

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Матвеев Александр Сергеевич
Должность: И.о. начальника учебно-методического управления
Дата подписания: 13.12.2023 15:58:15
Уникальный программный ключ:
49d4975003175f861cc35192626270715c

Приложение к ППСЗ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине
ОП.06 «Материаловедение»

**специальность: 15.02.10 Мехатроника и
мобильная робототехника (по отраслям)**

форма обучения: очная

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ подготовлены на основе рабочей программы учебной дисциплины ОП.06 «Материаловедение» разработанной на основе ФГОС СПО по специальности 15.02.10 «Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)», входящей в укрупнённую группу специальностей 15.00.00 «Машиностроение» и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

ПК 2.1. Осуществлять техническое обслуживание компонентов и модулей мехатронных систем в соответствии с технической документацией

ПК 5.3. Осуществлять техническое обслуживание компонентов и модулей мобильных робототехнических комплексов в соответствии с технической документацией.

При выполнении практических работ студент должен **знать**:

- классификацию, основные виды, маркировку, область применения и способы обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;
- методы измерения параметров и определения свойств материалов;
- закономерности процессов кристаллизации и структурообразования полимеров, керамики, металлов и сплавов, а так же виды их механической, химической, термической, гидравлической и газообработки;
- литейные свойства полимеров различного отверждения, литейные свойства металлов и сплавов, закономерности процессов формирования структуры и свойств отливок;
- физико-химические явления при производстве заготовок методом литья;
- основные сведения о кристаллизации и структуре расплавов;
- основные сведения о назначении и свойствах полимеров, керамик, металлов и сплавов, о технологии их производства, а так же особенности их строения свойства смазочных и абразивных материалов;
- способы получения композиционных материалов;
- сущность технологических процессов литья, спекания порошков, электровакуумного напыления, сварки, обработки металлов давлением и резанием.

При выполнении практических работ студент должен **уметь**:

- распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые полимерные, металлические и керамические материалы, применяемые в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления и классифицировать их;
- определять твердость материалов.

Содержание практических занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём практических занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность практического занятия - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению практических работ дисциплины «Материаловедение» содержит 20 практических занятий.

Перечень практических работ

Практическое занятие №1

Испытание твёрдости металлов методом Бринелля

Практическая работа №2

Испытание твёрдости металлов методом Роквелла

Практическая работа № 3

Построение диаграммы состояния сплавов системы «свинец Pb– сурьма Sb»

Практическая работа №4

Решение задач по диаграмме состояния железо – углерод

Практическая работа № 5

Изучение процесса закалки углеродистой стали.

Практическая работа № 6

Изучение процесса отпуска углеродистой стали.

Практическая работа №7

Изучение структуры и свойств сталей после термической обработки

Практическая работа №8

Изучение структуры и свойств сталей после химико-термической обработки

Практическая работа №9

Изучение структуры и свойств чугунов

Практическая работа №10

Изучение структуры и свойств легированных сталей

Практическая работа №11

Расшифровка обозначений марок чугунов, конструкционных и легированных сталей

Практическая работа №12

Определение причины возникновения дефекта детали.

Практическая работа № 13

Расшифровка обозначения марок сплавов цветных металлов

Практическая работа №14

Определение параметров катушки индуктивности

Практическая работа №15

Изучение влияния температуры на механические свойства пластмасс.

Практическая работа №16

Качественное определение природы полимера методом сжигания

Практическая работа №17

Изучение свойств неорганических стёкол.

Практическая работа №18

Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений.

Практическая работа №19

Изучение структуры порошковых материалов.

Практическая работа №20

Изучение структуры композиционных материалов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: Испытание металлов на твердость методом Бринелля

Цель: практическое изучение метода определения твердости материалов по Бринеллю.

Оборудование: прибор типа ТШ, образцы для испытания, стальной закаленный шарик, наконечник.

Справочный материал.

Твердость – это свойство материалов сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела под действием нагрузки.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания материалов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия.

Приборы для испытания на твердость просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

- вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла);
- вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды (метод Виккерса);

Измерение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля)

По методу Бринелля твердость металла определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) закаленного стального шарика (рис.1,а) диаметром 10; 5 или 2,5 мм под действием заданной нагрузки в течении определенного времени и выражают числом твердости НВ, полученный путем деления приложенной нагрузки Р в кг на поверхность образовавшегося на образце отпечатка шарика (шарового сегмента) Fв мм:

$$HВ = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ [кг / мм}^2\text{]} \quad (3.1)$$

где Р - нагрузка в кг;

D- диаметр шарика в мм;

d- диаметр отпечатка шарика в мм.

Диаметр шарика, нагрузку и длительность выдержки под нагрузкой выбирают в зависимости от твердости и толщины образца (таблице 1).

Чем тверже металл, тем меньше диаметр отпечатка и тем выше число твердости по Бринеллю.

Диаметр отпечатка измеряется при помощи специальной лупы, имеющей шкалу с ценой деления 0,1 мм или 0,05мм (рисунок 1б).



Рис.1.Схема определения твердости по Бринеллю (а) и отсчет по шкале (б)

При диаметре шарика 10 мм и нагрузке 3000 кг твердость обозначается цифрами перед символом НВ, например 250НВ, что означает твердость по Бринеллю 250 кг /мм².

Во избежание сложных вычислений числа твердости для каждого отпечатка на практике используются готовыми таблицами.

Таблица 1. Выбор режимов испытаний на твердость методом Бринелля

Материал	Интервал твердости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой Р и диаметром шарика D	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, кг	Выдержка под нагрузкой, сек
Черные металлы	140-450	От 6 до 3	$P=30D^2$	10	3000	10
		От 4 до 2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Черные металлы	Менее 140	Более 6	$P=10D^2$	10	1000	10
		От 6 до 3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	Более 130	От 6 до 3	$P=30D^2$	10	3000	30
		От 4 до 2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Цветные металлы	35-130	От 9 до 5	$P=10D^2$	10	1000	30
		От 6 до 3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	8-35	Более 6	$P=2,5D^2$	10	250	60
		От 6 до 3		5	62,6	
		Менее 3		2,5	15,6	

Между числами твердости по Бринеллю и пределом прочности σ_B металлов существует следующая приближенная зависимость:

$$\sigma_B = K * HB, \text{ кг/мм}^2 \quad (3.2)$$

где K - коэффициент, определяемый по таблице (2).

Таблица 2. Выбор значения коэффициента K в зависимости от вида испытуемого материала

Сталь легированная	,34	Дуралюминий	,37
Сталь углеродистая	,36	Медь холоднокатаная	,35
Алюминий отожженный	,4	Медь отожженная	,48

Наиболее распространенными стандартными условиями при испытании твердости являются: нагрузка 3000 кг, диаметр шарика 10 мм и длительность выдержки 10 сек.

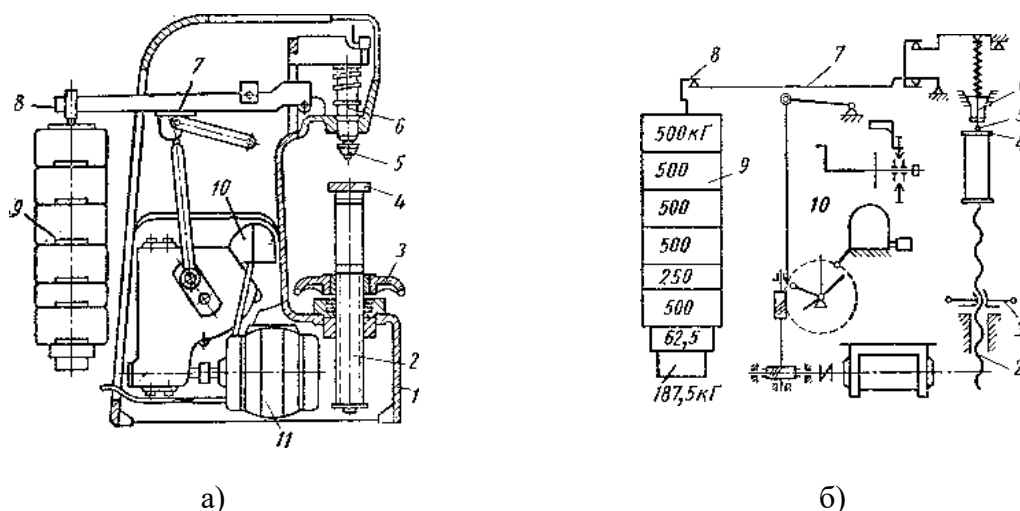


Рис. 2. Прибор типа ТШ с механическим приводом:
а – общий вид; б – кинематическая схема

Для определения твердости по Бринеллю используются твердомером типа ТШ (рис.2).

Прибор имеет станину 1, в нижней части которой помещен винт 2 со сменными столиками 4 для испытуемых образцов. Перемещения винта осуществляется вручную маховиком 3. В верхней части станины находится шпиндель 6 со сменными наконечниками, в которые вставляются шарики 5. Основная нагрузка прикладывается к образцу посредством рычажной системы. На длинном плече основного рычага 7 имеется подвеска 8 с грузами 9. Комбинацией грузов можно осуществить нагрузки 187,5; 250; 750; 1000 и 3000 кг. Нагрузка прилагается автоматически с помощью электродвигателя 11, находящегося внутри станины, при нажатии пусковой кнопки. Для установки продолжительности испытания служит передвижной упор переключателя 10, устанавливающийся до начала испытания в положение, соответствующее требуемой выдержке (10, 30 или 60 сек).

Недостатки метода Бринелля:

- невозможность испытания материалов, имеющих твердость более 450 НВ, так как шарик будет деформироваться и показания будут неточными;
- невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя и пластин (менее 1-2 мм), так как шарик будет продавливать тонкий слой материала;
- после испытания остаются заметные следы на поверхности изделия.

Порядок выполнения работы

1.Измерение твердости методом Бринелля

1. Изучить работу твердомера типа ТШ.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окисления. Толщина образца – не менее десятикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой.
4. Закрепить шариковый наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Поместить на подвеску требуемое для испытания количество сменных грузов.
6. Установить упор на нужную продолжительность выдержки и закрепить стопорным винтом.
7. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его к шариковому наконечнику, оказывая предварительную нагрузку на образец порядка 100 кг. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном к плоскости образца.

Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка – на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

8. Нажать на пусковую кнопку, приводя в движение электродвигатель и передать нагрузку на образец.

9. После окончания испытания опустить столик, снять образец и измерить диаметр отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи лупы. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм при испытании шариком диаметром 10 и 5 мм и с точностью до 0,01 мм при испытании шариком диаметром 2,5 мм.

10. По величине диаметра отпечатка рассчитать число твердости НВ.

11. Повторить эксперимент 3 раза.

12. Определить среднее число твердости НВ.

13. По полученным числам твердости определить величины предела прочности, пользуясь имеющимися соотношениями между НВ и σ_b .

14. Результаты испытаний внести в протокол.

Таблица 3. Протокол испытания на твердость по методу Бринелля.

исп.	Материал и толщина образца, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, кг	Диаметр отпечатка d, мм	Число твердости НВ	Среднее число твердости НВ	Предел прочности σ_b , кг/мм ²
.							
.							
.							

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. Какие существуют методы измерения твердости?
3. Как определяется твердость по методу Бринелля?
4. Каким образом производится выбор диаметра шарика при измерении твердости по методу Бринелля?
5. Какова зависимость между числами твердости НВ и пределом прочности металлов σ_b ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Испытание металлов на твёрдость методом Роквелла

Цель: практическое изучение метода определения твердости материалов по Роквеллу.

Оборудование: прибор типа ТК, образцы для испытания, стальной закаленный шарик, алмазный конус.

Справочный материал.

Твердость – это свойство материалов сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела под действием нагрузки.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания материалов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия.

Приборы для испытания на твердость просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

- вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла);
- вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды (метод Виккерса);

1. Измерение твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (метод Роквелла)

По методу Роквелла твердость металлов определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) стального шарика диаметром 1,588 мм при нагрузке 100 кг или алмазного конуса с углом при вершине 120° при нагрузке 60 или 150 кг. Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рисунке 3.3.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку P_0 , равную 10 кг, а затем нормальную P , равную 60, 100 или 150 кг (ГОСТ 9013-59). Разность глубин проникновения шарика или алмаза под нагрузками P_0 и P ($h-h_0$) характеризует твердость. Чем меньше эта разность, тем тверже испытуемый материал, и, наоборот, чем больше эта разность, тем мягче материал.

Числа твердости по Роквеллу обозначают HR_i и вычисляют по формуле.

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C}, \quad (3)$$

где h_0 – глубина внедрения в мм наконечника под действием предварительной нагрузки P_0 ;

h – глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки;

K – постоянная величина; для шарика $K=0,26$ и для конуса $K=0,2$;

C – цена деления циферблата индикатора прибора, соответствующая углублению наконечника на 0,002 мм.

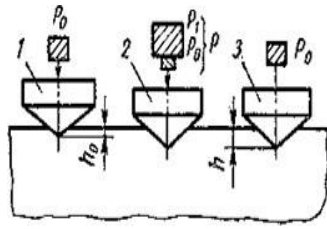


Рис.1. Схема определения твердости по Роквеллу:
 1 – углубление конуса под предварительной нагрузкой P_0 ;
 2 – углубление конуса под общей нагрузкой P ,
 которая равна P_0+P_1 ;
 3 – глубина внедрения конуса под действием нагрузки P_0

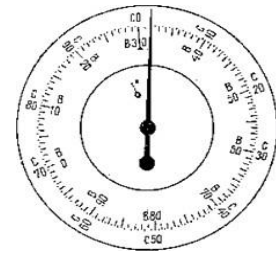


Рис.2. - Циферблат индикаторного прибора

Таким образом, твердость по Роквеллу, выражается в условных единицах.

На практике числа твердости по Роквеллу обычно не вычисляют по приведенной выше формуле, а отсчитывают по шкале индикатора прибора типа ТК непосредственно в процессе испытания (рис. 2).

Нулевое деление черной шкалы совпадает с начальным положением стрелки. Красная шкала смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора при внедрении наконечником. Следовательно, начальное деление красной шкалы совпадает с делением 30 на циферблате индикатора. Это смещение сделано по той причине, что глубина вдавливания шарика часто превышает 0,2 мм, и тогда стрелка при вдавливании делала бы поворот более чем на 100 делений, т.е. значение твердости могли бы получаться отрицательными. Большая стрелка служит для указания твердости, а малая – для контроля величины предварительного нагружения.

Твердость на приборе ТК можно измерить:

- Алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кг (предварительная – 10 кг и основная 140 кг). Значение твердости определяют по черной шкале С и обозначают HRC. Эта шкала применяется для испытания закаленных сталей, обладающих твердостью до 67HRC, и для определения твердости тонких поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм;
- Алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кг (предварительная – 10 кг и основная 50 кг). Значение твердости определяют по черной шкале С и обозначают HRA. Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов (например, карбидов вольфрама), тонкого листового материала и для измерения твердости тонких поверхностных слоев (0,3-0,5 мм) или тонких пластинок;
- Стальным шариком 1/16 дюйма с общей нагрузкой 100 кг (предварительная – 10 кг и основная 90 кг). Значение твердости определяют по красной шкале В и обозначают HRB. Шкала В служит для испытаний металлов средней твердости и для испытаний изделий толщиной от 0,8 до 2 мм.

На основании опытных работ установлена связь между числами твердости по Роквеллу (при HRC>20) и по Бринеллю $HB \approx 10 \cdot HRC(3.4)$

К достоинствам метода Роквелла следует отнести высокую производительность, простоту обслуживания, точность измерения и сохранение качественной поверхности после испытаний. Не рекомендуется применять этот метод для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуна), для испытания криволинейных поверхностей с радиусом кривизны менее 5 мм и для испытания деталей которые под действием нагрузки могут деформироваться.

Измерение твердости методом Роквелла

1. Изучить работу твердомера типа ТК.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окалины. Толщина образца – не менее восьмикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца наконечник.
4. Закрепить наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Подобрать грузы соответственно выбранному наконечнику и применительно к шкале, по которой предполагается вести испытания и подвесить их.
6. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его до соприкосновения с наконечником, а затем дальнейшим вращением маховика произвести предварительное нагружение до тех пор, пока малая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на шкале, а большая стрелка не примет вертикальное положение. Если малая стрелка индикатора перейдет за красную точку, то необходимо выбрать на испытуемой поверхности другую точку и испытание начать сначала; затем повернуть ободок индикатора до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой.
7. Привести в движение механизм основного нагружения. В это время большая стрелка поворачивается против часовой стрелки и принимает некоторое положение. После секундной выдержки снять основную нагрузку возвращением рукоятки в начальное положение (притягивают ее к себе). Большая стрелка при этом вращается по часовой стрелке и занимает нужное положение.
8. Отсчитать числа твердости по шкале индикатора. В случае применения алмазного наконечника отсчет производить по наружной черной шкале С, при шариковом наконечнике – по внутренней красной шкале В. Опустить столик вращением маховика и снять образец.
9. Повторить эксперимент 3 раза.
10. Определить среднее число твердости HR.
11. Перевести полученную твердость по Роквеллу HRB.
12. Результаты испытаний внести в таблицу.

Таблица 3 - Протокол испытания на твердость по методу Роквелла.

/п	Материал и толщина образца, мм	Нако нечник	Наг рузка Р, кг	Шкала

Контрольные вопросы

1. Что такое твердость?
2. Какие существуют методы измерения твердости?
3. Как определяется твердость по методу Роквелла?
4. Каким образом производится выбор диаметра шарика при измерении твердости по методу Роквелла?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Построение диаграммы состояния сплавов системы «свинец Pb– сурьма Sb»

Цель работы: формирование умений строить диаграммы двойных сплавов; описывать превращения, происходящие в сплавах.

Оборудование: учебник А.А. Черепяхина «Материаловедение», карандаш, линейка.

Справочный материал.

Диаграмма состояния показывает изменение состояния сплавов в зависимости от их концентрации и температуры. По диаграмме можно судить о структурных превращениях, происходящих в любом сплаве данной системы при нагревании и медленном охлаждении. Имея диаграмму состояния, можно заранее определять технологические и механические свойства всех сплавов данной системы. Она позволяет также установить температуры начала и конца кристаллизации сплавов, что имеет большое практическое значение. Кроме того, диаграмма состояния позволяет выбрать из данной системы сплавы определенного состава, наиболее удовлетворяющие требованиям практики. Построение диаграммы состояния двойных сплавов термическим методом. Существует много методов построения. Наиболее простым из них является метод, при котором используются результаты термического анализа. Сущность его состоит в том, что на основании опытных данных строят кривые охлаждения для сплавов одной системы, но разной концентрации. По остановкам и перегибам на этих кривых, вызванным тепловым эффектом превращений, определяют критические точки и по ним строят диаграмму состояния в координатах температура - концентрация.

Для построения диаграммы состояния сплавов системы Pb-Sb необходимо экспериментально получить кривые охлаждения для серии сплавов данной системы, а также кривые охлаждения чистого свинца и сурьмы.

На рис.1 приведены пять кривых охлаждения:

а – 100% чистого свинца;

б - сплава, состоящего из 5% сурьмы и 95% свинца;

в- сплава, состоящего из 10% сурьмы и 90% свинца;

г- сплава, состоящего из 13% сурьмы и 87% свинца;

д- сплава, состоящего из 25% сурьмы и 75% свинца.

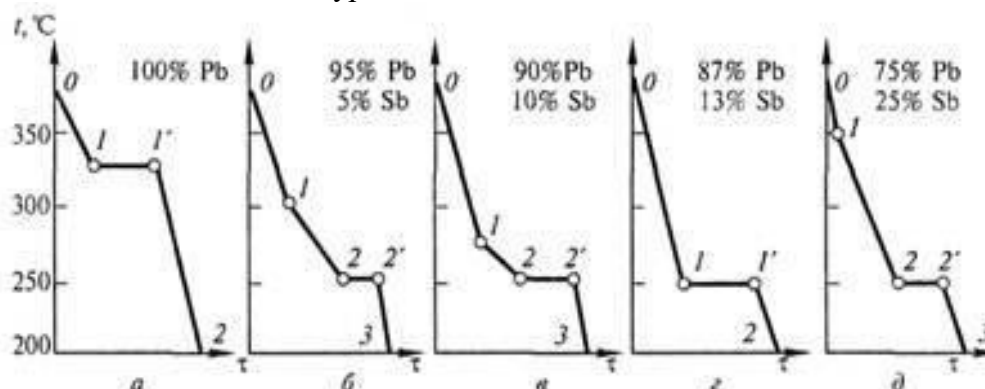


Рис.1. Кривые охлаждения сплавов системы свинец – сурьма

Полученные критические точки перенесем на диаграмму состояния, на которой по горизонтальной оси откладываем в определенном масштабе процентное содержание сурьмы, а по вертикальной оси – температуры. Из отмеченных на горизонтальной оси точек восстанавливаем перпендикуляры. На них откладываем соответствующие критические температуры, полученные опытным путем.

При этом на крайних вертикальных прямых откладываем критические температуры простых металлов:

слева – свинца (100% Pb) – 327°C.,
справа – сурьмы (100% Sb) - 631°C.

