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю ($D=10$ мм; $P=3000$ кг)		Твердость по Роквеллу. Шкала			Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю ($D=10$ мм; $P=3000$ кг)		Твердость по Роквеллу. Шкала		
	Диаметр отпечатка, мм	Число твердости	C (150 кг)	B (100 кг)	A (60 кг)		Диаметр отпечатка, мм	Число твердости	C (150 кг)	B (100 кг)	A (60 кг)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1224	2,20	780	72	-	84	228	4,00	229	20	100	61
1116	2,25	745	70	-	83	222	4,05	223	19	99	60
1022	2,30	712	68	-	82	217	4,10	217	17	98	60
941	2,35	682	66	-	81	213	4,15	212	15	97	59
868	2,40	653	64	-	80	208	4,20	207	14	95	59
804	2,45	627	62	-	79	201	4,25	201	13	94	58
746	2,50	601	60	-	78	197	4,30	197	12	93	58
694	2,55	578	58	-	78	192	4,35	192	11	92	57
650	2,60	555	56	-	77	186	4,40	187	9	91	57
606	2,65	534	54	-	76	183	4,45	183	8	90	56
587	2,70	514	52	-	75	178	4,50	179	7	90	56
551	2,75	495	50	-	74	174	4,55	174	6	89	55
534	2,80	477	49	-	74	171	4,60	170	4	88	55
502	2,85	461	48	-	73	166	4,65	167	3	87	54
474	2,90	444	46	-	73	162	4,70	163	2	86	53
460	2,95	429	45	-	72	159	4,75	159	1	85	53
435	3,00	415	43	-	72	155	4,80	156	0	84	52
423	3,05	401	42	-	71	152	4,85	152	-	83	-
401	3,10	388	41	-	71	149	4,90	149	-	82	-
390	3,15	375	40	-	70	148	4,95	146	-	81	-
380	3,20	363	39	-	70	143	5,00	143	-	80	-
361	3,25	352	38	-	69	140	5,05	140	-	79	-
344	3,30	341	36	-	68	138	5,10	137	-	78	-
334	3,35	331	35	-	67	134	5,15	134	-	77	-
320	3,40	321	33	-	67	131	5,20	131	-	76	-
311	3,45	311	32	-	66	129	5,25	128	-	75	-
303	3,50	302	31	-	66	127	5,30	126	-	74	-
292	3,55	293	30	-	65	123	5,35	123	-	73	-
285	3,60	285	29	-	65	121	5,40	121	-	72	-
278	3,65	277	28	-	64	118	5,45	118	-	71	-

Окончание приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
270	3,70	269	27	-	64	116	5,50	116	-	70	-
261	3,75	262	26	-	63	115	5,55	114	-	68	-
255	3,80	255	25	-	63	113	5,60	111	-	67	-
249	3,85	248	24	-	62	110	5,65	110	-	66	-
240	3,90	241	23	102	62	109	5,70	109	-	65	-
235	3,95	235	21	101	61	108	5,75	107	-	64	-

Учебное издание

Андрушевич Андрей Александрович,
Романова Татьяна Константиновна

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск *В.М. Капцевич*

Редактор *Н.А. Антипович*

Компьютерная верстка *Е.Н. Дайнеко, А.И. Стебуля*

Подписано в печать 29.10.2009 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Офсетная печать.

Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 8,18. Тираж 200 экз. Заказ 940.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.

ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.