На промежуточных перпендикулярах отмечаем температуры начала и конца кристаллизации соответствующих сплавов (рис.1, кривые а,б,в,г,д). Соединив полученные точки начала и конца кристаллизации сплавов плавными линиями, получим диаграмму состояния сплавов системы свинец – сурьма.

Задания для работы

Задание 1. Постройте диаграмму состояния сплавов системы Pb-Sb, используя данные рис. 1.

Задание 2. Пользуясь рис.1 «Кривые охлаждения сплавов системы свинец – сурьма» заполните таблицу 1

Задание 3. Пользуясь диаграммой состояния системы Pb-Sb, опишите превращения, происходящие в сплавах, состоящих из 10% Sb и 90% Pb; 80% Sb и 20% Pb, охлаждаемых из расплавленного состояния до комнатной температуры.

Таблица 1 - Критические точки металлов и сплавов

/п	Содержание компонентов (концентрация)	Температуры кристаллизации системы Pb-Sb	
		Начало кристаллизации °C	Конец кристаллизации °C

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Решение задач по диаграмме состояния железо – углерод

Цель работы: формирование умений исследовать структуру и свойства железоуглеродистых сплавов.

Оборудование: справочник технолога, диаграмма состояния железо-цементит.

Справочный материал.

Пользуясь диаграммой состояния железо –цементит, можно определить температуры начала и окончания кристаллизации для железоуглеродистого сплава с любой концентрацией. Для этого находят нужную концентрацию, в этой точке восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линиями начала и конца кристаллизации. Из полученных точек проводят горизонталы на оси температур и получают нужные критические точки. Состав сплава заданной концентрации при любой температуре можно определить по диаграмме состояния (рис. 1).

Для этого из заданной точки нужно провести горизонталь. Зоны, в которые она попадает, укажут на структурные составляющие сплава. Эвтектическому сплаву, получившему название ледебурит, соответствует на диаграмме точка С. Ледебурит является механической смесью аустенита и цементита. Сплавы с содержанием углерода менее 4,3 % называются доэвтектическими, сплавы, у которых углерода более 4,3 %, - заэвтектическими. После окончания кристаллизации при температуре 1130 °С доэвтектические чугуны будут состоять из аустенита и ледебурита. Заэвтектические чугуны будут состоять из первичного цементита и ледебурита. В интервале температур от 1130 до 723 °С в доэвтектических чугунах будет выделяться вторичный цементит. Их структура в этом интервале температур: ледебурит + аустенит + вторичный цементит. Ниже температуры 723 °С, когда аустенит превратится в перлит, структура станет такой: ледебурит + перлит + вторичный цементит. При комнатной температуре ледебурит будет состоять из перлита и цементита. Заэвтектические чугуны будут иметь следующую структуру: ледебурит + первичный цементит. В сталях с содержанием углерода 0,83 % распад аустенита происходит при постоянной и притом самой низкой температуре 723 °С – точка S. При этом в условиях медленного охлаждения образуется механическая смесь феррита и цементита, которая называется перлитом.

Стали с содержанием углерода менее 0,83 % называются доэвтектоидными. Заэвтектоидные стали содержат более 0,83 % углерода. Ниже температуры 727°С доэвтектоидная сталь будет иметь структуру: феррит + перлит, а заэвтектоидная сталь – перлит + вторичный цементит.

Задания для работы

1. Охарактеризуйте сплав с содержанием углерода 3 % при температурах 1350, 1180 и 1130 °С.

2. Пользуясь диаграммой состояния железо-углерод, определите для сплавов с содержанием углерода 0,4; 0,8; 1,3; 2,5; 4,3 и 4,8 % температуры начала и окончания процесса первичной кристаллизации. Укажите состав этих сплавов между линиями ликвидуса и солидуса и после окончания кристаллизации. Какие из этих сплавов являются сталями, какие – чугунами? Данные сведите в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты решения задачи

Содержание углерода	Название сплава	Температура начала кристаллизации	Температура конца кристаллизации	Структура сплава между линиями ликвидуса и солидуса	Структура после завершения первичной кристаллизации
0,4					
0,8					
1,3					
2,5					
4,3					
4,8					

3. Пользуясь диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов, укажите, какие превращения происходят в сталях с содержанием углерода 0,45; 0,8 и 1,2 % углерода при охлаждении жидкого раствора до комнатной температуры. Для каждого превращения укажите примерные температуры.

4. Для чугунов с содержанием углерода 3; 4,3 и 5 % опишите все превращения с указанием соответствующих температур (начиная от жидкого раствора до комнатной температуры).

Контрольные вопросы

1. Назовите компоненты, фазы и структурные составляющие диаграммы.
2. Что такое феррит, аустенит, перлит, ледебурит и цементит?
3. Расскажите свойства микроструктуру фаз и структурных составляющих диаграммы.
4. Напишите реакции превращений на диаграмме.
5. Что такое линии ликвидуса и солидуса диаграммы?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: Изучение процесса закалки углеродистой стали.

Цель: изучить технологию термической обработки стали методом закалки.

Оборудование:

1. Электронный микроскоп ЭУМП-1.
2. Коллекция шлифов сталей.
3. Альбом фотографий микроструктур углеродистых сталей
4. Диаграмма Fe – Fe₃C.
5. Раствор азотной кислоты.

Справочный материал.

Закалка — это термическая обработка, которая заключается в нагреве стали до температур, превышающих температуру фазовых превращений, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью, превышающей критическую минимальную скорость охлаждения. Основной целью закалки является получение высокой твердости, упрочнение. В основе закалки лежит аустенитно-мартенситное превращение.

Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали представлен на рис. 1.

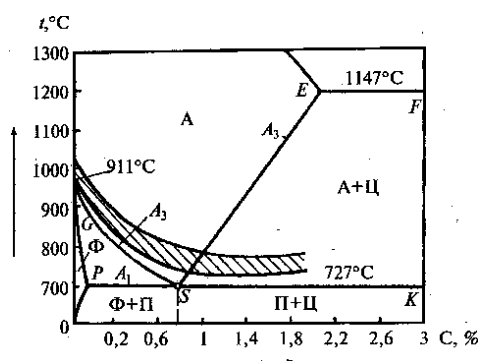


Рис. 1. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали

В зависимости от температуры нагрева различают:

- **полную закалку** при которой нагрев осуществляется в однофазную аустенитную область (на 30 - 50°C выше линии GSE). При быстром охлаждении происходит полное превращение аустенита в мартенсит;

- **неполную закалку** при которой нагрев осуществляется в двухфазную область (на 30—50°C выше линии PSK, но ниже линии GSE) и при охлаждении формируется в доэвтектоидных сталях феррито-мартенситная, а в заэвтектоидных сталях — мартенсито-цементитная структура.

На практике полную закалку применяют для доэвтектоидных сталей, неполную для заэвтектоидных сталей.

Температура нагрева под закалку легированных сталей обычно выше, чем для углеродистых. Диффузионные процессы в легированных сталях протекают медленнее, поэтому для них требуется более длительная выдержка. Нагрев легированных сталей до более высокой температуры и более длительная выдержка не сопровождается ростом зерна, так как легирующие элементы снижают склонность к росту зерна при нагреве. После закалки структура состоит из легированного мартенсита.

Для достижения максимальной твердости при закалке стремятся получить мартенситную структуру. Минимальная скорость охлаждения, необходимая для перео-

охлаждения аустенита до мартенситного превращения, называется критической скоростью закалки. Скорость охлаждения определяется видом охлаждающей среды.

Обычно для закалки используют кипящие жидкости:

- воду;
- водные растворы солей и щелочей;
- масла.

Выбор конкретной закалочной среды определяется видом изделия. Например, воду с температурой 25°C используют в основном при закалке деталей простой формы и небольших размеров, выполненных из углеродистой стали. Детали более сложной формы из углеродистых и легированных сталей закаляют в маслах. Для закалки легированных сталей часто используют водные растворы NaCl и NaOH с наиболее высокой охлаждающей способностью. Для некоторых легированных сталей достаточная скорость охлаждения обеспечивается применением спокойного или сжатого воздуха.

Из-за пониженной теплопроводности легированных сталей их нагревают и охлаждают медленнее.

Важными характеристиками стали, необходимыми для назначения технологических режимов закалки, являются закаливаемость и прокаливаемость.

Закаливаемость характеризует способность стали к повышению твердости при закалке и зависит главным образом от содержания углерода в стали. Закаливаемость оценивают по твердости поверхностного слоя стального образца после закалки.

Прокаливаемость характеризует способность стали закаливаться на требуемую глубину. Прокаливаемость оценивается по расстоянию от поверхности изделия до слоя, в котором содержится не менее 50 % мартенсита. Зависит прокаливаемость от критической скорости охлаждения: чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. На прокаливаемость оказывают влияние химический состав стали, характер закалочной среды, размер и форма изделия и многие другие факторы. Легирование стали способствует увеличению ее прокаливаемости. Прокаливаемость деталей из среднеуглеродистой стали при закалке в масле ниже, чем при закалке в воде. Прокаливаемость резко уменьшается с увеличением размеров заготовки.

При сквозной прокаливаемости по сечению изделия механические свойства одинаковы, при несквозной прокаливаемости в сердцевине наблюдается снижение прочности, пластичности и вязкости металла. Прокаливаемость является важной характеристикой стали и при выборе марки стали рассматривается наряду с ее механическими свойствами, технологичностью и себестоимостью.

Способы закалки стали:

- **закалка в одном охладителе**, при которой нагретая деталь погружается в охлаждающую жидкость и остается там до полного охлаждения. Наиболее простой способ. Недостаток — возникновение значительных внутренних напряжений. Закалочная среда — вода для углеродистых сталей сечением более 5 мм, масло — для деталей меньших размеров к легированных сталей;

- **закалка в двух средах**, при которой деталь до 300— 400°C охлаждают в воде, а затем переносят в масло. Применяют для уменьшения внутренних напряжений при термообработке изделий из инструментальных высокоуглеродистых сталей. Недостаток — трудность регулирования выдержки деталей в первой среде;

- **ступенчатая закалка**, при которой деталь быстро охлаждается погружением в соляную ванну с температурой, немного превышающей температуру мартенситного превращения, выдерживается до достижения одинаковой температуры по всему сечению, а затем охлаждается на воздухе. Медленное охлаждение на воздухе снижает внутренние напряжения и возможность коробления. Недостаток - ограничение размера деталей;

- **изотермическая закалка**, при которой деталь выдерживается в соляной ванне до окончания изотермического превращения. Применяют для конструкционных легированных

сталей. При такой закалке обеспечивается достаточно высокая твердость при сохранении повышенной пластичности и вязкости;

- **закалка с самоотпуском**, при которой в закалочной среде охлаждают только часть изделия, а теплота, сохранившаяся в остальной части детали после извлечения из среды, вызывает отпуск охлажденной части. Применяют для термообработки ударного инструмента типа зубил, молотков, которые должны сочетать высокую твердость и вязкость;

- **обработка холодом** состоит в продолжении охлаждения закаленной стали ниже 0°C до температур конца мартенситного превращения (обычно не ниже -75°C). В результате обработки холодом повышается твердость и стабилизируются размеры деталей. Наиболее распространенной является охлаждающая среда смеси ацетона с углекислотой.

Поверхностная закалка — это термическая обработка, при которой закаливается только поверхностный слой изделия на заданную глубину, тогда как сердцевина изделия остается незакаленной. В результате поверхностный слой обладает высокой прочностью, а сердцевина изделия остается пластичной и вязкой, что обеспечивает высокую износостойкость и одновременно стойкость к динамическим нагрузкам.

В промышленности применяют следующие методы поверхностной закалки:

— закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты при массовой обработке стальных изделий;

— газопламенную поверхностную закалку пламенем газовых или кислород-ацетиленовых горелок (температура пламени $2400-3000^{\circ}\text{C}$) для единичных крупных изделий;

— закалку в электролите для небольших деталей в массовом производстве;

— лазерную закалку, позволяющую существенно увеличить износостойкость, предел выносливости при изгибе и предел контактной выносливости.

Закалка с индукционным нагревом (нагрев токами высокой частоты - ТВЧ) — наиболее распространенный способ поверхностной закалки. Схема устройства для закалки с нагревом токами высокой частоты представлена на рис. 2.

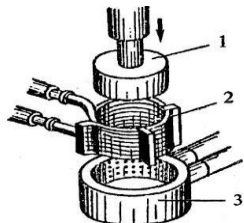


Рис. 2. Схема устройства для закалки с нагревом токами высокой частоты: 1 — закаливаемая деталь; 2 — индуктор; 3 — охладитель

Деталь 1 помещают в индуктор 2, который представляет собой медные трубки с циркулирующей внутри водой для охлаждения. К индуктору подводят переменный электрический ток. Внутри индуктора возникает переменное магнитное поле. Магнитный поток индуцирует в металле изделия вихревые токи, вызывающие нагрев поверхности. Схема индукционного нагрева приведена на рис. 3.

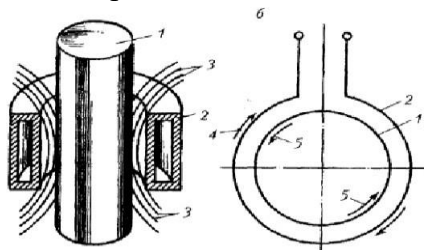


Рис. 3. Схема индукционного нагрева:

- 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

Основное количество тепла выделяется в тонком поверхностном слое. Глубина нагрева зависит от свойств металла и частоты тока. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

После нагрева в индукторе деталь охлаждается с помощью специального охлаждающего устройства 3. Через имеющиеся в нем отверстия на поверхность детали разбрызгивается охлаждающая жидкость. Закаленные изделия подвергают отпуску при 160-200 °С.

Преимущества поверхностной закалки ТВЧ:

- регулируемая глубина закаленного слоя;
- высокая производительность;
- возможность автоматизации;
- отсутствие обезуглероживания и окалинообразования;
- минимальное коробление детали.

Недостатком является высокая стоимость индуктора, для каждой детали.

Поверхностную закалку применяют для углеродистых сталей, почти не содержащих углерода (около 0,4 %), для легированных сталей ее почти не применяют. Высокочастотной закалке подвергают шейки коленчатых валов, гильзы цилиндров, поршневые пальцы, пальцы рессоры и т. д. Толщина упрочняемого слоя составляет 1,5—3 мм, если требуется только высокая износостойкость, и возрастает до 5—10 мм в случае высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки.

Порядок выполнения работы

Для выполнения работы студентам предоставляются образцы различных марок углеродистых сталей (сталь 40, У8, У10), печи для нагрева образцов и баки с охлаждающими средами.

Измерить твердость образцов в исходном состоянии на приборе Бринелля шариком 10 мм при нагрузке 30000 Н, а после закалки - на приборе Роквелла алмазным конусом при нагрузке 1500 Н (шкала С). Перед определением твердости зачистить две параллельные стороны образца. Для построения кривых зависимости твердости от различных параметров, данные измерения твердости по Роквеллу перевести в единицы Бринелля. Для более интенсивного и равномерного охлаждения в закаливающей среде производить перемещение образцов.

Студент должен:

- нарисовать часть диаграммы Fe-Fe₃C и указать на ней температурные интервалы нагрева под закалку;
- замерить твердость образцов в исходном состоянии на приборе Бринелля;
- провести закалку образцов в воде с температурами нагрева 650°С, 750°С, 850°С;
- измерить твердость закаленных образцов на приборе Роквелла;
- по данным измерения твердости установить оптимальную температуру нагрева под закалку, обеспечивающую наибольшую твердость;
- определить влияние скорости охлаждения на твердость термически обработанной стали.

Нагрев образцов производить до установленной оптимальной температуры, образцы охлаждать в воде, масле и на воздухе; – по данным всей группы построить графики влияния содержания углерода на твердость закаленной стали, влияния температуры нагрева и скорости охлаждения при закалке на твердость стали. Скорость охлаждения в интервале температур 650–450°С равна: в воде 400°/с; в масле 50°/с; на воздухе 2°/с; – произвести закалку ударного инструмента (зубило) по способу закалки с самоотпуском и измерить твердость по Роквеллу рабочей части, в центре и в хвостовой части инструмента.

Содержание отчета

При составлении отчета необходимо дать краткое описание теоретических основ процесса закалки стали, характеристику строения и свойств полученных структур, привести экспериментальные и графические данные, результаты измерений занести в табл. 3. Таблица 3

Протокол исследования термической обработки стали	Номер образца	Твердость до термообработки	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость после термообработки
НВ	HRC	HRC	НВ		

Контрольные вопросы

1. Что такое термическая обработка (ТО)?
2. Что такое закалка?
3. При закалке меняется ли структура стали?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: Изучение процесса отпуска углеродистой стали.

Цель: изучить технологию термической обработки стали методом закалики.

Оборудование:

- Электронный микроскоп ЭУМП-1.
- Коллекция шлифов сталей.
- Альбом фотографий микроструктур углеродистых сталей
- Диаграмма Fe – Fe₃C.
- Раствор азотной кислоты.

Справочный материал.

Отпуск – нагрев закаленной стали до температуры ниже Aс1 выдержка при этой температуре и охлаждение.

Отпуск применяется для устранения внутренних напряжений и повышения пластичности.

Отпуск в интервале температур 150÷200°С – **низкий отпуск**. Низкому отпуску подвергаются режущий инструмент и детали, работающие на износ, от которых требуется высокая твердость. В результате низкого отпуска получается отпущенный кубический мартенсит.

Отпуск в интервале температур 350÷500°С называется **средним отпуском**. Средний отпуск обеспечивает высокие значения пределов упругости, прочности, усталости и высокую ударную вязкость.

Среднему отпуску подвергают, например, пружины подвесок трубопроводов, рессоры. В результате среднего отпуска получается структура — тростит отпуска.

Отпуск в интервале температур 500÷650°С называется **высокий отпуск**.

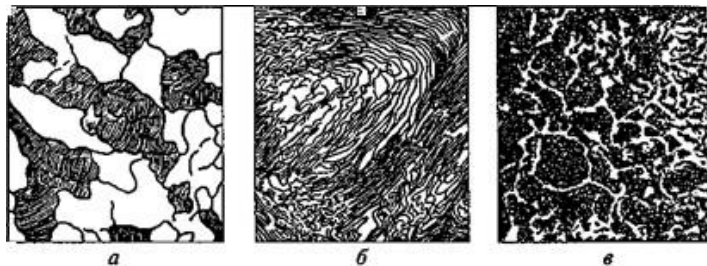


Рис.3. а). доэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из феррита и перлита. б) эвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую только из перлита. в) заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и цементита вторичного.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 до 0,8% С и имеют ферритно-перлитную структуру (рис. 3а). Здесь светлые зерна – это феррит, а темные (штрихованные) участки представляют собой перлит, являющийся двухфазной структурной составляющей, состоящей из пластинок феррита и цементита.

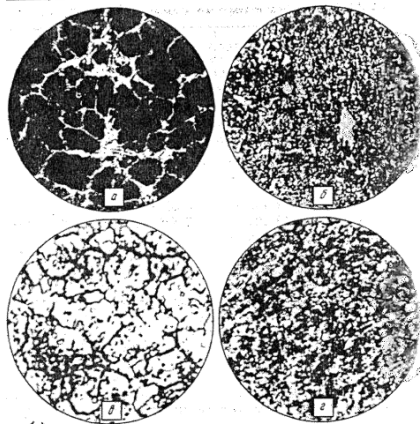


Рис.4. микроструктура доэвтектоидной стали (феррит + перлит):
 а) литое состояние; б) после отжига; в) после закалки; г) после отпуска

Особенности превращений при отпуске

Целью отпуска является снятие внутренних напряжений и получение оптимального сочетания служебных свойств. Непосредственно после закалки в связи с существенным различием удельных объемов мартенсита и аустенита сталь обладает высоким уровнем внутренних напряжений и повышенной хрупкостью. Поэтому для практического применения сталь в закаленном состоянии непригодна. В связи с этим для снижения внутренних напряжений и получения требуемых свойств обязательной операцией термической обработки после закалки является отпуск. Отпуском стали называется термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленного с полиморфным превращением сплава до температур, расположенных ниже температуры базового (полиморфного) превращения, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении (обычно на воздухе), и обеспечивающая получение более равновесной структуры. Основным процессом при отпуске является распад метастабильного, неравновесного твердого раствора - мартенсита с выделением карбидной фазы.

При отпуске закаленной стали, структура которой состоит из мартенсита и остаточного аустенита, различают стадию предвыделения и три превращения - распад мартенсита, распад остаточного аустенита, карбидное превращение. Температурные интервалы этих превращений весьма условны, поскольку они накладываются друг на друга, зависят от продолжительности отпуска и содержания углерода в стали. Вместе с тем на основе анализа объемных изменений при отпуске углеродистых сталей традиционно выделяют три температурных интервала и соответствующие им три превращения. Первое и третье превращения связаны с уменьшением удельного объема, а второе - с его увеличением.

Еще до начала первого превращения в мартенсите происходят изменения, связанные с перераспределением атомов углерода между междоузлиями, - образованием сегрегаций атомов углерода в виде примесных атмосфер на дефектах решетки и в виде плоских микроскоплений - кластеров. Эти процессы (так называемая стадия предвыделения) развиваются в процессе закалочного охлаждения, при нормальной (комнатной) температуре сразу после закалки и при нагреве закаленной стали до $\sim 80^{\circ}\text{C}$ (здесь и далее характерные температурные интервалы указаны для эвтектоидной углеродистой стали в случае использования традиционных режимов нагрева в электропечи). Возникновение примесных атмосфер на дефектах решетки обусловлено тем, что последние являются более выгодными местами для атомов углерода, чем нормальные позиции этих атомов в решетке мартенсита, образование кластеров углерода можно трактовать, как зонную стадию распада твердого раствора, аналогичную концентрационному расслоению при старении закаленных без полиморфного превращения сплавов. Кластеры углерода размером 4-6 нм, располагаясь в кристаллах мартенсита определенным, закономерным образом, являются подготовленными местами для формирования карбидной фазы.

Первое превращение протекает при нагреве закаленной стали в интервале температур от ~ 80 до 200°C . При этом происходит выделение промежуточных карбидов из мартенсита - следующая после сегрегации углерода стадия структурных изменений при отпуске.

сталях с высокой температурой M_n частичный распад мартенсита с выделением промежуточного карбида (так называемый закалочный самоотпуск) успевает произойти во время закалочного охлаждения.

Второе превращение, аналогичное бейнитному превращению, происходит при температурах $\sim 200-300^{\circ}\text{C}$. При этом остаточный аустенит превращается в нижний бейнит- смесь несколько пересыщенной углеродом α -фазы, образуемой сдвигом, и частиц ϵ -карбида. Строго говоря, бейнит представляет собой слабопересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе с частицами ϵ -карбида.

Третье превращение, наиболее активно развивающееся при температурах $300-400^{\circ}\text{C}$, заключается в завершении образования стабильного цементита Fe_3C и последующей его коагуляции. При этом цементит может выделяться либо прямо из α -твердого раствора после растворения в нем ранее образовавшегося ϵ -карбида, либо образоваться путем перестройки решетки ϵ -карбида в решетку цементита. Завершающей стадией карбидного превращения является коагуляция (увеличение размеров) и сфероидизация цементита, интенсивно развивающиеся от температуры $\sim 350^{\circ}\text{C}$. Выше температуры $\sim 600^{\circ}\text{C}$ развивается только процесс коагуляции цементита, поскольку все частицы являются уже сферическими.

После отпуска при температурах $300-450^{\circ}\text{C}$ образуется сильно травящаяся мелкодисперсная смесь феррита и цементита, называемая трооститом отпуска. Под микроскопом заметна игольчатая предыстория феррита, обусловленная характером строения мартенсита. Дальнейшее повышение температуры приводит к развитию процессов возврата (преимущественно к уменьшению плотности дислокаций) в феррите и рекристаллизации ферритных зерен. Структура при этом теряет характерные морфологические признаки мартенсита. Поэтому полученный при температурах $450-650^{\circ}\text{C}$ сорбит отпуска (смесь феррита и цементита) имеет характерное зернистое (точечное) строение цементита.

Дальнейшее повышение температуры отпуска выше 650°C (приближение к A_{c1}) приводит к дальнейшей коагуляции карбидных частиц и формированию структуры зернистого перлита.

Задания

1. Образцы из закаленной углеродистой стали (сталь 40, У8, У10) подвергнуть отпуску при различных температурах.
2. Измерить твердость образцов углеродистой стали после отпуска.
3. Провести анализ результатов исследований и объяснить полученные зависимости.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: Изучение процесса отпуска углеродистой стали.

Цель: изучить технологию термической обработки стали методом закалки.

Оборудование:

- Электронный микроскоп ЭУМП-1.
- Коллекция шлифов сталей.
- Альбом фотографий микроструктур углеродистых сталей
- Диаграмма Fe – Fe₃C.
- Раствор азотной кислоты.

Справочный материал.

Отпуск – нагрев закаленной стали до температуры ниже Aс1 выдержка при этой температуре и охлаждение.

Отпуск применяется для устранения внутренних напряжений и повышения пластичности.

Отпуск в интервале температур 150÷200°С – **низкий отпуск**. Низкому отпуску подвергаются режущий инструмент и детали, работающие на износ, от которых требуется высокая твердость. В результате низкого отпуска получается отпущенный кубический мартенсит.

Отпуск в интервале температур 350÷500°С называется **средним отпуском**. Средний отпуск обеспечивает высокие значения пределов упругости, прочности, усталости и высокую ударную вязкость.

Среднему отпуску подвергают, например, пружины подвесок трубопроводов, рессоры. В результате среднего отпуска получается структура — тростит отпуска.

Отпуск в интервале температур 500÷650°С называется **высокий отпуск**.

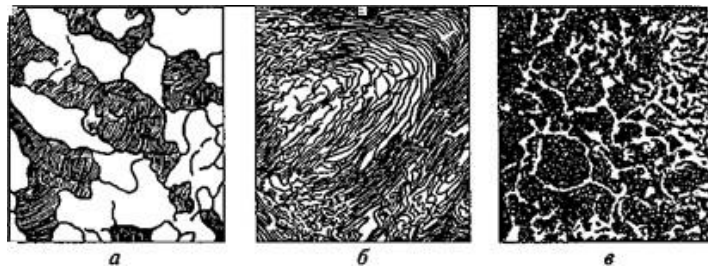


Рис.3. а). доэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из феррита и перлита. б) эвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую только из перлита. в) заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и цементита вторичного.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 до 0,8% С и имеют ферритно-перлитную структуру (рис. 3а). Здесь светлые зерна – это феррит, а темные (штрихованные) участки представляют собой перлит, являющийся двухфазной структурной составляющей, состоящей из пластинок феррита и цементита.

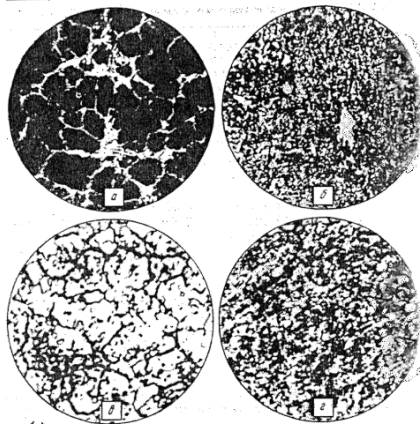


Рис.4. микроструктура доэвтектоидной стали (феррит + перлит):
 а) литое состояние; б) после отжига; в) после закалки; г) после отпуска

Особенности превращений при отпуске

Целью отпуска является снятие внутренних напряжений и получение оптимального сочетания служебных свойств. Непосредственно после закалки в связи с существенным различием удельных объемов мартенсита и аустенита сталь обладает высоким уровнем внутренних напряжений и повышенной хрупкостью. Поэтому для практического применения сталь в закаленном состоянии непригодна. В связи с этим для снижения внутренних напряжений и получения требуемых свойств обязательной операцией термической обработки после закалки является отпуск. Отпуском стали называется термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленного с полиморфным превращением сплава до температур, расположенных ниже температуры базового (полиморфного) превращения, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении (обычно на воздухе), и обеспечивающая получение более равновесной структуры. Основным процессом при отпуске является распад метастабильного, неравновесного твердого раствора - мартенсита с выделением карбидной фазы.

При отпуске закаленной стали, структура которой состоит из мартенсита и остаточного аустенита, различают стадию предвыделения и три превращения - распад мартенсита, распад остаточного аустенита, карбидное превращение. Температурные интервалы этих превращений весьма условны, поскольку они накладываются друг на друга, зависят от продолжительности отпуска и содержания углерода в стали. Вместе с тем на основе анализа объемных изменений при отпуске углеродистых сталей традиционно выделяют три температурных интервала и соответствующие им три превращения. Первое и третье превращения связаны с уменьшением удельного объема, а второе - с его увеличением.

Еще до начала первого превращения в мартенсите происходят изменения, связанные с перераспределением атомов углерода между междоузлиями, - образованием сегрегаций атомов углерода в виде примесных атмосфер на дефектах решетки и в виде плоских микроскоплений - кластеров. Эти процессы (так называемая стадия предвыделения) развиваются в процессе закалочного охлаждения, при нормальной (комнатной) температуре сразу после закалки и при нагреве закаленной стали до $\sim 80^{\circ}\text{C}$ (здесь и далее характерные температурные интервалы указаны для эвтектоидной углеродистой стали в случае использования традиционных режимов нагрева в электропечи). Возникновение примесных атмосфер на дефектах решетки обусловлено тем, что последние являются более выгодными местами для атомов углерода, чем нормальные позиции этих атомов в решетке мартенсита, образование кластеров углерода можно трактовать, как зонную стадию распада твердого раствора, аналогичную концентрационному расслоению при старении закаленных без полиморфного превращения сплавов. Кластеры углерода размером 4-6 нм, располагаясь в кристаллах мартенсита определенным, закономерным образом, являются подготовленными местами для формирования карбидной фазы.

Первое превращение протекает при нагреве закаленной стали в интервале температур от ~ 80 до 200°C . При этом происходит выделение промежуточных карбидов из мартенсита - следующая после сегрегации углерода стадия структурных изменений при отпуске.

сталях с высокой температурой M_n частичный распад мартенсита с выделением промежуточного карбида (так называемый закалочный самоотпуск) успевает произойти во время закалочного охлаждения.

Второе превращение, аналогичное бейнитному превращению, происходит при температурах $\sim 200-300^{\circ}\text{C}$. При этом остаточный аустенит превращается в нижний бейнит-смесь несколько пересыщенной углеродом α -фазы, образуемой сдвигом, и частиц ϵ -карбида. Строго говоря, бейнит представляет собой слабопересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе с частицами ϵ -карбида.

Третье превращение, наиболее активно развивающееся при температурах $300-400^{\circ}\text{C}$, заключается в завершении образования стабильного цементита Fe_3C и последующей его коагуляции. При этом цементит может выделяться либо прямо из α -твердого раствора после растворения в нем ранее образовавшегося ϵ -карбида, либо образоваться путем перестройки решетки ϵ -карбида в решетку цементита. Завершающей стадией карбидного превращения является коагуляция (увеличение размеров) и сфероидизация цементита, интенсивно развивающиеся от температуры $\sim 350^{\circ}\text{C}$. Выше температуры $\sim 600^{\circ}\text{C}$ развивается только процесс коагуляции цементита, поскольку все частицы являются уже сферическими.

После отпуска при температурах $300-450^{\circ}\text{C}$ образуется сильно травящаяся мелкодисперсная смесь феррита и цементита, называемая трооститом отпуска. Под микроскопом заметна игольчатая предыстория феррита, обусловленная характером строения мартенсита. Дальнейшее повышение температуры приводит к развитию процессов возврата (преимущественно к уменьшению плотности дислокаций) в феррите и рекристаллизации ферритных зерен. Структура при этом теряет характерные морфологические признаки мартенсита. Поэтому полученный при температурах $450-650^{\circ}\text{C}$ сорбит отпуска (смесь феррита и цементита) имеет характерное зернистое (точечное) строение цементита.

Дальнейшее повышение температуры отпуска выше 650°C (приближение к A_{c1}) приводит к дальнейшей коагуляции карбидных частиц и формированию структуры зернистого перлита.

Задания

1. Для выполнения работы студентам предоставляются образцы различных марок углеродистых сталей (сталь 40, У8, У10), печи для нагрева образцов и баки с охлаждающими средами.

2. Образцы из закаленной углеродистой стали (сталь 40, У8, У10) подвергнуть отпуску при различных температурах.

3. Измерить твердость образцов углеродистой стали после отпуска.

4. Провести анализ результатов исследований и объяснить полученные зависимости.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

Тема: Изучение структуры и свойств сталей после термической обработки

Цель работы: изучить структуры и свойства сталей после термической обработки

Оборудование:

- металлографический микроскоп;
- твердомер типа ТК (прибор Роквелла);
- полировальный станок;
- набор микрошлифов закаленные и отпущенные образцы;
- фотографии микроструктур сталей и чугунов;
- пинцет;
- реактив для травления;
- шлифовальная и микронная шкурка;
- циркуль и линейку.

Справочный материал

Все превращения в сплавах, происходящие по диаграмме состояния железо-углерод, протекают при медленном охлаждении; они успевают полностью завершиться при температурах, указанных на диаграмме, вследствие чего получаются равновесные структуры. Скорость охлаждения при термической обработке имеет большое значение.

Аустенит при быстром непрерывном охлаждении распадается с образованием следующих структур: сорбита, троостита и мартенсита.

При скоростях охлаждения до 50 С в 1 сек. распавшийся аустенит образует структуру сорбит. Твердость сорбита НВ 250-350. Структура сорбита встречается в конструкционных сталях после закалки с охлаждением в масле и после закалки и высокого отпуска (рис.34).

При скоростях охлаждения до 80-100 С в 1 сек. Образуется троостит. Твердость троостита НВ 350-500. Структуру троостита могут иметь конструкционные стали, закаленные с охлаждением в масле и закаленные и отпущенные при температуре 350-450 С (рис.35)

При скоростях охлаждения 150-180 С в 1 сек образует мартенсит, который характеризуется игольчатым старением, большой хрупкостью и твердостью НВ500-650 (рис36а).

Структура стали, получающаяся после термической обработки, зависит не только от скорости охлаждения, но и от температуры нагрева.

Термическую обработку применяют на различных стадиях производства деталей машин и металлоизделий. В одних случаях она может быть промежуточной операцией, служащей для улучшения обрабатываемости сплавов давлением, резанием, в других - является окончательной операцией, обеспечивающей необходимый комплекс показателей механических, физических и эксплуатационных свойств изделий или полуфабрикатов. Полуфабрикаты подвергают термической обработке для улучшения структуры, снижения твердости (улучшения обрабатываемости), а детали - для придания им определенных, требуемых свойств (твердости, износостойкости, прочности и других).

В результате термической обработки свойства сплавов могут быть изменены в широких пределах. Возможность значительного повышения механических свойств после термической обработки по сравнению с исходным состоянием позволяет увеличить допускаемые напряжения, уменьшить размеры и массу машин и механизмов, повысить надежность и срок службы изделий. Улучшение свойств в результате термической обработки позволяет применять сплавы более простых составов, а поэтому более дешевые. Сплавы приобретают также некоторые новые свойства, в связи с чем расширяется область их применения.

Назначение и виды термической обработки

Термической обработкой называются процессы, сущность которых заключается в нагреве и охлаждении изделий по определенным режимам, в результате чего происходят изменения структуры, фазового состава, механических и физических свойств материала, без изменения химического состава.

Назначение термической обработки металлов - получение требуемой твердости, улучшение прочностных характеристик металлов и сплавов. Термическая обработка подразделяется на термическую, термомеханическую и химико-термическую. Термическая обработка - только термическое воздействие, термомеханическая - сочетание термического воздействия и пластической деформации, химико-термическая - сочетание термического и химического воздействия. Термическая обработка, в зависимости от структурного состояния, получаемого в результате ее применения, подразделяется на отжиг (первого и второго рода), закалку и отпуск.

Отжиг

Отжиг - термическая обработка заключающаяся в нагреве металла до определенных температур, выдержка и последующего очень медленного охлаждения вместе с печью. Применяют для улучшения обработки металлов резанием, снижения твердости, получения зернистой структуры, а также для снятия напряжений, устраняет частично (или полностью) всякого рода неоднородности, которые были внесены в металл при предшествующих операциях (механическая обработка, обработка давлением, литье, сварка), улучшает структуру стали.

Отжиг первого рода. Это отжиг при котором не происходит фазовых превращений, а если они имеют место, то не оказывают влияния на конечные результаты, предусмотренные его целевым назначением. Различают следующие разновидности отжига первого рода: гомогенизационный и рекристаллизационный.

Гомогенизационный - это отжиг с длительной выдержкой при температуре выше 950°С (обычно 1100-1200°С) с целью выравнивания химического состава.

Рекристаллизационный - это отжиг наклепанной стали при температуре, превышающей температуру начала рекристаллизации, с целью устранения наклепа и получения определенной величины зерна.

Отжиг второго рода. Это отжиг, при котором фазовые превращения определяют его целевое назначение. Различают следующие виды: полный, неполный, диффузионный, изотермический, светлый, нормализованный (нормализация), сфероидизирующий (на зернистый перлит).

Полный отжиг производят путем нагрева стали на 30-50 °С выше критической точки, выдержкой при этой температуре и медленным охлаждением до 400-500 °С со скоростью 200 °С в час углеродистых сталей, 100 °С в час для низколегированных сталей и 50 °С в час для высоколегированных сталей. Структура стали после отжига равновесная, устойчивая.

Неполный отжиг производится путем нагрева стали до одной из температур, находящейся в интервале превращений, выдержкой и медленным охлаждением. Неполный отжиг применяют для снижения внутренних напряжений, понижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием

Диффузионный отжиг. Металл нагревают до температур 1100-1200°С, так как при этом более полно протекают диффузионные процессы, необходимые для выравнивания химического состава.

Изотермический отжиг заключается в следующем: сталь нагревают, а затем быстро охлаждают (чаще переносом в другую печь) до температуры, находящейся ниже критической на 50-100°С. В основном применяется для легированных сталей. Экономически выгоден, так как длительность обычного отжига (13 - 15) ч, а изотермического отжига (4 - 6)

Сфероидизирующий отжиг (на зернистый перлит) заключается в нагреве стали выше критической температуры на 20 - 30 °С, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.

Светлый отжиг осуществляется по режимам полного или неполного отжига с применением защитных атмосфер или в печах с частичным вакуумом. Применяется с целью защиты поверхности металла от окисления и обезуглероживания.

Нормализация - заключается в нагреве металла до температуры на (30-50) °С выше критической точки и последующего охлаждения на воздухе. Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Вместо отжига низкоуглеродистые стали подвергают нормализации. Для среднеуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо закалки и высокого отпуска. Высокоуглеродистые стали подвергают нормализации с целью устранения цементитной сетки. Нормализацию с последующим высоким отпуском применяют вместо отжига для исправления структуры легированных сталей. Нормализация по сравнению с отжигом - более экономичная операция, так как не требует охлаждения вместе с печью.

Закалка

Закалка - это нагрев до оптимальной температуры, выдержка и последующее быстрое охлаждение с целью получения неравновесной структуры.

В результате закалки повышается прочность и твердость и понижается пластичность стали. Основные параметры при закалке - температура нагрева и скорость охлаждения. Критической скоростью закалки называется скорость охлаждения, обеспечивающая получение структуры - мартенсит или мартенсит и остаточный аустенит.

В зависимости от формы детали, марки стали и требуемого комплекса свойств применяют различные способы закалки.

Закалка в одном охладителе. Деталь нагревают до температуры закалки и охлаждают в одном охладителе (вода, масло).

Закалка в двух средах (прерывистая закалка) - это закалка при которой деталь охлаждают последовательно в двух средах: первая среда - охлаждающая жидкость (вода), вторая - воздух или масло.

Ступенчатая закалка. Нагретую до температуры закалки деталь охлаждают в расплавленных солях, после выдержки в течении времени необходимого для выравнивания температуры по всему сечению, деталь охлаждают на воздухе, что способствует снижению закалочных напряжений.

Изотермическая закалка так же, как и ступенчатая, производится в двух охлаждающих средах. Температура горячей среды (соляные, селитровые или щелочные ванны) различна: она зависит от химического состава стали, но всегда на 20-100 °С выше точки мартенситного превращения для данной стали. Окончательное охлаждение до комнатной температуры производится на воздухе. Изотермическая закалка широко применяется для деталей из высоколегированных сталей. После изотермической закалки сталь приобретает высокие прочностные свойства, то есть сочетание высокой вязкости с прочностью. термический обработка отжиг закалка

Закалка с самоотпуском имеет широкое применение в инструментальном производстве. Процесс состоит в том, что детали выдерживаются в охлаждающей среде не до полного охлаждения, а в определенный момент извлекаются из нее с целью сохранения в сердцевине детали некоторого количества тепла, за счет которого производится последующий отпуск.

Отпуск

Отпуск стали является завершающей операцией термической обработки, формирующей структуру, а следовательно, и свойства стали. Отпуск заключается в нагреве стали до различных температур (в зависимости от вида отпуска, но всегда ниже критической точки), выдержке при этой температуре и охлаждении с разными скоростями. Назначение

отпуска - снять внутренние напряжения, возникающие в процессе закалки, и получить необходимую структуру.

В зависимости от температуры нагрева закаленной детали различают три вида отпуска: высокий, средний и низкий.

Высокий отпуск производится при температурах нагрева выше 350-600 °С, но ниже критической точки; такой отпуск применяется для конструкционных сталей.

Средний отпуск производится при температурах нагрева 350 - 500 °С; такой отпуск широко применяется для пружинной и рессорной сталей.

Низкий отпуск производится при температурах 150-250 °С. Твердость детали после закалки почти не изменяется; низкий отпуск применяется для углеродистых и легированных инструментальных сталей, для которых необходимы высокая твердость и износостойкость.

Контроль отпуска осуществляется по цветам побежалости, появляющимся на поверхности детали.

Старение

Старение - это процесс изменения свойств сплавов без заметного изменения микроструктуры. Известны два вида старения: термическое и деформационное.

Термическое старение протекает в результате изменения растворимости углерода в железе в зависимости от температуры.

Если изменение твердости, пластичности и прочности протекает при комнатной температуре, то такое старение называется естественным.

Если же процесс протекает при повышенной температуре, то старение называется искусственным.

Деформационное (механическое) старение протекает после холодной пластической деформации.

Таблица 1. Режимы термической обработки быстрорежущих сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Тем-ра °С	Твердость НВ	Тем-ра °С	Среда охл.	Тем-ра °С	Твердость НВ
P18	830 – 850	207 – 255	1260 – 1300	Масло, соли	550 – 570	64 – 65
P10K5Ф5	840 – 860	207 – 255	1220 – 1240	Масло, соли	575 – 585	65 – 67
P9K5	840 – 860	207 – 255	1220 – 1240	Масло, соли	555 – 565	65 – 67
P6M3	830 – 850	207 – 235	1210 – 1230	Масло, соли	555 – 565	65 – 66
P18Ф2K8M	850 – 870	263 – 277	1220 – 1260	Масло, соли	560 – 570	67 – 68
P9Ф5	840 – 860	263 – 277	1240 – 1260	Масло, соли	575 – 585	65 – 67
P14Ф4	850 – 860	263 – 277	1240 – 1260	Масло, соли	575 – 585	67 – 68
P18Ф2	840 – 860	263 – 277	1260 – 1380	Масло, соли	575 – 585	67 – 68

Порядок выполнения работы:

Задание 1. Изучить данные методические указания.

Задание 2. По данным своего варианта выбрать режимы термообработки из таблиц 1, 2, зарисовать микроструктуру, соответствующую полученной термообработке.

Задание 3. Определить химический состав своего материала, заполнить таблицу 3.

Сделать выводы о механических свойствах инструментальной стали после термообработки.

Задание 4. Заполнить протокол (таблица 3.).

Таблица 2. Варианты задания

Вариант	1	2	3	4	5	6
Марка стали	У7	У8	У10	У11	У13	9ХС
Марка стали	ХВГ	ХВСГ	ХСВФ	P18	P10K5Ф5	3Х2В8Ф
Марка стали	P6М3	P18Ф2К8М	P9Ф5	P14Ф4	P18Ф2	ХГ

Таблица 3. Протокол практической работы

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура °С	Твердость НВ	Температура °С	Среда охл.	Температура °С	Твердость НВ

Контрольные вопросы

1. Для чего проводится термообработка сталей?
2. Виды отжига первого рода
3. Чем отличается закалка от отпуска?
4. Виды отжига второго рода
5. Дефекты Т.О.

Практическая работа №8

Тема: Изучение структуры и свойств сталей после химико-термической обработки

Цель работы: ознакомление с основными положениями теории химико-термической обработки; изучение технологических процессов важнейших видов химико-термической обработки и структуры слоев стали после ХТО.

Оборудование:

- металлографический микроскоп;
- твердомер типа ТК (прибор Роквелла);
- полировальный станок;
- набор микрошлифов закаленные и отпущенные образцы;
- фотографии микроструктур сталей и чугунов;
- пинцет;
- реактив для травления;
- шлифовальная и микронная шкурка;
- циркуль и линейку.

Справочный материал

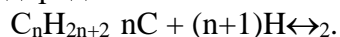
Химико-термической обработкой (ХТО) называют технологические процессы, приводящие к диффузионному насыщению поверхностного слоя деталей различными элементами. ХТО применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии. При ХТО деталь помещают в среду, богатую насыщающим элементом. При ХТО происходят три элементарных процесса: *диссоциация*, *абсорбция* и *диффузия*. *Диссоциация* протекает в газовой среде и состоит в распаде молекул и образовании активных атомов диффундирующего элемента. Степень распада молекул газа называется *степенью диссоциации*. *Абсорбция* происходит на границе «газ–металл» и заключается в поглощении поверхностью металла насыщающего элемента. Под *диффузией* понимают проникновение элемента вглубь насыщаемого металла. В результате ХТО образуется диффузионный слой.

Наибольшая концентрация насыщаемого элемента наблюдается на поверхности изделия, по мере удаления от поверхности она снижается. Фазовые и структурные изменения, происходящие при ХТО в диффузионном слое, и его строение определяются изотермическим разрезом диаграммы состояния «обрабатываемый металл – насыщающий элемент» при температуре диффузионного насыщения.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются *цементация*, *азотирование*, *цианирование* (*нитроцементация*), *борирование*, *хромирование*.

Цементация стали. Технологический процесс диффузионного насыщения углеродом называется *цементацией*. Цель цементации – получить детали машин и механизмов с твердой и износоустойчивой поверхностью при сохранении вязкой, хорошо выдерживающей динамические нагрузки сердцевины. Цементированные изделия предназначены для работы при знакопеременных нагрузках и в условиях трения и износа. Цементации подвергают зубчатые колеса, валы, оси, распределительные валики, кулачки, червяки, изготовленные, как правило, из малоуглеродистой стали с содержанием углерода не более 0,3 %. Цементация проводится путем нагрева и длительной выдержки деталей в науглероживающей среде при температуре аустенитного состояния стали (900–950 °С). Цементацию наиболее часто осуществляют в газовой среде или в твердом карбюризаторе. При газовой цементации

образование атомарного углерода происходит в результате диссоциации предельных углеводородов



При цементации в твердом карбюризаторе атомарный углерод образуется в результате диссоциации оксида углерода



Содержание углерода в поверхностной зоне определяется пределом его растворимости в аустените при температуре цементации (линия *SE* диаграммы «железо–цементит»). Обычно цементацию проводят таким образом, чтобы содержание углерода в поверхностной зоне диффундирующего слоя не превышало 1,2 %. По мере удаления от поверхности в глубину изделия содержание углерода постепенно снижается, доходя до исходного состояния в цементируемой стали. После медленного охлаждения от температуры цементации поверхностная зона имеет структуру заэвтектоидной стали и состоит из перлита и карбидов (цементита). Это, так называемая заэвтектоидная зона. Далее следует эвтектоидная зона, представляющая собой перлит. Содержание углерода в эвтектоидной зоне углеродистых сталей около 0,8 %. Под эвтектоидной находится доэвтектоидная зона со структурой перлита и феррита. Микроструктура поверхностной области стали после цементации приведена на рисунке 15.3.

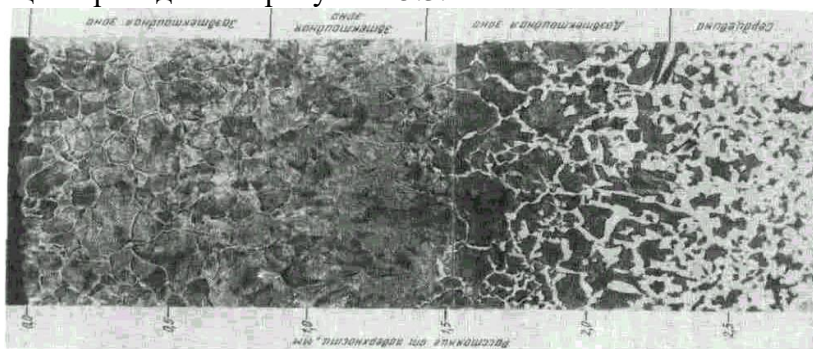


Рисунок 1. Микроструктура поверхностной области стали, подвергнутой цементации

После цементации изделия подвергаются неполной закалке с последующим низким отпускком. В результате термической обработки высокоуглеродистая поверхностная зона приобретает структуру отпущенного мартенсита с включением карбидов (цементита). Твердость ее достигает значения HRC 62.

После термической обработки твердость сердцевины определяется химическим составом стали и находится в пределах HRC 15–35. В зависимости от упрочнения сердцевины цементируемые стали делятся на три группы: *углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной*, *низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной*, *высоколегированные стали с упрочняемой сердцевиной*. К первой группе относятся стали 10, 15, 20. В этом случае даже после закалки в воде сердцевина имеет феррито-перлитную структуру. При закалке в масле сердцевина низколегированных сталей *второй группы* к которым относятся 15X, 20X, 15XP, 20XH, претерпевает бейнитное превращение и заметно упрочняется. В сердцевине высоколегированных цементируемых сталей 20XГР, 20XНР, 18XГТ, 30XГТ, 12XНЗ, 12X2Н4, 18X2Н4В после охлаждения в масле и далее на воздухе образуется структура нижнего бейнита или мартенсита, что приводит к весьма интенсивному упрочнению.

Азотированием называется процесс поверхностного насыщения стали азотом. Оно применяется в целях повышения твердости, износостойкости и предела усталости, а также коррозионной стойкости деталей машин. Процесс азотирования проводится при 480–650 °С в течение 1–90 ч в среде газообразного аммиака, диссоциирующего по реакции



Образовавшийся атомарный азот адсорбируется поверхностью и диффундирует в металл. Изменения микроструктуры поверхностной зоны, происходящие при азотировании,

можно представить на основании диаграммы «железо–азот» – нитрид $Fe'\gamma$ – азотистый аустенит; γ – азотистый феррит. В этой системе возможно образование следующих фаз: ϵ – нитрид $Fe\epsilon N$; ζN . Со многими легирующими элементами азот также образует химические соединения – нитриды (CrN , Cr_2N , MnN , TiN , MoN , AlN , и др.)

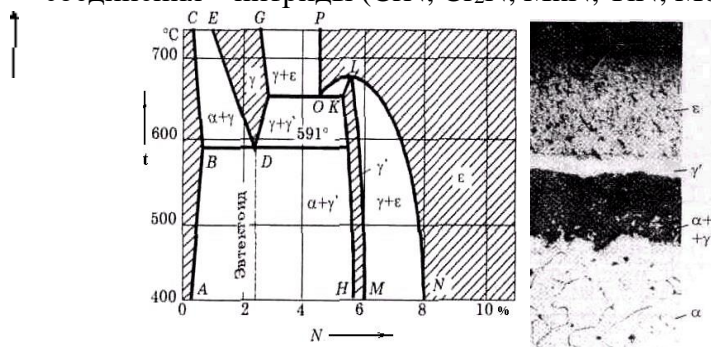


Рисунок 2. Диаграмма системы Fe–N (а) и микроструктура поверхностной области стали, подвергнутой азотированию (б)

При температуре азотирования **железа** ниже эвтектоидной (591° (Fe_3C)) азотированный слой состоит из трех последовательно расположенных друг за другом фаз: ζ ($Fe'\gamma N$), ϵ ($Fe\alpha N$) и α -фаза при 591° ($\gamma(N)$). В процессе медленного охлаждения с этих температур $^{\circ}$, а при быстром охлаждении претерпевает мартенситное превращение. γ и αC испытывает эвтектоидное превращение на

В отличие от железа наличие углерода в **стали** приводит к образованию на поверхности диффузионного слоя карбонитридных фаз типа $Fe_3(C, N)$.

При азотировании **легированных**, одновременно образуются нитриды легирующих элементов. Для повышения твердости и износоустойчивости процессу азотирования подвергают специальные стали, получившие название α , γ , γ' , ϵ сталей наряду с вышеперечисленными фазами – *нитраллои*. Они содержат алюминий, хром, молибден, которые образуют стойкие против коагуляции и роста нитриды. Наиболее часто азотированию подвергают стали 35ХМЮА, 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 35ХМА. Азотирование проводится при $500\text{--}520^{\circ}$ -зоне происходит образование очень дисперсных спецнитридов CrN , MoN , AlN . Эти дисперсные частицы препятствуют движению дислокаций и, тем самым, повышают твердость азотированного слоя до $1000\text{ HV}\cdot\alpha C$. В процессе охлаждения нитраллоев от температуры азотирования до комнатной, вследствие уменьшения растворимости легирующих элементов, в

Твердость обычных конструкционных сталей после азотирования невысока. Для повышения **усталостной прочности** азотируют обычные конструкционные хромоникелевые стали.

С целью повышения коррозионной стойкости азотированию могут подвергаться любые стали. Процесс проводится при $600\text{--}700^{\circ}$ -фазы. ϵC в течение $0,5\text{--}1,0$ ч. Коррозионная стойкость повышается в результате образования на поверхности изделия сплошной зоны из

Азотирование является окончательной обработкой. Термическая обработка – улучшение, заключающаяся в закалке и высоком отпуске, предшествует азотированию. Азотированию подвергают такие детали, как гильзы гидроцилиндров и коленчатые валы дизелей, валы, шпиндели, ходовые винты и трубчатые изделия в станкостроении, зубчатые колеса.

Цианированием называется процесс одновременного насыщения поверхности деталей углеродом и азотом. Различают высокотемпературное и низкотемпературное цианирование.

Высокотемпературное цианирование проводят при $800\text{--}900^{\circ}C$. Цель его повысить твердость, износостойкость и усталостную прочность деталей машин из малоуглеродистых и среднеуглеродистых простых и легированных сталей. После высокотемпературного цианирования следует закалка и низкий отпуск.

Низкотемпературное цианирование проводят при 540–580 °С и применяют в основном для повышения стойкости окончательно термически обработанного инструмента из быстрорежущей стали.

Процесс цианирования осуществляется в жидких и газообразных средах. Жидкое цианирование осуществляется в ваннах в смеси расплавленных цианистых солей типа NaCN, KCN с нейтральными солями типа NaCl, BaCl₂, BaCO₃. Недостатками процесса жидкостного цианирования являются большая ядовитость цианистых солей и высокая их стоимость.

Газовое цианирование называют нитроцементацией. Этот процесс осуществляют в смеси науглероживающих и азотирующих газов. В качестве науглероживающего может быть любой газ, применяемый при газовой цементации. Азотирующим газом является аммиак. Структура цианированного слоя определяется количеством углерода и азота, находящихся в нем. На состав и свойства цианированного слоя особое влияние оказывает температура цианирования. Повышение ее увеличивает содержание углерода в слое, снижение – увеличивает содержание азота.

После цианирования на поверхности возникает тонкий карбонитридный слой Fe₃(C, N), который часто металлографически не обнаруживается. Под ним лежит слой азотистого феррита. После закалки и низкого отпуска цианированный слой представляет собой карбонитридный мартенсит с включениями карбонитридных фаз.

В настоящее время высокотемпературное газовое цианирование (нитроцементация) широко внедряется вместо газовой цементации. Высокотемпературное цианирование проводят при более низких температурах, не вызывающих рост зерна как, например, при газовой цементации. Кроме этого цианированные изделия по твердости и износостойкости превосходят цементированные. Это объясняется наличием в диффузионном слое не только углерода, но и азота.

Борирование – это диффузионное насыщение поверхностного слоя бором. Процесс проводится с целью повышения поверхностной твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости. Наиболее перспективны для промышленного использования борирования в порошкообразных смесях, в расплавах солей и газовое борирование.

Твердое борирование проводят в порошковых смесях на основе технического карбида бора (B₄C) или в металлотермических смесях, основу которых составляют оксид бора (B₂O₃) и алюминий. Борирование из обмазок целесообразно применять при необходимости упрочнения крупногабаритных изделий или для местного борирования отдельных участков деталей. Поставщиками бора при насыщении из обмазок являются карбид бора или оксид бора. На поверхность обрабатываемого изделия обмазки наносят кистью. Наиболее часто применяются обмазки, состоящие из двух слоев – активного и защитного. Защитный слой предохраняет активный от окисления в процессе борирования в кислородосодержащей атмосфере.

Борирование в расплавах солей и окислов делится на электролизное и безэлектролизное. Электролизное борирование проводят в расплаве буры (Na₂B₄O₇). Обрабатываемая деталь является катодом. Безэлектролизное борирование осуществляют в расплавах боросодержащих веществ (B, B₄C и др.) и нейтральных солей.

Газовое борирование проводят в среде, полученной разложением газообразных соединений бора. Наиболее часто применяется *диборан* (B₂H₆) и *треххлористый бор* (BCl₃), которые разбавляют газами, не содержащими бор (H₂, Ar, N₂).

Борирование сталей проводят при температурах 800–1050 °С в течение 2–10 ч. Борированный слой состоит из двух зон: зоны боридов и переходной зоны (рисунок 15.5, а). Зона боридов имеет характерное игольчатое строение и представляет собой химические соединения бора и железа. При жидкостном борировании зона имеет однофазное строение и состоит из фазы Fe₂B, во всех остальных случаях состоит из двух фаз – FeB и Fe₂B. Углерод резко снижает содержание боридов FeB в слое, а легирующие элементы за исключением алюминия к меди – увеличивают. Легирующие элементы в сталях собственных боридов не образуют, а легируют бориды железа.

Под зоной боридов располагается переходная зона, отличающаяся по своей структуре от сердцевины. Она представляет собой твердый раствор бора, а также углерода и легирующих элементов в железе. Толщина переходной зоны определяется глубиной проникновения бора. Легирующие элементы уменьшают толщину переходной зоны.

Средне-, тяжело нагруженные детали после борирования подвергаются закалке и отпуску.

Борирование используют для упрочнения различных деталей машин, технологической оснастки и инструмента, работающих в условиях интенсивного износа.

Хромирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностных деталей хромом. Хромирование железа и сталей с содержанием углерода менее 0,2 % проводят с целью повышения коррозионной стойкости в различных агрессивных средах и жаростойкости. Стали с содержанием углерода более 0,3 % подвергают хромированию прежде всего для повышения твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости и жаростойкости.

Хромирование осуществляют в порошковых смесях, в газовой и жидкой средах. Порошковая смесь для хромирования состоит из поставщика хрома, в качестве которого используют порошки хрома, феррохрома, оксиды хрома и веществ, предотвращающих спекание хромосодержащих частиц и прилипание их к поверхности изделий. При хромировании в газовой среде также, как и при насыщении в порошковых смесях источником активных атомов хрома служат галлогениды хрома, находящиеся в газообразном состоянии.

Жидкой средой при хромировании являются расплавы солей хлоридов хрома (CrCl_2 и CrCl_3), а также соли-стабилизатора, в качестве которой используют одно из следующих соединений BaCl_2 , CaCl_2 , MgCl_2 .

Диффузионное превращение хромом проводится при температурах 900–1200 °С в течение 4–10 ч.

Содержание хрома на поверхности слоя достигает 70 %. Толщина слоя не превышает 0,2 мм. Диффузионный слой сталей, содержащих более 0,3 % углерода, состоит из трех зон: карбидной, промежуточной и обезуглероженной. С увеличением углерода до 0,8 % толщина карбидной и промежуточной зон возрастает. Карбидная зона представляет собой сплошной слой карбидов хрома (Cr_3C_2). При хромировании железа и сталей с содержанием углерода менее 0,2 % образующийся диффузионный слой представляет собой твердый раствор хрома в Fe (Cr_7C_3) толщиной до 0,02 мм. Промежуточная зона имеет перлитное строение и состоит из феррита и карбидов хрома. Содержание углерода в обезуглероженной зоне ниже, чем в сердцевине. Микроструктура стали У8 после хромирования представлена на рисунке 15.5, б. При необходимости, после хромирования средне- и тяжело нагруженные детали подвергают закалке с последующим отпуском. Хромирование применяется для повышения стойкости штампового инструмента, пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов, различных деталей двигателей и газовых турбин, работающих при высоких температурах, фильтров нефтяных скважин, деталей насосов и турбобуров, крепежных деталей.

Задание по работе

1 Изучить теорию и технологию химико-термической обработки.

2 Провести микроанализ шлифов, подвергнутых химико-термической обработке, определить и записать микроструктуру диффузионных слоев и сердцевины, указать их свойства.

Таблица 1. Основные виды и режимы химико-термической обработки, свойства поверхностных слоев

Вид ХТО	Цементация	Нитроцементация	Азотирование	Хромирование	Борирование
---------	------------	-----------------	--------------	--------------	-------------

Среда	СО	СО + NH ₃	NH ₃		Пасты, содержащие хром		Пасты, содержащие В ₄ С, В ₂ О ₃
Температура, °С	≈ 950	550/800	550		≈ 1000		1000
Продолжительность, час	4-8	3-8	1 (Углеродистые стали)	30 (Нитраллои) 38ХМЮ А...	4-10		2-10
Фазы, образуемые в поверхностном слое	П+Fe ₃ С	П+Fe ₃ (С N)	!!!!	CrN, AlN...	Fe _α (Cr) (низкоуглеродистые)	Cr ₇ С ₃ (среднеуглеродистые)	FeB, Fe ₂ B
Свойства поверхностных слоев	Высокая твердость и износостойкость (после закалки и низкого отпуска)	Высокая твердость и износостойкость (после закалки и низкого отпуска), коррозионная стойкость	Повышенные усталостная прочность, коррозионная стойкость	Высокая износостойкость, коррозионная стойкость	коррозионная стойкость	Высокая износостойкость, коррозионная стойкость	Наибольшая износостойкость, коррозионная стойкость
Примечания	Крупнозернистая структура (перегрев)	Мелкозернистая структура		Азотируемое окончательный вид обработки (после улучшения и шлифования)		При необходимости – закалка и отпуск	

Контрольные вопросы:

1. Сущность химико-термической обработки?
2. Назначение каждого вида химико-термической обработки.
3. Сущность диффузионной металлизации, виды, назначение.
4. Как увеличить прочность поверхностного слоя материала.

Практическая работа №8

Тема: Изучение структуры и свойств сталей после химико-термической обработки

Цель работы: ознакомление с основными положениями теории химико-термической обработки; изучение технологических процессов важнейших видов химико-термической обработки и структуры слоев стали после ХТО.

Оборудование:

- металлографический микроскоп;
- твердомер типа ТК (прибор Роквелла);
- полировальный станок;
- набор микрошлифов закаленные и отпущенные образцы;
- фотографии микроструктур сталей и чугунов;
- пинцет;
- реактив для травления;
- шлифовальная и микронная шкурка;
- циркуль и линейку.

Справочный материал

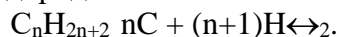
Химико-термической обработкой (ХТО) называют технологические процессы, приводящие к диффузионному насыщению поверхностного слоя деталей различными элементами. ХТО применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии. При ХТО деталь помещают в среду, богатую насыщающим элементом. При ХТО происходят три элементарных процесса: *диссоциация*, *абсорбция* и *диффузия*. *Диссоциация* протекает в газовой среде и состоит в распаде молекул и образовании активных атомов диффундирующего элемента. Степень распада молекул газа называется *степенью диссоциации*. *Абсорбция* происходит на границе «газ–металл» и заключается в поглощении поверхностью металла насыщающего элемента. Под *диффузией* понимают проникновение элемента вглубь насыщаемого металла. В результате ХТО образуется диффузионный слой.

Наибольшая концентрация насыщаемого элемента наблюдается на поверхности изделия, по мере удаления от поверхности она снижается. Фазовые и структурные изменения, происходящие при ХТО в диффузионном слое, и его строение определяются изотермическим разрезом диаграммы состояния «обрабатываемый металл – насыщающий элемент» при температуре диффузионного насыщения.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются *цементация*, *азотирование*, *цианирование (нитроцементация)*, *борирование*, *хромирование*.

Цементация стали. Технологический процесс диффузионного насыщения углеродом называется *цементацией*. Цель цементации – получить детали машин и механизмов с твердой и износоустойчивой поверхностью при сохранении вязкой, хорошо выдерживающей динамические нагрузки сердцевины. Цементированные изделия предназначены для работы при знакопеременных нагрузках и в условиях трения и износа. Цементации подвергают зубчатые колеса, валы, оси, распределительные валики, кулачки, червяки, изготовленные, как правило, из малоуглеродистой стали с содержанием углерода не более 0,3 %. Цементация проводится путем нагрева и длительной выдержки деталей в науглероживающей среде при температуре аустенитного состояния стали (900–950 °С). Цементацию наиболее часто осуществляют в газовой среде или в твердом карбюризаторе. При газовой цементации

образование атомарного углерода происходит в результате диссоциации предельных углеводородов



При цементации в твердом карбюризаторе атомарный углерод образуется в результате диссоциации оксида углерода



Содержание углерода в поверхностной зоне определяется пределом его растворимости в аустените при температуре цементации (линия *SE* диаграммы «железо–цементит»). Обычно цементацию проводят таким образом, чтобы содержание углерода в поверхностной зоне диффундирующего слоя не превышало 1,2 %. По мере удаления от поверхности в глубину изделия содержание углерода постепенно снижается, доходя до исходного состояния в цементируемой стали. После медленного охлаждения от температуры цементации поверхностная зона имеет структуру заэвтектоидной стали и состоит из перлита и карбидов (цементита). Это, так называемая заэвтектоидная зона. Далее следует эвтектоидная зона, представляющая собой перлит. Содержание углерода в эвтектоидной зоне углеродистых сталей около 0,8 %. Под эвтектоидной находится доэвтектоидная зона со структурой перлита и феррита. Микроструктура поверхностной области стали после цементации приведена на рисунке 15.3.

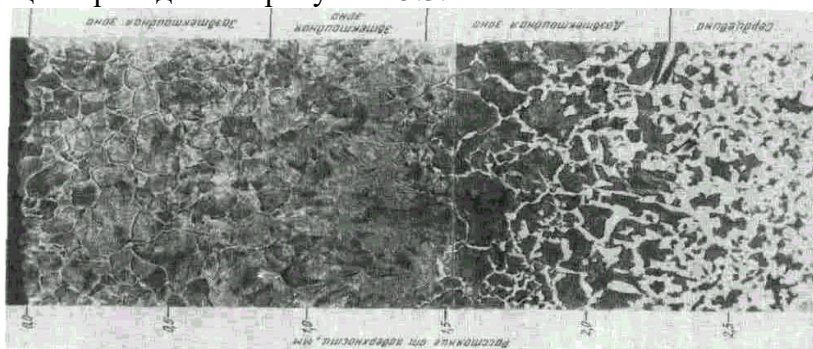


Рисунок 1. Микроструктура поверхностной области стали, подвергнутой цементации

После цементации изделия подвергаются неполной закалке с последующим низким отпускком. В результате термической обработки высокоуглеродистая поверхностная зона приобретает структуру отпущенного мартенсита с включением карбидов (цементита). Твердость ее достигает значения HRC 62.

После термической обработки твердость сердцевины определяется химическим составом стали и находится в пределах HRC 15–35. В зависимости от упрочнения сердцевины цементируемые стали делятся на три группы: *углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной*, *низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной*, *высоколегированные стали с упрочняемой сердцевиной*. К первой группе относятся стали 10, 15, 20. В этом случае даже после закалки в воде сердцевина имеет феррито-перлитную структуру. При закалке в масле сердцевина низколегированных сталей *второй группы* к которым относятся 15X, 20X, 15XP, 20XH, претерпевает бейнитное превращение и заметно упрочняется. В сердцевине высоколегированных цементируемых сталях 20XГР, 20XНР, 18XГТ, 30XГТ, 12XНЗ, 12X2Н4, 18X2Н4В после охлаждения в масле и далее на воздухе образуется структура нижнего бейнита или мартенсита, что приводит к весьма интенсивному упрочнению.

Азотированием называется процесс поверхностного насыщения стали азотом. Оно применяется в целях повышения твердости, износостойкости и предела усталости, а также коррозионной стойкости деталей машин. Процесс азотирования проводится при 480–650 °С в течение 1–90 ч в среде газообразного аммиака, диссоциирующего по реакции



Образовавшийся атомарный азот адсорбируется поверхностью и диффундирует в металл. Изменения микроструктуры поверхностной зоны, происходящие при азотировании,

можно представить на основании диаграммы «железо–азот» – нитрид $Fe'\gamma$ – азотистый аустенит; γ – азотистый феррит. В этой системе возможно образование следующих фаз: ϵ – нитрид $Fe\epsilon N$; ζN . Со многими легирующими элементами азот также образует химические соединения – нитриды (CrN , Cr_2N , MnN , TiN , MoN , AlN , и др.)

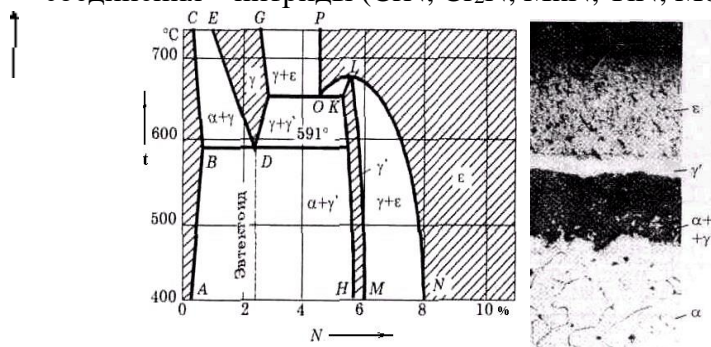


Рисунок 2. Диаграмма системы Fe–N (а) и микроструктура поверхностной области стали, подвергнутой азотированию (б)

При температуре азотирования **железа** ниже эвтектоидной (591° (Fe_3C)) азотированный слой состоит из трех последовательно расположенных друг за другом фаз: ζ ($Fe'\gamma N$), ϵ ($Fe\alpha N$) и α -фаза при 591° ($\gamma(N)$). В процессе медленного охлаждения с этих температур $^\circ$, а при быстром охлаждении претерпевает мартенситное превращение. γ и αC испытывает эвтектоидное превращение на

В отличие от железа наличие углерода в **стали** приводит к образованию на поверхности диффузионного слоя карбонитридных фаз типа $Fe_3(C, N)$.

При азотировании **легированных**, одновременно образуются нитриды легирующих элементов. Для повышения твердости и износоустойчивости процессу азотирования подвергают специальные стали, получившие название α , γ , γ' , ϵ сталей наряду с вышеперечисленными фазами – *нитраллои*. Они содержат алюминий, хром, молибден, которые образуют стойкие против коагуляции и роста нитриды. Наиболее часто азотированию подвергают стали 35ХМЮА, 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 35ХМА. Азотирование проводится при $500\text{--}520^\circ$ -зоне происходит образование очень дисперсных спецнитридов CrN , MoN , AlN . Эти дисперсные частицы препятствуют движению дислокаций и, тем самым, повышают твердость азотированного слоя до 1000 HV. αC . В процессе охлаждения нитраллоев от температуры азотирования до комнатной, вследствие уменьшения растворимости легирующих элементов, в

Твердость обычных конструкционных сталей после азотирования невысока. Для повышения **усталостной прочности** азотируют обычные конструкционные хромоникелевые стали.

С целью повышения коррозионной стойкости азотированию могут подвергаться любые стали. Процесс проводится при $600\text{--}700^\circ$ -фазы. ϵC в течение 0,5–1,0 ч. Коррозионная стойкость повышается в результате образования на поверхности изделия сплошной зоны из

Азотирование является окончательной обработкой. Термическая обработка – улучшение, заключающаяся в закалке и высоком отпуске, предшествует азотированию. Азотированию подвергают такие детали, как гильзы гидроцилиндров и коленчатые валы дизелей, валы, шпиндели, ходовые винты и трубчатые изделия в станкостроении, зубчатые колеса.

Цианированием называется процесс одновременного насыщения поверхности деталей углеродом и азотом. Различают высокотемпературное и низкотемпературное цианирование.

Высокотемпературное цианирование проводят при $800\text{--}900^\circ C$. Цель его повысить твердость, износостойкость и усталостную прочность деталей машин из малоуглеродистых и среднеуглеродистых простых и легированных сталей. После высокотемпературного цианирования следует закалка и низкий отпуск.

Низкотемпературное цианирование проводят при 540–580 °С и применяют в основном для повышения стойкости окончательно термически обработанного инструмента из быстрорежущей стали.

Процесс цианирования осуществляется в жидких и газообразных средах. Жидкое цианирование осуществляется в ваннах в смеси расплавленных цианистых солей типа NaCN, KCN с нейтральными солями типа NaCl, BaCl₂, BaCO₃. Недостатками процесса жидкостного цианирования являются большая ядовитость цианистых солей и высокая их стоимость.

Газовое цианирование называют нитроцементацией. Этот процесс осуществляют в смеси науглероживающих и азотирующих газов. В качестве науглероживающего может быть любой газ, применяемый при газовой цементации. Азотирующим газом является аммиак. Структура цианированного слоя определяется количеством углерода и азота, находящихся в нем. На состав и свойства цианированного слоя особое влияние оказывает температура цианирования. Повышение ее увеличивает содержание углерода в слое, снижение – увеличивает содержание азота.

После цианирования на поверхности возникает тонкий карбонитридный слой Fe₃(C, N), который часто металлографически не обнаруживается. Под ним лежит слой азотистого феррита. После закалки и низкого отпуска цианированный слой представляет собой карбонитридный мартенсит с включениями карбонитридных фаз.

В настоящее время высокотемпературное газовое цианирование (нитроцементация) широко внедряется вместо газовой цементации. Высокотемпературное цианирование проводят при более низких температурах, не вызывающих рост зерна как, например, при газовой цементации. Кроме этого цианированные изделия по твердости и износостойкости превосходят цементированные. Это объясняется наличием в диффузионном слое не только углерода, но и азота.

Борирование – это диффузионное насыщение поверхностного слоя бором. Процесс проводится с целью повышения поверхностной твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости. Наиболее перспективны для промышленного использования борирования в порошкообразных смесях, в расплавах солей и газовое борирование.

Твердое борирование проводят в порошковых смесях на основе технического карбида бора (B₄C) или в металлотермических смесях, основу которых составляют оксид бора (B₂O₃) и алюминий. Борирование из обмазок целесообразно применять при необходимости упрочнения крупногабаритных изделий или для местного борирования отдельных участков деталей. Поставщиками бора при насыщении из обмазок являются карбид бора или оксид бора. На поверхность обрабатываемого изделия обмазки наносят кистью. Наиболее часто применяются обмазки, состоящие из двух слоев – активного и защитного. Защитный слой предохраняет активный от окисления в процессе борирования в кислородосодержащей атмосфере.

Борирование в расплавах солей и окислов делится на электролизное и безэлектролизное. Электролизное борирование проводят в расплаве буры (Na₂B₄O₇). Обрабатываемая деталь является катодом. Безэлектролизное борирование осуществляют в расплавах боросодержащих веществ (B, B₄C и др.) и нейтральных солей.

Газовое борирование проводят в среде, полученной разложением газообразных соединений бора. Наиболее часто применяется *диборан* (B₂H₆) и *треххлористый бор* (BCl₃), которые разбавляют газами, не содержащими бор (H₂, Ar, N₂).

Борирование сталей проводят при температурах 800–1050 °С в течение 2–10 ч. Борированный слой состоит из двух зон: зоны боридов и переходной зоны (рисунок 15.5, а). Зона боридов имеет характерное игольчатое строение и представляет собой химические соединения бора и железа. При жидкостном борировании зона имеет однофазное строение и состоит из фазы Fe₂B, во всех остальных случаях состоит из двух фаз – FeB и Fe₂B. Углерод резко снижает содержание боридов FeB в слое, а легирующие элементы за исключением алюминия к меди – увеличивают. Легирующие элементы в сталях собственных боридов не образуют, а легируют бориды железа.

Под зоной боридов располагается переходная зона, отличающаяся по своей структуре от сердцевины. Она представляет собой твердый раствор бора, а также углерода и легирующих элементов в железе. Толщина переходной зоны определяется глубиной проникновения бора. Легирующие элементы уменьшают толщину переходной зоны.

Средне-, тяжело нагруженные детали после борирования подвергаются закалке и отпуску.

Борирование используют для упрочнения различных деталей машин, технологической оснастки и инструмента, работающих в условиях интенсивного износа.

Хромирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностных деталей хромом. Хромирование железа и сталей с содержанием углерода менее 0,2 % проводят с целью повышения коррозионной стойкости в различных агрессивных средах и жаростойкости. Стали с содержанием углерода более 0,3 % подвергают хромированию прежде всего для повышения твердости и износостойкости, а также коррозионной стойкости и жаростойкости.

Хромирование осуществляют в порошковых смесях, в газовой и жидкой средах. Порошковая смесь для хромирования состоит из поставщика хрома, в качестве которого используют порошки хрома, феррохрома, оксиды хрома и веществ, предотвращающих спекание хромосодержащих частиц и прилипание их к поверхности изделий. При хромировании в газовой среде также, как и при насыщении в порошковых смесях источником активных атомов хрома служат галлогениды хрома, находящиеся в газообразном состоянии.

Жидкой средой при хромировании являются расплавы солей хлоридов хрома (CrCl_2 и CrCl_3), а также соли-стабилизатора, в качестве которой используют одно из следующих соединений BaCl_2 , CaCl_2 , MgCl_2 .

Диффузионное превращение хромом проводится при температурах 900–1200 °С в течение 4–10 ч.

Содержание хрома на поверхности слоя достигает 70 %. Толщина слоя не превышает 0,2 мм. Диффузионный слой сталей, содержащих более 0,3 % углерода, состоит из трех зон: карбидной, промежуточной и обезуглероженной. С увеличением углерода до 0,8 % толщина карбидной и промежуточной зон возрастает. Карбидная зона представляет собой сплошной слой карбидов хрома (Cr_3C_2). При хромировании железа и стали с содержанием углерода менее 0,2 % образующийся диффузионный слой представляет собой твердый раствор хрома в Fe (Fe_3C) толщиной до 0,02 мм. Промежуточная зона имеет перлитное строение и состоит из феррита и карбидов хрома. Содержание углерода в обезуглероженной зоне ниже, чем в сердцевине. Микроструктура стали У8 после хромирования представлена на рисунке 15.5, б. При необходимости, после хромирования средне- и тяжело нагруженные детали подвергают закалке с последующим отпуском. Хромирование применяется для повышения стойкости штампового инструмента, пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов, различных деталей двигателей и газовых турбин, работающих при высоких температурах, фильтров нефтяных скважин, деталей насосов и турбобуров, крепежных деталей.

Задание 1. Изучить теорию и технологию химико-термической обработки.

Задание 2. Провести микроанализ шлифов, подвергнутых химико-термической обработке, определить и записать микроструктуру диффузионных слоев и сердцевины, указать их свойства.

Таблица 1. Основные виды и режимы химико-термической обработки, свойства поверхностных слоев

Вид ХТО	Цементация	Нитроцементация	Азотирование	Хромирование	Борирование
Среда	СО	СО +	NH_3	Пасты, содержащие	Пасты,

		NH ₃			хром		содержащие V ₄ C, V ₂ O ₃
Температура, °С	≈ 950	550/800	550		≈ 1000		1000
Продолжительность, час	4-8	3-8	1 (Углеродистые стали)	30 (Нитраллои) 38ХМЮ А...	4-10		2-10
Фазы, образуемые в поверхностном слое	Π+Fe ₃ C	Π+Fe ₃ (C N)	!!!!	CrN, AlN...	Fe _α (Cr) (низкоуглеродистые)	Cr ₇ C ₃ (среднеуглеродистые)	FeB, Fe ₂ B
Свойства поверхностных слоев	Высокая твердость и износостойкость (после закалки и низкого отпуска)	Высокая твердость и износостойкость (после закалки и низкого отпуска), коррозионная стойкость	Повышенные усталостная прочность, коррозионная стойкость	Высокая износостойкость, коррозионная стойкость	коррозионная стойкость	Высокая износостойкость, коррозионная стойкость	Наибольшая износостойкость, коррозионная стойкость
Примечания	Крупнозернистая структура (перегрев)	Мелкозернистая структура		Азотирующее окончательный вид обработки (после улучшения и шлифования)		При необходимости – закалка и отпуск	

Практическая работа №9

Тема: Изучение структуры и свойств чугунов

Цель работы: изучение микроструктуры чугунов разных марок, установление зависимости между структурой и механическими свойствами чугунов.

Оснащение: набор микрошлифов лабораторной коллекции чугунов, металлографические микроскопы с набором объективов и окуляров, реактивы для выявления микроструктуры.

Справочный материал

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% углерода. В машиностроении чугун является одним из основных литейных материалов, что объясняется прежде всего его хорошими литейными и прочностными свойствами. Он не подвергается обработке давлением. Главным фактором, определяющим свойства, а, следовательно, и область применения чугуна, является его структура, которая может быть разнообразной.

По структуре чугуны делят на белые (БЧ), серые (СЧ), ковкие (КЧ), высокопрочные (ВЧ).

Белые чугуны

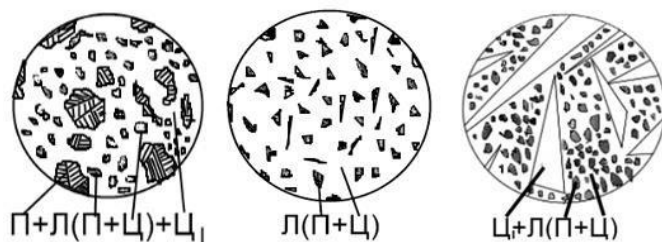
Белым называется чугун, в котором весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита Fe_3C , который придает излому чугуна белый блестящий цвет.

Фазовые превращения в этих чугунах протекают согласно метастабильной диаграмме Fe- Fe_3C (см. рис. 14). По структуре белые чугуны делятся на следующие виды.

а) Доэвтектические, содержащие от 2,14 до 4,3% С. Они состоят из перлита, ледебурита и вторичного цементита, выделяющегося из зерен аустенита в интервале температур от 1147°C (линия *EC*) до 727°C (линия *SK*). Вторичный цементит сливается с цементитом ледебурита и может быть не виден на микрошлифе как самостоятельная структурная составляющая (рис. 17,а);

б) Эвтектические, содержащие 4,3% С. Они состоят из эвтектики – ледебурита, представляющего собой механическую смесь цементита и перлита (рис. 17, б);

в) Заэвтектические, содержащие от 4,3 до 6,67% С. Они состоят из первичного цементита, выделяющегося в виде крупных пластин и ледебурита (рис. 17,в).



а)б)в)

Рис. 17. Структура белого чугуна:

а–доэвтектического, б– эвтектического, в– заэвтектического

В микроструктуре белого чугуна содержится много цементита, поэтому он очень тверд и хрупок, но хорошо сопротивляется износу. Он почти не поддается обработке резанием (за исключением абразивного), поэтому белые чугуны не находят непосредственного применения в машиностроении, их используют редко, только для изготовления деталей, работающих в условиях повышенного абразивного изнашивания (детали гидромашин, пескометов и др.). Будучи главным продуктом доменной плавки, этот чугун используется в металлургии для передела в сталь (передельный чугун). В незначительном количестве белый чугун применяется также для получения ковкого чугуна.

Серые чугуны

Серым называется чугун, в котором углерод находится в виде графита, имеющего форму слегка изогнутых пластин или чешуек, или разветвленных розеток с пластинчатыми лепестками. Вследствие большого количества графита в структуре такой чугун в изломе имеет серый цвет.

Содержание углерода в серых чугунах обычно колеблется в пределах 2,5...4%, при этом до 0,83% углерода находится в химически связанном с железом состоянии. Серый чугун помимо железа и углерода содержит также кремний, марганец, серу, фосфор и т.д.

Кремний способствует процессу графитизации, уменьшает усадку, кремний входит в состав феррита, образуя с α -железом твердый раствор замещения.

Марганец увеличивает склонность чугуна к сохранению цементита, а, следовательно, и увеличивает твердость чугуна.

Сера – вредная примесь чугунов, она повышает их твердость и хрупкость в 5–6 раз больше, чем Mn значительно ухудшает литейные свойства.

Фосфор в небольших количествах в чугунах является полезной примесью (в отличие от сталей), улучшает литейные свойства серого чугуна, так как фосфор образует эвтектику $Fe+Fe_2P$, плавящуюся при температуре $983^\circ C$, что ценно для производства тонкостенного литья. Химический состав серых чугунов: 2,5...4% C; 1,0...4,8% Si; 0,5...0,7% Mn; до 0,12% S; 0,2...0,5% P.

По структуре металлической основы серые чугуны подразделяют в основном на следующие группы:

1. Перлитные. Структура П + ПГ (пластинчатый графит), металлическая основа – П, а количество связанного углерода (Fe_3C) равно эвтектоидной концентрации 0,8% (рис. 18, а).
2. Ферритно-перлитные. Структура Ф + П + ПГ, металлическая основа их состоит из Ф + П, а количество Fe_3C меньше эвтектоидной концентрации (рис. 18, б).
3. Ферритные. Структура Ф + ПГ. Основа их состоит из Ф, а $Fe_3C = 0$ (рис. 16, в).

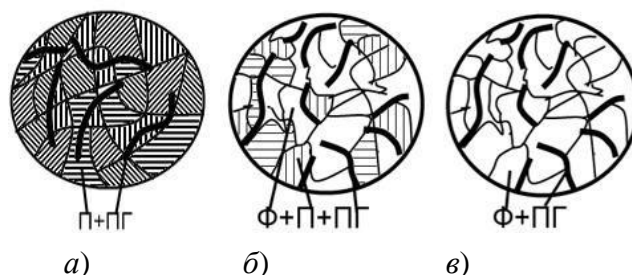


Рис. 18. Структура серого чугуна:

а – перлитного, б – ферритно-перлитного, в – ферритного

Механические свойства чугуна зависят от свойства металлической основы, количества и размеров графитных включений. При конструировании деталей машин следует учитывать, что серые чугуны работают на сжатие лучше, чем на растяжение. Они мало чувствительны к надрезам при циклическом нагружении, хорошо поглощают колебания при вибрациях, обладают высокими антифрикционными свойствами из-за смазывающей способности графита. Серые чугуны хорошо обрабатываются резанием, дешевы и просты в изготовлении. Наряду с этими положительными свойствами они имеют сравнительно невысокую прочность и чрезвычайно низкую пластичность.

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей уменьшенное в 10 раз значение (в мегапаскалях) временного сопротивления при растяжении (табл. 5).

Прочность чугуна существенно зависит от толщины стенки отливки. Указанное в марке значение σ_b соответствует отливкам с толщиной стенки 15 мм. При увеличении толщины стенки от 15 до 150 мм прочность и твердость чугуна уменьшаются почти в два раза.

Графит, ухудшая механические свойства, в то же время придает чугунам ряд ценных свойств. Он измельчает стружку при обработке резанием, оказывает смягчающее действие и,

следовательно, повышает износостойкость чугунов, придает им демпфирующую способность. Кроме того, пластинчатый графит обеспечивает малую чувствительность чугунов к дефектам поверхности. Благодаря этому сопротивления усталости чугунных и стальных деталей соизмеримы.

Согласно ГОСТ 1412-85 отливки изготавливают из серого чугуна следующих марок: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. Цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении (σ_b , кгс/мм²). Чугун СЧ10 – ферритный, а начиная с СЧ25 и более – перлитные, промежуточные – ферритно-перлитные.

Из ферритных чугунов изготавливают в основном неотчетственные детали, к которым предъявляются главным образом требования хорошей обрабатываемости резанием, а не прочности, например, плиты, грузы, корыта, крышки, кожухи и др.

Из ферритно-перлитных чугунов в автомобилестроении изготавливают картеры, тормозные барабаны, крышки, поршни, поршневые кольца, крупные шкивы, зубчатые колеса и др.

Из перлитных – блоки цилиндров, гильзы, маховики и др. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы и верхние салазки, шпиндельные бабки, колонки, каретки и т.д.). К износостойким относится отбеленный серый чугун (ОЧ), имеющий тонкий поверхностный слой со структурой белого чугуна. Применяется для изготовления отливок прокатных валков, вагонных колёс и т.д.

Ковкие чугуны

Название «ковкий чугун» является условным, поскольку изделия из него, как и из любого другого чугуна изготавливают не ковкой, а литьем. Название «ковкий» этот чугун получил вследствие более высоких, по сравнению с серыми чугунами пластических свойств.

Принципиальная схема технологии получения деталей из ковкого чугуна состоит из двух операций. Сначала путем отливки из белого доэвтектического чугуна получают детали (рекомендуемый химический состав заливаемого в формы сплава: 2,4...2,9% С; 1,0...1,6% Si; 0,3...1,0% Mn; $\leq 0,1\%S$; $\leq 0,2\% P$, затем полученные отливки подвергают специальному графитизирующему отжигу (томлению). Отжиг состоит обычно из двух стадий (рис. 19).

Вначале отливки из белого чугуна (чаще упакованные в ящики с песком) медленно нагревают в течение 20...25 ч до температуры 950...1050°C. И при этой же температуре длительно их выдерживают (в течение 10...15 ч). В этот период протекает первая стадия графитизации, т.е. распад цементита, входящего в состав ледебурита (А + Fe₃C), и установление стабильного равновесия аустенит + графит.

В результате распада цементита образуется хлопьевидный графит (углерод отжига).

Металлическая основа чугуна формируется на второй стадии отжига при эвтектоидном превращении. В случае непрерывного охлаждения отливки (на воздухе) в области эвтектоидной (727°C) температуры аустенит распадается на перлит и процесс графитизации не успеет охватить цементит перлита. Чугун принимает структуру: перлит пластинчатый + хлопьевидный графит (ХГ) Он обладает высокими твердостью, прочностью и небольшой пластичностью (НВ 235...305, $\sigma_b = 650...680$ МПа, $\delta = 3,0...15\%$). Для повышения пластичности при сохранении достаточно высокой прочности проводится непродолжительная (2...4 ч) изотермическая выдержка чугуна или замедленное охлаждение при температурах 690...650°C. Это вторая стадия отжига, представляющая собой в данном случае отжиг на зернистый перлит.

В машиностроении широко применяется ферритный ковкий чугун, характеризующийся высокой пластичностью ($\delta = 10...12\%$) и относительно низкой прочностью ($\sigma_b = 370...300$ МПа). Ферритная основа чугуна образуется при очень медленном прохождении интервала 760...720°C или в процессе изотермической выдержки при 720...700°C. Здесь аустенит и цементит, в том числе и цементит перлита, если перлит успел образоваться, распадается на феррит + хлопьевидный графит. Хлопьевидная форма графита

является основной причиной более высокой прочности и пластичности ковкого чугуна по сравнению с серым чугуном (см. табл. 5).

Продолжительность отжига в целом составляет 48...96 ч (длительность второй стадии примерно в 1,5 раза больше, чем первой). Для сокращения продолжительности отжига в расплав перед его разливкой по формам вводится (модифицируют) алюминий (реже бор, висмут и др.), что создает дополнительные искусственные центры образования графита. Согласно ГОСТ 1215-79 выпускают следующие марки ковких чугунов КЧ30-8, КЧ35-10, КЧ37-12, КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5. Первые две цифры соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении (σ_B , кгс/мм²); цифры после тире – относительное удлинение (δ , %)

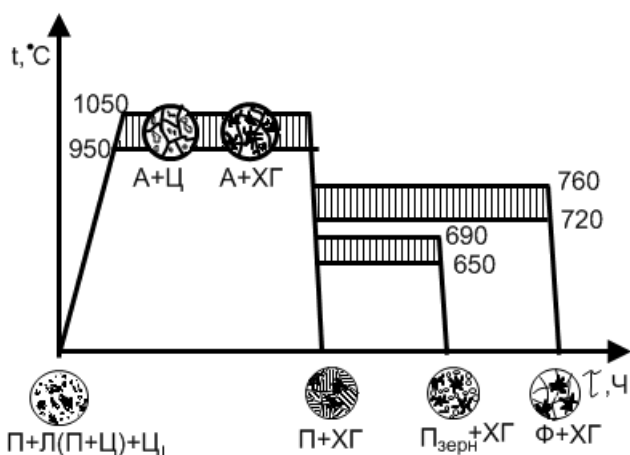


Рис. 19. График отжига белого чугуна на ковкий

Ковкие чугуны применяются для деталей, работающих при ударных вибрационных нагрузках (ступицы, тормозные колодки, коленчатые валы, крюки, картеры редукторов и др.).

Основным недостатком получения КЧ является длительный отжиг отливок и ограничение толщины их стенок (до 50 мм). В массивных деталях в результате замедленного охлаждения при кристаллизации возникает пластинчатый графит (вместо хлопьевидного), который снижает прочность и пластичность чугуна.

Высокопрочные чугуны

Высокопрочный чугун получают при модифицировании (микролегировании жидкого чугуна магнием (0,1...0,5%) или церием (0,2...0,3%). При этом под действием магния графит в процессе кристаллизации принимает не пластинчатую, а шаровидную форму. Микроструктура модифицированного чугуна на ферритной, перлитной, ферритно-перлитной основе приведена на рис. 20, а, б, в.

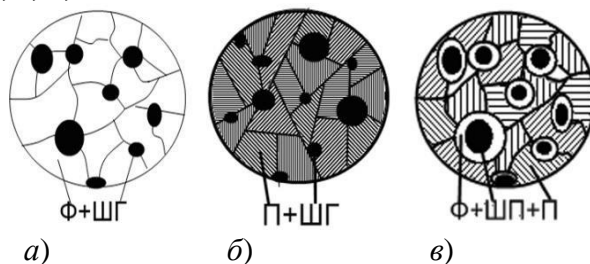


Рис. 20. Структура высокопрочного чугуна:

а–ферритного, б– перлитного, в– ферритно-перлитного

Основной причиной высоких механических свойств высокопрочного чугуна (см. табл. 5) является шаровидная форма графита. Шаровидный графит, имеющий минимальную поверхность при данном объеме, значительно меньше ослабляет металлическую основу чугуна, чем пластинчатый графит. В отличие от последнего он не является активным концентратором напряжений.

Согласно ГОСТ 7293-85, отливки изготавливают из высокопрочного чугуна следующих марок: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 (цифры в обозначении соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении σ_B , кгс/мм²)

Высокопрочный чугун имеет высокие механические характеристики, обладает хорошими литейными и технологическими свойствами. Он применяется как новый материал и как заменитель стали, ковкого и серого чугуна с пластинчатым графитом. По сравнению со сталью обладает большей износостойкостью, лучшими антифрикционными и антикоррозионными свойствами, лучшей обрабатываемостью резанием. Вследствие меньшей плотности отливки легче стальных на 8...10%. Из высокопрочного чугуна, в отличие от ковкого, можно отливать детали любого сечения, массы и размеров.

Области применения: в станкостроении – суппорты, резцедержатели, тяжелые планшайбы, шпиндели, рычаги и др.; для прокатного и кузнечно-прессового оборудования – прокатные валки, станины прокатных станков и ковочных молотов, шаботы, траверсы прессов; для других видов оборудования – барабаны тельферов экскаваторов, коленчатые валы и т.д.

Таблица 1. Механические свойства чугунов

Марка чугуна	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %	<i>HB</i>	Структура металлической основы
	МПа				
Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)					
СЧ10	100	-	-	до 190	Ф
СЧ15	150	-	-	163-210	Ф
СЧ25	250	-	-	180-245	Ф + П
СЧ35	350	-	-	220-275	П
Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293-85)					
ВЧ35	350	220	22	140-170	Ф
ВЧ45	450	310	10	140-225	Ф + П
ВЧ60	600	370	3	192-227	Ф + П
ВЧ80	800	490	2	248-351	П
ВЧ100	1000	700	2	270-360	П
Ковкие чугуны (ГОСТ 1215-79)					
КЧ30-6	300	-	6	100-163	Ф + до 10% П
КЧ35-8	350	-	8	100-163	
КЧ37-12	370	-	12	110-163	
КЧ45-7	450	-	7	150-207	
КЧ60-3	600	-	3	200-269	П + до 20% Ф
КЧ 80-1,5	800	-	1,5	270-320	

Легированные чугуны

Требования к легированным чугунам для отливок с повышенной жаростойкостью, коррозионной стойкостью, износостойкостью или жаропрочностью регламентированы ГОСТ 7769-82. Марки легированных чугунов и их свойства приведены в табл. 6.

Легированные чугуны подвергаются термической обработке для обеспечения необходимых свойств и структуры.

Важным свойством легированных чугунов является сопротивление износу.

В качестве антифрикционных используются чугуны по ГОСТ 1585-85. Они предназначены для изготовления деталей, работающих в узлах трения со смазкой. Стандарт определяет марки антифрикционных чугунов, их химический состав, характеристики, назначение, форму, размер и распределение графита, дисперсность перлита, характер распределения фосфидной эвтектики, твердость и предельные режимы эксплуатации деталей

из этих чугунов. Основой их является железо, постоянные компоненты, %: 2,2–4,3 С; 0,5–4,0 Si; 0,3–12,5Mn. Допускаются примеси, %: 0,1–1 Р; 0,03–0,2S.

Марки антифрикционных чугунов, их характеристики и на значение представлены в табл. 7.

Буквы в обозначениях марок чугунов означают: АЧ – антифрикционный чугун, С – серый чугун с пластинчатым графитом, В – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, К – ковкий чугун с хлопьевидным графитом. Твердость отливок из антифрикционных чугунов (от 100 до 290 *НВ*) зависит от содержания элементов и условий термической обработки.

Предельные режимы работы деталей из этих чугунов в узлах трения: удельное давление (50–300)·10⁴Па (5–300 кгс/см²), окружная скорость 0,3–10 м/с.

Таблица 2. Марки и свойства легированных чугунов (ГОСТ 7769-82)

Марка чугуна	Свойства
ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3	Чугуны, обладающие повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах в условиях трения и износа, жаростойкие в воздушной среде, выдерживают температуру от 500 до 700°С. предназначены для изготовления деталей металлургического производства, кокилей стеклоформ, деталей химического оборудования и др.
ЧХ3Т, ЧХ9Н5, ЧХ22, ЧХ16М2, ЧХ28Д2	Чугуны, обладающие повышенной стойкостью против абразивного износа и истирания
ЧХ22С	Этот чугун характеризуется повышенной коррозионной стойкостью при температуре 1000°С
ЧС13, ЧС15, ЧС17, ЧС15МА, ЧС17М3	Устойчивы к воздействию концентрированных и разбавленных кислот, растворов щелочей, солей
ЧГ6С3Ш, ЧГ7Х4	Чугуны, обладающие высокой стойкостью в абразивной среде
ЧГ8Д3	Немагнитный износостойкий чугун
ЧНХТ, ЧНХМД ЧН2Х, ЧНМШ	Чугуны с высокими механическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии
ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш, ЧН11Г7Ш, ЧН15Д7	Чугуны, обладающие высокими механическими свойствами, высокой коррозионной и эрозионной стойкостью в щелочах, слабых растворах кислот, в морской воде. Чугун ЧН20Д2Ш может быть пластически деформирован в холодном состоянии

Таблица 3. Марки антифрикционных чугунов, их свойства и назначение (ГОСТ 1585-85)

Марка чугуна	Свойства и назначение
АЧС-1	Перлитный чугун, легированный хромом (0,2–0,5%) и медью (0,8–1,6%); предназначен для изготовления деталей, работающих в паре с закаленным

	или нормализованным валом
АЧС-2	Перлитный чугун, легированный хромом (0,2–0,5%), никелем (0,2–0,5%), титаном (0,03–0,1%) и медью (0,2–0,5%); назначение – такое же, как и чугуна марки АСЧ-1
АЧС-3	Перлитно-ферритный чугун, легированный титаном (0,03–0,1 %) и медью (0,2–0,5 %); детали из такого чугуна могут работать в паре, как с «сырым», так и с термически обработанным валом
АЧС-4	Перлитный чугун, легированный сурьмой (0,04–0,4%); используется для изготовления деталей, работающих в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-5	Аустенитный чугун, легированный марганцем (7,5–12,5 %) и алюминием (0,4–0,8%); из этого чугуна изготавливают детали, работающие в особо нагруженных узлах трения в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧС-6	Перлитный пористый чугун, легированный свинцом (0,5–1,0%) и фосфором (0,5–1,0%); рекомендуется для производства деталей, работающих в узлах трения с температурой до 300°С в паре с «сырым» валом
АЧВ-1	Перлитный чугун с шаровидным графитом; детали из такого чугуна могут работать в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом
АЧВ-2	Перлитно-ферритный чугун с шаровидным графитом; изготовленные из этого чугуна детали хорошо работают в условиях трения с повышенными окружными скоростями в паре с «сырым» валом
АЧК-1	Перлитный чугун с хлопьевидным графитом, легированный медью (1,0–1,5%); предназначен для изготовления деталей, работающих в паре с термически обработанным валом
АЧК-2	Ферритно-перлитный чугун с хлопьевидным графитом; детали из этого чугуна работают в паре с «сырым» валом

Порядок выполнения работы

1. Для выполнения работы необходимо иметь коллекцию микрошлифов, состоящую из нетравленных шлифов серого чугуна (немодифицированного и модифицированного), протравленных шлифов белого, серого, высокопрочного и ковкого чугунов.
2. Изучить под микроскопом микрошлифы и определить структурные составляющие.
3. По структурным составляющим определить наименование чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный). Определить увеличение микроскопа. Зарисовать схемы микроструктур.

Контрольные вопросы

1. Что называется чугунами?
2. В зависимости от состояния углерода, какими бывают чугуны?
3. Что называется белым чугуном? Какими они бывают по структуре? Какими механическими свойствами обладают, и в каких областях применяются БЧ?

4. Какие чугуны называются серыми? Пояснить процесс структурообразования и указать химический состав.
5. Привести марки СЧ, назвать их химические свойства и область применения.
6. Какие чугуны называются ковкими? Объяснить способ получения КЧ.
7. Какими бывают по микроструктуре ковкие чугуны? Привести марки ковких чугунов, назвать их механические свойства и область применения.
8. Какие недостатки имеют ковкие чугуны перед другими чугунами?
9. Какие чугуны называются высокопрочными? Объяснить способ получения.

Практическая работа №10

Тема: Изучение структуры и свойств легированных сталей

Цель: научиться производить микроанализ легированных сталей и сплавов, установить связь между структурой, термообработкой и свойствами.

Оборудование: металломикроскоп (МИМ – 6 или МИМ – 7); набор микрошлифов легированных конструкционных и инструментальных сталей; полировально-шлифовальную установку; реактивы для травления и пасту ГОИ; ванночки для травления; вату и спирт для просушки шлифов; альбом с фотографиями микроструктур легированных, конструкционных и инструментальных сталей.

Справочный материал

Микроструктура легированных сталей в отожженном и нормализованном состояниях определяется взаимодействием легирующего элемента с железом и углеродом и количественным соотношением легирующего элемента и углерода в стали.

Легирующие элементы оказывают различные влияния на устойчивость α – и γ – растворов железа.

Так, например, углерод, марганец, никель и некоторые другие элементы повышают точку A_4 и снижают точку A_3 , расширяя тем самым область γ – фазы и сужая область α – фазы. Вольфрам, кремний, хром, ванадий и другие элементы снижают точку A_4 и повышают точку A_3 , что приводит к сужению области γ – фазы и расширению области α – фазы.

По взаимодействию с углеродом легирующие элементы могут быть разделены на следующие группы:

1. Элементы, не образующие карбиды: никель, медь, кремний, кобальт.
2. Элементы, образующие прочные карбиды: хром, марганец, молибден, вольфрам, титан и др. Карбиды этих элементов характеризуются большой устойчивостью по сравнению с карбидом железа (цементитом).

Содержание работы

1. Изучить и зарисовать микроструктуры образцов стали и сплавов, предложенных для изучения (указать марку, химический состав, обработку, структурные составляющие).
2. Изучить микроструктуры стали Р18Д2ХН3А, 1Х18Н9Т и превращения, имеющие место при соответствующей термической обработке.
3. Указать перечень легирующих компонентов наиболее часто вводимых в состав стали и их влияние на изменение свойств сталей.

Легирующие элементы, как правило, тормозят рост зерна аустенита при нагреве, поэтому легированную сталь можно обрабатывать в более широком интервале, чем углеродистую, не опасаясь перегрева.

Состав, марки и классы сталей, рекомендуемые для микроскопического исследования, могут быть следующие.

Хромоникелевая сталь 12Х3А. Химический состав: 0,1 – 0,16% С; 0,3 – 0,6% Мп; 0,6 – 0,9% Сr; 2,8 – 3,2% Ni.

Сталь цементуемая. Хром специальных карбидов в стали не образует, а легирует феррит и цементит. Никель полностью растворяется в феррите.

После цементации сталь подвергается термической обработке. Структура поверхностного слоя стали 12ХН3А – мартенсит и остаточный аустенит (светлые мелкие зерна) Рисунок 1.

Структура сердцевины – мартенсит.

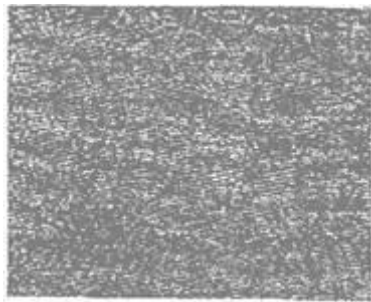


Рисунок 1 - Сталь 12ХНЗА после закалки с 860°С и отпуска при 150°С (край). Травление 4%-ным раствором HNO_3 в спирте. X500

Рисунок 2 - То же самое, что на рисунке 1, (сердцевина).

Хромоникелевая сталь 1Х18Н9Т. Химический состав: 0,12% С; 17 – 20% Cr; до 0,8% Ti, 8 – 11% Ni.

Микроструктура стали после закалки состоит из зерен аустенита с наличием двойников и небольшого количества карбидов TiC рисунок 3.

Легирующие компоненты в стали влияют следующим образом: хром придает коррозионную стойкость, никель создает аустенитную структуру, а титан предотвращает межкристаллическую коррозию, которая нарушает связь между зернами.

Сталь 1Х18Н9Т кислотостойкая, не поддающаяся межкристаллической коррозии.



Рисунок 3 - Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т. Закалка с 1080° С в воде. Зерна аустенита и карбида TiC. Травление в растворе 3 части HCl и 1 часть HNO_3 . x100.

Марганцовая сталь Г13. Химический состав: 1,0 – 1,3% С; 12 – 14% Mn.

При комнатной температуре в условиях равновесия в сплаве должны присутствовать две фазы: γ – раствор и карбид марганца (Mn_3C).

При высоких температурах присутствует только γ – раствор. Получение состояния, отвечающего диаграмме фазового равновесия в присутствии высокого содержания марганца очень затруднительно, так как марганец способствует резкому переохлаждению аустенита. В литом состоянии микроструктура стали характеризуется аустенитом и карбидом.

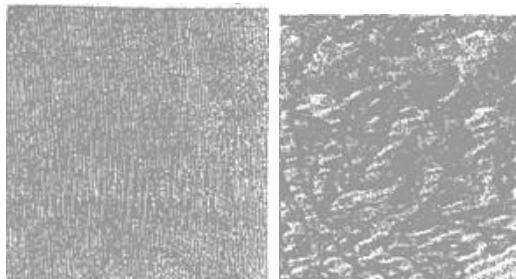


Рисунок 4 - Микроструктура образца стали Г13 после закалки. Травление царской водкой с глицерином. X150.

Рисунок 5 - Микроструктура -образца стали марки Р18 после литья. Травление 3%-ным раствором азотной кислоты. X 2000

После закалки от температуры 1000 – 1050⁰ С с охлаждением в воде фиксируется аустенитная структура, что сообщает изделию, изготовленному из этой стали, высокую стойкость при истирании и высокую пластичность. Микроструктура образца стали Г13 после закалки приведена на рис. 4. На зернах аустенита имеются линии сдвига, образование которых объясняется тем, что эта сталь легко наклепывается даже при малых степенях деформации, имеющей место при изготовлении шлифа.

Инструментальная быстрорежущая сталь Р18. Химический состав: 0,7 – 0,8% С; 3,8 – 4,4% Cr; 17,5 – 19,0% W; 1,0 – 1,4% V; 0,4% Mn; 0,4% Si.

На рис. 5 показана микроструктура образца в сыром состоянии. Она характеризуется ледебуритной составляющей и аустенитом.

Микроструктура стал послековки и отжига, приведенная на рис. 6, характеризуется сорбитом и карбидами.

После закалки с высоких температур микроструктура состоит из зерен аустенита, находящегося в стадии распада на мартенсит, небольшого количества карбидов, преимущественно первичных, не перешедших при нагреве под закалку в твердый раствор рис. 7.

После тройного отпуска аустенит распадается и микроструктура характеризуется мартенситом и карбидами рис. 8.

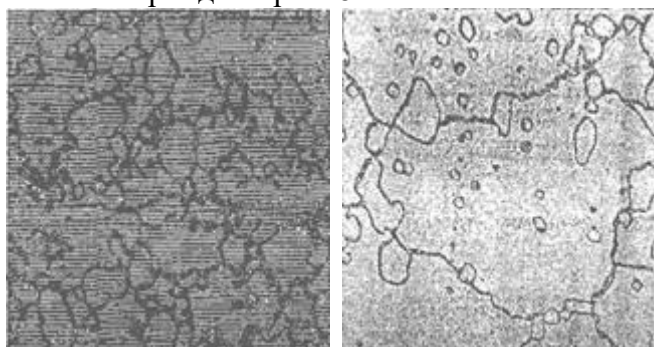


Рисунок 6 - Микроструктура образца стали -P18 после прокатки и отжига. Травление 3%-ным раствором азотной кислоты. X2000

Рисунок 7 - Микроструктура образца стали P18 после закалки. Травление царской водкой с глицерином. X1600

Сплавы на никелевой основе. С очень многими элементами никель образует двойные и тройные твердые растворы (Ni – Fe, Ni Cr – Ti, Ni – Cr – Mo) и промежуточные фазы, которые обладают ценными свойствами. В качестве добавки к никелю используется медь, алюминий, хром, железо, титан в количествах, обеспечивающих получение устойчивости структуры твердого раствора. Например, сплавы типа нихрома идут для изготовления элементов сопротивления, нагревателей, термопар.

После закалки и старения рис. 9 структура состоит из зерен твердого хрома и других элементов в никеле с наличием следов двойникования и небольшого количества карбидов титана TiC.

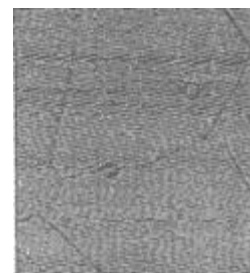


Рисунок 8 - Микроструктура образца стали P18 после закалки и тройного отпуска. Травление царской

Рисунок 9 - Сплав ХН80Т. Закалка с 1080° С и

Порядок выполнения работы

Ознакомились с целью, заданием и методическими указаниями к лабораторной работе. Установить нужное увеличение для стальных образцов. Пользуясь фотографиями микроструктур и схемами зарисовок проанализировать структурные составляющие легированных конструкционных сталей. Сделать их зарисовки.

Задани1. Исследовать образцы сплавов и дать характеристику структур исследуемых сталей.

Задани2. Зарисовать структуры сталей.

Контрольные вопросы

1. Что называется легированной сталью?
2. Какие требования предъявляются к конструкционным сталям?
3. Перечислите стали которые входят в разряд конструкционных?
4. Где применяются хромистые стали?
5. Какие стали называют быстрорежущими? Определите область их применения.
6. Расшифруйте следующие марки сталей: ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ, 40Х9С2, 30ХГСА.

Практическая работа №11

Тема: Расшифровка обозначений марок чугунов, конструкционных и легированных сталей

Цель: развитие умений классифицировать, расшифровывать и характеризовать область применения чугунов и конструкционных сталей, выбирать сплавы по их назначению.

Оборудование: учебник «Материаловедение», справочная литература, линейка, карандаш.

Справочный материал

Расшифровывая марку сплава, необходимо дать его полное название и раскрыть содержание всех букв и цифр марки. Следует иметь в виду, что в ряде сплавов содержание компонентов прямо не указано в марке, но следует из принципов маркировки данного материала и должно быть отражено при расшифровке. Характеризуя область применения сплава, можно сослаться на круг наиболее распространенных изделий из данного сплава. Необходимые для выполнения данного задания сведения содержатся в главе

Чугуны.

Чугуном называют сплав железа с углеродом и другими элементами, содержащими более 2,14 % С.

Чугуны подразделяют на: передельные, специальные (ферросплавы) и литейные. Передельные и специальные чугуны используют для последующей переработки в сталь. Литейные чугуны (около 20 % всего выплавляемого чугуна) отправляют на машиностроительные заводы для использования при изготовлении литых заготовок деталей (литья).

Классификация чугунов

Характерной особенностью чугунов является то, что углерод в сплаве может находиться не только в растворенном и связанном состоянии (в виде химического соединения — цементита Fe_3C), но также в свободном состоянии — в виде графита. При этом форма выделений графита и структура металлической основы (матрицы) определяют основные типы чугуна и их свойства.

Классификация чугуна осуществляется по следующим признакам:

- по состоянию углерода — свободный или связанный;
- по форме включений графита — пластинчатый, вермикулярный, шаровидный, хлопьевидный (рис. 30);
- по типу структуры металлической основы (матрицы) — ферритный, перлитный; имеются также чугуны со смешанной структурой-феррито-перлитные;
- по химическому составу — нелегированные чугуны (общего назначения) и легированные чугуны (специального назначения).

Серый чугун

Серый чугун — это сплав, содержащий в качестве примесей марганец, фосфор, серу. Углерод в серых чугунах преимущественно находится в виде графита пластинчатой формы.

Графит, имеющий невысокую прочность, снижает прочность чугуна. Чем меньше графитовых включений и выше их дисперсность, тем больше прочность чугуна. Свойство графита образовывать смазочные пленки обуславливает снижение коэффициента трения и увеличение износостойкости изделий из серого чугуна. Графит улучшает обрабатываемость резанием.

Согласно ГОСТ 1412-85 серый чугун маркируют буквами «С» — серый и «Ч» — чугун. Число после буквенного обозначения показывает среднее значение предела прочности

чугуна при растяжении. Например, СЧ 20 — чугун серый, предел прочности при растяжении 200 МПа.

Из него изготавливают детали, подвергаемые ударам, воздействию переменных напряжений и интенсивному износу, например коленчатые валы легковых автомобилей.

Высокопрочный чугун

Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре шаровидного графита, который в меньшей степени, чем пластинчатый графит в сером чугуне, ослабляет рабочее сечение металлической основы и, что еще важнее, не оказывает на нее сильного надрезающего действия, благодаря чему вокруг включений графита в меньшей степени создаются концентраторы напряжений. Чугун с шаровидным графитом обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью.

Химический состав и свойства высокопрочных чугунов регламентируются ГОСТ 7293-85 и маркируются буквами «В» — высокопрочный, «Ч» — чугун и числом, обозначающим среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, ВЧ 100 — высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении 1000 МПа (или 100 кг/мм²).

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом является наиболее перспективным литейным сплавом, с помощью которого можно успешно решать проблему снижения массы конструкций при сохранении их высокой надежности и долговечности.

Высокопрочный чугун используют для изготовления ответственных деталей (коленчатые валы, зубчатые колеса, цилиндры и др.).

Белый и ковкий чугун

Белые чугуны характеризуются тем, что у них весь углерод находится в химически связанном состоянии — в виде цементита. Излом такого чугуна имеет матово-белый цвет. Наличие большого количества цементита придает белому чугуну высокие твердости, хрупкость и очень плохую обрабатываемость режущим инструментом.

Высокая твердость белого чугуна обеспечивает его высокую износостойкость, в том числе и при воздействии абразивных сред. Это свойство белых чугунов учитывается при изготовлении из них поршневых колец. Однако белый чугун применяют главным образом для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун.

Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна определенного химического состава, отличающегося пониженным содержанием графитизирующих элементов (2,4—2,9 % С и 1,0—1,6 % Si).

Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого чугуна регламентирует ГОСТ 1215-79. Ковкие чугуны маркируют буквами «К» — ковкий, «Ч» — чугун и цифрами. Первая группа цифр показывает предел прочности чугуна при растяжении, вторая — относительное его удлинение при разрыве.

Например, КЧ 33-8 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 33 кг/мм² (330 МПа) и относительным удлинением при разрыве 8 %.

Ковкий чугун используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок ответственного назначения, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (детали приводных механизмов, коробок передач, тормозных колодок, шестерен, ступиц и т. п.). Однако ковкий чугун — малоперспективный материал из-за сложной технологии получения и длительности производственного цикла изготовления деталей из него.

Легированные чугуны

В зависимости от назначения различают износостойкие, антифрикционные, жаростойкие и коррозионно-стойкие легированные чугуны.

Химический состав, механические свойства при нормальных температурах и рекомендуемые виды термической обработки легированных чугунов регламентируются ГОСТ 7769-82. В обозначении марок легированных чугунов буквы и цифры, соответствующие содержанию легирующих элементов, те же, что и в марках стали.

Износостойкие чугуны, легированные никелем (до 5 %) и хромом (0,8 %), применяют для изготовления деталей, работающих в абразивных средах. Чугуны (до 0,6 % Сг и 2,5 % Ni) с добавлением титана, меди, ванадия, молибдена обладают повышенной износостойкостью в условиях трения без смазочного материала. Их используют для изготовления тормозных барабанов автомобилей, дисков сцепления, гильз цилиндров и др.

Жаростойкие легированные чугуны ЧХ 2, ЧХ 3 применяют для изготовления деталей контактных аппаратов химического оборудования, турбокомпрессоров, эксплуатируемых при температуре 600°C (ЧХ 2) и 700°C (ЧХ 3).

Жаропрочные легированные чугуны ЧНМШ, ЧНИГ7Х2Ш с шаровидным графитом работоспособны при температурах 500—600°C и применяются для изготовления деталей дизелей, компрессоров и др.

Коррозионно-стойкие легированные чугуны марок ЧХ 1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х (низколегированные) обладают повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах. Их применяют для изготовления деталей узлов трения, работающих при повышенных температурах (поршневых колец, блоков и головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания, деталей дизелей, компрессоров и т. д.).

Антифрикционные чугуны используются в качестве подшипниковых сплавов, так как представляют группу специальных сплавов, структура которых удовлетворяет правилу Шарпи (включения твердой фазы в мягкой основе), способных работать в условиях трения как подшипники скольжения.

Для легирования антифрикционных чугунов используют хром, медь, никель, титан.

Примеры обозначения и расшифровки:

- 1.СЧ15 – серый чугун, предел прочности при растяжении $\sigma_b=150\text{Мпа}$.
- 2.КЧ45-7– ковкий чугун, предел прочности при растяжении $\sigma_b=450\text{Мпа}$, относительное удлинение $\delta=7\%$.
- 3.ВЧ70 – высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении $\sigma_b=700\text{ МПА}$
- 4.АЧВ-2 – антифрикционный высокопрочный чугун, номер 2.
- 5.ЧН20Д2ХШ – жаропрочный высоколегированный чугун, содержащий никеля 20%, 2% меди, 1% хрома, остальное – железо, углерод, форма графита – шаровидная
- 6.ЧС17 – коррозионностойкий кремниевый чугун, содержащий 17% кремния, остальное –железо, углерод.

Стали

Сталь - сплав железа с углеродом, содержащий углерода не более 2,14 %, а также ряд других элементов

Классификация

Для правильного прочтения марки необходимо учитывать ее место в классификации стали по химическому составу, назначению, качеству, степени раскисления.

По **химическому составу** стали подразделяют на углеродистые и легированные.

Стали по назначению делят на конструкционные, инструментальные и стали специального назначения с особыми свойствами.

Стали по качеству классифицируют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

По степени раскисления стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Таблица 1. – Классификация сталей

По химическому составу			
Углеродистые		Легированные	
низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,25-0,6%С) высокоуглеродистые (более 0,6% С).		низколегированные (с суммарным содержанием легирующих элементов до 2,5%), среднелегированные (от 2,5 до 10%) высоколегированные (свыше 10%).	
По назначению			
инструментальные		конструкционные	
По качеству (содержанию вредных примесей)			
обыкновенного качества содержат до 0,06% S и 0,07% P	качественные — до 0,035% S и 0,035% P	высококачественные - не более 0,025% S и 0,025% P,	особо высококачественные - не более 0,015% S и 0,025% P.

Конструкционные стали – стали, предназначенные для изготовления различных деталей, узлов механизмов и конструкций.

Инструментальные стали – стали, применяемые для обработки материалов резанием или давлением, а также для изготовления измерительного инструмента

Специальные стали — это высоколегированные (свыше 10%) стали, обладающие особыми свойствами - коррозионной стойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью, износостойкостью и др

Углеродистые стали

К углеродистым сталям относят стали, не содержащие специально введенные легирующие элементы.

Конструкционные углеродистые стали

Стали углеродистые обыкновенного качества (сталь с достаточно высоким содержанием вредных примесей S и P) обозначают согласно ГОСТ380-94.

Эти наиболее широко распространенные стали поставляют в виде проката в нормализованном состоянии и применяют в машиностроении, строительстве и в других отраслях.

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами

Ст и цифрами от 0 до 6. Цифры—это условный номер марки. Чем больше число, тем больше содержание углерода, выше прочность и ниже пластичность.

Перед символом Ст указывают группу гарантированных свойств: А,Б, В. Если указание о группе отсутствует, значит предполагается группа А. Например, Ст3; БСт4; ВСт2.

Сталь обыкновенного качества выпускается также с повышенным содержанием марганца (0,8-1,1%Mn). В этом случае после номера марки добавляется буква Г. Например, БСт3Гпс.

После номера марки стали указывают степень раскисления: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная сталь. Например, ВСт3пс.

Таблица 2. – Структура обозначения углеродистых сталей

Группа	Обозначение	Номер	Степень	Категория
--------	-------------	-------	---------	-----------

стали		стали	раскисления	
А	Ст	0	-	1,2,3
		1,2,3,4	кп, пс, сп	
		5,6	пс, сп	
Б	БСт	1,2,3,4	кп, пс, сп	1,2
		5,6	пс, сп	
В	ВСт	1,2,3,4	кп, пс, сп	1,2,3,4,5
		5	пс, сп	

Таблица 3. Значение букв и цифр, употребляющихся при маркировке сталей обыкновенного качества

Обозначение	Расшифровка обозначения
А	Группа сталей, поставляемая с гарантированными механическими свойствами. Обычно при обозначении сталей букву А опускают
Б	Группа сталей, поставляемая с гарантированным химическим составом
В	Группа сталей, поставляемая с гарантированными химическим составом и механическими свойствами
Ст	Сокращенное обозначение термина «сталь»
0-6	Условные марки стали
Г	Наличие буквы Г после номера стали означает повышенное содержание марганца
Кп	Сталь «кипящая», раскисленная только ферромарганцем
Пс	Сталь «полуспокойная», раскисленная ферромарганцем и алюминием
Сп	Сталь «спокойная», то есть полностью раскисленная.

Примеры обозначения и расшифровки

1. **БСт2кп** – сталь конструкционная углеродистая обыкновенного качества, группы Б, поставляемая с гарантированным химическим составом, номер 2, кипящая.

2. **Ст5Гпс** – сталь конструкционная обыкновенного качества, группы А, поставляемая с гарантированными механическими свойствами, номер 5, содержание марганца до 1%, полуспокойная.

3. **ВСт3сп** – сталь конструкционная углеродистая обыкновенного качества, группы В, поставляемая с гарантированным химическим составом и механическими свойствами, номер 3, спокойная.

Углеродистые качественные конструкционные стали

Качественная конструкционная сталь – сталь с заметно меньшим содержанием серы, фосфора и других вредных примесей. Обозначается согласно ГОСТ 1050-88.

Сталь маркируют двузначными числами, которые обозначают содержание углерода в сотых долях процента, и поставляют с гарантированными показателями химического состава и механических свойств. Буква Г в марках сталей указывает на повышенное содержание марганца (до 1%).

Примеры обозначения и расшифровки

1. Сталь 25 - сталь конструкционная низкоуглеродистая, качественная, содержащая углерода 0,25%.

3. Сталь 60Г - сталь конструкционная среднеуглеродистая, качественная, содержащая углерода 0,6%, марганца 1%.

Автоматные стали.

По ГОСТ 1414-75 эти стали маркируют буквой А и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Применяют следующие марки автоматной стали: А12, А20, А30, А40Г. Из стали А12 готовят неотчетственные детали, из стали других марок — более ответственные детали, работающие при значительных напряжениях и повышенных давлениях. Сортамент автоматной стали предусматривает изготовление сортового проката в виде прутков круглого, квадратного и шестигранного сечений. Эти стали не применяют для изготовления сварных конструкций.

Котельные стали. Стали листовые для котлов и сосудов, работающих под давлением, применяют для изготовления паровых котлов, судовых топков, камер горения газовых турбин и других деталей. Они должны работать при переменных давлениях и температуре до 450°С. Кроме того, котельная сталь должна хорошо свариваться. Для получения таких свойств в углеродистую сталь вводят технологическую добавку (титан) и дополнительно раскисляют ее алюминием. Выпускают следующие марки углеродистой котельной стали

12К, 15К, 16К, 18К. 20К. 22Кс содержанием в них углерода от 0,08 до 0,28%. Эти стали поставляют в виде листов с толщиной до 200 мм и поковок в состоянии после нормализации и отпуска.

Примеры обозначения и расшифровка

А13 – сталь автоматная, низкоуглеродистая, содержащая 0,13 % углерода.

А12ХН – сталь автоматная легированная, низкоуглеродистая, содержащая 0,12 % углерода, до 1% хрома и никеля.

Легированные стали

Легированной называют сталь со специально введенным одним или более легирующим элементом.

Легированные стали маркируются комбинацией цифр и заглавных букв алфавита. В обозначении нет слова «сталь» или символа «Ст». Например, 40Х, 38ХМ10А, 20Х13. Первые две цифры обозначают содержание углерода в сотых долях процента. Следующие буквы являются сокращенным обозначением элемента. Цифры, стоящие после букв, обозначают содержание этого элемента в целых процентах. Если за буквой не стоит цифра, значит содержание этого элемента до 1%.

Таблица 4. – Обозначение элементов марки

Ю- (Al) Алюминий	С- (Si) Кремний	А- (N) Азот
Р- (В) Бор	Г- (Mn) Марганец	Д – (Cu) Медь
Ф- (V) Ванадий	М – (Mo) Молибден	Е – (Se) Селен
В- (W) вольфрам	Н – (Ni) Никель	Ц – (Zr) Цирконий
Ж – (Fe) Железо	Т – (Ti) Титан	Б– (Nb) Ниобий
К- (Co) Кобальт	Та - Тантал	Х - хром

Для изготовления измерительных инструментов применяют:
Х, ХВГ.

Стали для штампов: 9Х, Х12М, 3Х2Н8Ф.

Стали для ударного инструмента: 4ХС, 5ХВ2С.

Легированные стали с особыми свойствами.

1. Коррозионностойкие стали. Коррозионностойкой (или нержавеющей) называют сталь, обладающую высокой химической стойкостью в агрессивных средах. Коррозионностойкие стали получают легированием низко- и среднеуглеродистых сталей хромом, никелем, титаном, алюминием, марганцем. Антикоррозионные свойства сталям придают введением в них большого количества хрома или хрома и никеля. Наибольшее распространение получили хромистые и хромоникелевые стали.

Например, хромистые стали 95X18, 30X13, 08X17Т.

Хромоникелевые нержавеющие имеют большую коррозионную стойкость, чем хромистые стали, обладают повышенной прочностью и хорошей технологичностью в отношении обработки давлением.

Например, 12X18Н10Т, 08X10Н20Т2.

2. Жаростойкие обладают стойкостью против химического разрушения в газовых средах, работающие в слабонагруженном состоянии.

3. Жаропрочные стали – это стали, способные выдерживать механические нагрузки без существенных деформаций при высоких температурах. К числу жаропрочных относят стали, содержащие хром, кремний, молибден, никель и др.

Например, 40X10С2М, 11X11Н2В2МФ.

4. Износостойкие – стали, обладающие повышенной стойкостью к износу: шарикоподшипниковые, графитизированные и высокомарганцовистые. Особенности обозначения подшипниковых сталей.

Маркировка начинается с буквы Ш, цифра, стоящая после буквы Х, показывает содержание хрома в десятых долях процента.

Например, ШХ9, ШХ15ГС.

Примеры обозначения и расшифровки

1.40ХГТР – сталь конструкционная, легированная, качественная, содержащая 0,4% углерода и по 1% хрома, марганца, титана, бора, остальное железо и примеси.

Задания для работы

Задание 1. Из перечисленных ниже марок чугунов укажите сначала серые, а затем высокопрочные и ковкие: СЧ15, КЧ35-10, ВЧ60-2, КЧ45-6, СЧ25, КЧ50-4, СЧ 35, КЧ56-4, ВЧ45-5, СЧ25, КЧ60-3, ВЧ45-0, КЧ37-12, ВЧ50-1,5, СЧ10, Укажите их механические свойства

Задание 2. Какой химический состав имеют следующие материалы: ЧХЗ, ЧН20Д2ХШ, ЧХ2, ЧН2Х, ЧН4Х2, ЧНХМД.

Задание 3. Распределить стали по химическому составу, назначению и качеству в соответствии с их классификацией по предложенной схеме

Стали Ст4, ВСт3, 08, 05Х2Н4, Р6М5, У13, 45, Ст0, У8А, ХВГ, 5ХВГ, 40ХС, 30ХНМА, У7, У12А			
Углеродистая		Легированная	
Конструкц ионная	Инструментал ьная	Конструкци онная	Инструментал ьная

Обыкновенного качества	Качества	Качества	Высококачественная	Качества	Высококачественная

Задание 4. Расшифровать марки железоуглеродистых сплавов

Вариант	Марка сплава	Вариант	Марка сплава
1	08кп, СЧ10, 5ХМГ	14	У12А, 20Х17Н2, ВЧ70
2	БСт6кп, ХВГ, ВЧ35	15	60, 4Х5МФС, КЧ45-7
3	15, 9ХФ, КЧ 30-6	16	ВСт2пс, 5ХНМ, СЧ35
4	08пс, 9ХС, СЧ15	17	У10А, 12Х13, ВЧ60
5	40, 9ХВГ, ВЧ40	18	85, 5ХГМ, КЧ50-5
6	65, 9Х5ВФ, КЧ 33-8	19	Ст4пс, Х12Ф1, СЧ10
7	Ст3кп, 6ХВФ, СЧ20	20	У10, 08Х17Т, ВЧ80
8	У13А, 06ХН2МДТ, ВЧ45	21	25, 6ХС, КЧ55-4
9	БСт5пс, Х12ВМФ, КЧ35-10	22	ВСт3кп, 6ХВ2С, СЧ15
10	У10А, 08Х18Н10, СЧ25	23	45, Х12, ВЧ100
11	ВСт3Гсп, 4ХС, ВЧ50	24	У8Г, 08Х18Н10Т, КЧ60-3
12	У7, 09Х15Н8Ю, КЧ37-12	25	БСт2пс, Х12ВМФ, СЧ20

5. Расшифровать марку сплава, подобранную в п.4
Сделать вывод по проделанной работе

Задание 5. Расшифровать марки железоуглеродистых сплавов

Вариант	Марка сплава	Вариант	Марка сплава
1	08кп, СЧ10, 5ХМГ	14	У12А, 20Х17Н2, ВЧ70
2	БСт6кп, ХВГ, ВЧ35	15	60, 4Х5МФС, КЧ45-7
3	15, 9ХФ, КЧ 30-6	16	ВСт2пс, 5ХНМ, СЧ35
4	08пс, 9ХС, СЧ15	17	У10А, 12Х13, ВЧ60
5	40, 9ХВГ, ВЧ40	18	85, 5ХГМ, КЧ50-5
6	65, 9Х5ВФ, КЧ 33-8	19	Ст4пс, Х12Ф1, СЧ10
7	Ст3кп, 6ХВФ, СЧ20	20	У10, 08Х17Т, ВЧ80
8	У13А, 06ХН2МДТ, ВЧ45	21	25, 6ХС, КЧ55-4
9	БСт5пс, Х12ВМФ, КЧ35-10	22	ВСт3кп, 6ХВ2С, СЧ15
10	У10А, 08Х18Н10, СЧ25	23	45, Х12, ВЧ100

11	ВСтЗГсп, 4ХС, ВЧ50	24	У8Г, 08Х18Н10Т, КЧ60-3
12	У7, 09Х15Н8Ю, КЧ37-12	25	БСт2пс, Х12ВМФ, СЧ20
13	20, 6ХВ2С, СЧ30	26	10пс, 5Х3МФС, ВЧ35

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь, чугуны и их характеристики?
2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Как классифицируются стали по содержанию углерода?
4. Как классифицируются стали по степени раскисления?
5. Как можно подразделить стали по назначению?
6. Как классифицируются стали по способу производства, степени раскисления?
7. Как маркируются углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные стали?
8. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
9. Что такое легированная сталь?
10. Как маркируются легированные стали?
11. Что такое белый, серый, высокопрочный и ковкий чугуны, их характеристики, назначение? Как маркируются?
12. В чём заключается основное отличие структуры белых и серых чугунов, причины этого отличия?

Практическая работа №12

Тема: Определение причины возникновения дефекта детали.

Цель работы: закрепить полученные знания по изучению причины возникновения дефекта детали

Оборудование: образцы различных деталей машин для определение причины возникновения дефекта детали; средства измерения размеров и форм деталей

Справочный материал

Причины дефектов в деталях и конструкциях

Дефекты в материале и деталях могут появляться как при изготовлении, так и в процессе эксплуатации. При нарушении технологий изготовления отливок и плавления металла возможно образование таких дефектов, как окислы, шлаковые включения, усадочные раковины, поры, рыхлости, трещины. В процессе обработки деталей давлением могут появиться трещины, расслоения, закаты, заливы, флокены, волосовины и др. В результате термической обработки, которой часто сопровождается изготовление деталей, могут происходить обезуглероживание поверхностных слоев металла, снижение твердости, перегрев, пережог, образование хрупких участков, изменение структуры, появляются закалочные трещины. Дефекты механической обработки выражаются в нарушении требований к шероховатости поверхности, образования шлифовочных трещин, подрезов и др.

Часто процесс изготовления конструкция сопровождается деформацией материала, при которой в определенных условиях могут появиться трещины, риски, забоины. При сварочных работах возможны дефекты, присущие сварке; трещины в шве и околошовной зоне, изменение структуры и механических свойств в околошовной зоне, непровары, подрезы шва, шлаковые включения.

Во время эксплуатации детали и конструкции деформируются, изнашиваются, поражаются коррозией и эрозией, в них образуются трещины, изменяются структура и механические свойства металла. Все эти дефекты могут располагаться на поверхности, под поверхностью или в глубине изделия. При этом они носят местный характер, охватывая ограниченные участки изделия, либо равномерно или неравномерно охватывают все изделие.

Потеря работоспособности деталей машин и механизмов может происходить быстро или медленно в зависимости от режимов работы, характера изнашивания и повреждений.

Ниже приводится классификация возможных дефектов деталей и конструкций и причины их возникновения.

Изнашивание: уменьшение прочностных размеров; изменение формы (овальность, конусообразность, бочкообразность и др.); увеличение масляных зазоров; питтинги (оспины) на поверхности — в результате трения; наработки (уступы на рабочей поверхности) — при неполном истирании поверхности металла; повреждение поверхности трения (задиры, царапины, забоины, риски) — при попадании на поверхность трения абразивных частиц и другие причины.

Коррозионное разрушение:

при электрохимической коррозии — сплошная коррозия (равномерная, неравномерная, структурно избирательная) и местная пятнистая, язвенная, межкристаллитная, коррозионное растрескивание под напряжением) — в результате электрохимического коррозионного разрушения при наличии агрессивной внешней среды и влаги;

при химической коррозии — окалина, пузыри, рыхлость металла, отслоения, разрывы при трении, растрескивание по углам или острым кромкам, обезуглероживание (диффузия атомов углерода протекает с большей скоростью, чем окисление поверхности); водородная

хрупкость с образованием трещин вокруг зерен и структурные превращения — вследствие коррозии поверхности под воздействием агрессивной атмосферы без наличия влаги; утонение элементов конструкций и уменьшение размеров деталей: разрыв клапанных соединений — при коррозии.

Эрозионное разрушение:

при газовой эрозии — унос массы вещества с образованием микрорельефа; разрушение межкристаллитного вещества тонкого поверхностного слоя, каверны, изъязвления, борозды, раковины, трещины; структурные превращения металла — вследствие разрушения поверхности под действием потока газов;

при кавитационной эрозии—разъедание, выкрашивание, каверны, борозды, язвы, трещины — в результате разрушения поверхности при обтекании потоками жидкости с возникновением явления кавитации;

при абразивной эрозии — царапины, микрогребни, выкрашивание — вследствие разрушения поверхности под воздействием жидкости либо газового потока вместе со взвешенными в нем абразивными частицами.

Остаточные деформации деталей и конструкций:

гофрировка, вмятины {деформация наружной обшивки корпуса)—при механических повреждениях; проседание, провисание, коробление деталей типа валов (гребные, коленчатые валы, валы роторов турбин, штоки и т. д.)—в результате механических и термических напряжений, недостатков сборки, теплового воздействия;

скручивание деталей типа валов — при механических напряжениях, тяжелых условиях эксплуатации.

Дефекты сварки:

дефекты подготовки и сборки изделий под сварку {неправильные углы скоса при разделке кромок, непостоянство угла скоса кромок по длине, неправильное притупление по длине соединяемых кромок, неспасительные зазоры между кромками; дефекты формы и отклонения в размерах сварных швов (неправильная ширина по длине, неравномерная высота усиления, бугры, седловины); наружные дефекты швов (наплывы, подрезы, незаполненные кратеры, прожоги, газовые поры, пемровары, трещины, перекосы); внутренние дефекты швов (газовые пиры, шлаковые включения, нспровары, трещины), дефекты состава и структуры швов (перегрев, пережог).

Задание 1. Дать подробное описание заданных способов выявления дефектов.

Задание 2. Взять образцы различных деталей машин для определения причины возникновения дефекта детали.

Задание 3. Заполнить ведомость дефектов в соответствии с задачей

Контрольные вопросы

1. Каковы причины возникновения дефектов?
2. Перечислить виды дефектов деталей.
3. Назовите причины возникновения коррозионного разрушения.
4. Назовите дефекты остаточные деформации деталей.

Практическая работа № 13

Тема: Расшифровка обозначения марок сплавов цветных металлов.

Цель работы: развитие умений классифицировать, расшифровывать и характеризовать область применения сплавов цветных металлов

Оснащение: справочник по материаловедению, плакаты: «Область применения медных сплавов», «Свойства алюминиевых сплавов», «Область применения баббитов».

Справочный материал.

Расшифровывая марку сплава, необходимо дать его полное название и раскрыть содержание всех букв и цифр марки. Следует иметь в виду, что в ряде сплавов содержание компонентов прямо не указано в марке, но следует из принципов маркировки данного материала и должно быть отражено при расшифровке. Характеризуя область применения сплава, можно сослаться на круг наиболее распространенных изделий из данного сплава.

Сплавы на основе меди.

Медные сплавы обладают высокими механическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии. Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни. Бронзы - это сплавы меди с оловом (4 - 33% Sn хотя бывают без оловянные бронзы), свинцом (до 30% Pb), алюминием (5-11% Al), кремнием (4-5% Si), сурьмой и фосфором (ГОСТ 493-79, ГОСТ 613-79, ГОСТ 5017-74, ГОСТ 18175-78).

Латуни - сплавы меди с цинком (до 50% Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80). Медные сплавы предназначены для изготовления деталей методами литья, называют литейными, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием - сплавами, обрабатываемыми давлением.

Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Бр или Л), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие кол-во элемента в процентах. Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А - алюминий	Кд - кадмий
Мц - марганец	Ср - серебро
К - кремний	О - олово
С - свинец	Ж - железо
Н - никель	Ф - фосфор
Б - бериллий	Мш - мышьяк
Т - титан	Х - хром
Мг - магний	Ц - цинк

Примеры:

БрА9Мц2Л - бронза, содержащая 9% алюминия, 2% Mn, остальное Cu ("Л" указывает, что сплав литейный);

ЛЦ40Мц3Ж - латунь, содержащая 40% Zn, 3% Mn, ~1% Fe, остальное Cu;

Бр0Ф8,0-0,3 - бронза наряду с медью содержащая 8% олова и 0,3% фосфора;

ЛАМш77-2-0,05 - латунь содержащая 77% Cu, 2% Al, 0,055 мышьяка, остальное Zn (в обозначении латуни, предназначенной для обработки давлением, первое число указывает на содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди: Л96 - латунь содержащая 96% Cu и ~4% Zn (томпак);

Л63 - латунь содержащая 63% Cu и ~37% Zn

Медные сплавы обладают высокими механическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии. По составу легирования различают латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы.

Традиционная маркировка имеет следующий вид.

Латуни обозначаются буквой Л, бронзы – Бр.

У латуни после буквы Л указываются буквенные обозначения легирующих компонентов, далее проставляется массовое процентное содержание меди, затем подряд – массовое процентное содержание легирующих компонентов, содержание цинка – остальное.

Например:

ЛМцЖ55-3-1 – латунь, медь- 55 %, марганец – 3 %, железо – 1 %, цинк – остальное.

У бронзы после букв Бр указываются буквенные обозначения легирующих компонентов, далее подряд – массовое процентное содержание легирующих компонентов, содержание меди – остальное.

Например:

БрОЦС4-4-2,5 – бронза, олово – 4%, кремний – 2.5 %, остальное – медь.

Сплавы на основе титана.

Титановые сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью и прочностью при малой плотности. Наибольшее распространение получили сплавы, легированные алюминием, оловом, марганцем, хромом и ванадием. Сплавы широко используются в машиностроении, особенно в авиа- и судостроении.

Сплавы на основе алюминия.

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. Их марки приведены в ГОСТ4784-74. К деформируемым алюминиевым сплавам не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы Al-Mn и Al-Mg: Амц; АмцС; Амг1; Амг4,5; Амг6. Аббревиатура включает в себя начальные буквы, входящие в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах. К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al-Cu-Mg с добавками некоторых элементов (дуралюны, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного хим.состава. Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, АК4, АК8.

Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами "АД" и условным обозначением степени его чистоты: АДоч (>=99,98% Al), АД000(>=99,80% Al), АД0(99,5% Al), АД1 (99,30% Al), АД(>=98,80% Al).

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685-75) обладает хорошей жидкотекучестью, имеет сравнительно не большую усадку и предназначены в основном для фасонного литья. Эти сплавы маркируются буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2, 5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь, "К" - кремний, "Ц" - цинк, "Н" - никель; цифра - среднее % содержание элемента.

Из алюминиевых антифрикционных сплавов (ГОСТ 14113-78) изготавливают подшипники и вкладыши как литьем так и обработкой давлением. Такие сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: А09-2, А06-1, АН-2,5, АСМТ. В первые два сплава входят в указанное количество олова и меди (первая цифра-олово, вторая-медь в %), в третий 2,7-3,3% Ni и в четвертый медь сурьма и теллур.

Для алюминиевых сплавов характерна относительно большая удельная прочность. Литейные сплавы имеют хорошие литейные свойства, хорошо обрабатываются резанием. Маркируют буквами АЛ, затем цифрами, указывающими порядковый номер сплава.

Деформируемые сплавы обладают удовлетворительной пластичностью, высокой коррозионной стойкостью, в основном применяются для сварных и клепаных соединений элементов конструкций, испытывающих небольшие нагрузки, но требующих высокого сопротивления коррозии. Марки дюралюминиевых сплавов начинаются с буквы Д, за которой стоит цифра, обозначающая условный порядковый номер сплава. 25

Антифрикционные сплавы.

Такие сплавы применяют для заливки подшипников скольжения. Применяются сплавы на основе олова или свинца (баббиты), меди, алюминия, цинка. Баббиты обозначаются буквой Б, далее ставится цифра, показывающая процентное содержание олова, или буква, характеризующая специальный элемент, входящий в сплав.

Например: Б88 – сплав содержит 88 % олова, БТ – сплав содержит теллур, БК2 – основа свинец.

Задание № 1.

Из перечисленных ниже марок оловянных бронз укажите сначала литейные, а затем деформируемые бронзы: БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-4, БрО10, БрОЦСН3-7-5- 1, БрОФ10-1, БрОФ4-0,25, БрОЦС5-5-5, БрОФ6,5-0,4.

Для ответа необходимо учитывать влияние олова на механические свойства оловянных бронз, а также руководствоваться данными таблиц 1,2 и укажите их химический состав.

Задание № 2.

Какой химический состав имеют следующие материалы: БрАЖ9-4, БрКМц3-1, БрБ2, БрМц5, БрС30, Л96, ЛС80-3, ЛЖМц59-1-1, ЛА77-2.

Задание №3

Из перечисленных марок металлических материалов выберите марки антифрикционных сплавов: БрС30, АК4, ШХ6, У7, Б83, Р18, БН, БСт5, БрОЦС5-5-5, АСЧ- 1, Б16, ШХ15, БК, БСт6, БТ, Т15К6, ВТ14.

Задание № 4

Какие из указанных марок литейных алюминиевых сплавов наиболее пригодны для производства отливок и почему: АЛ7, АЛ2, АЛ4, АЛ8, АЛ23, АЛ9, АЛ19?

Задание № 5

Каков химический состав и назначение следующих марок латуней: Л68, ЛС59-1Л, ЛКС80-3-3, ЛАЖ60-1-1?

Таблица 1. Бронзы оловянные литейные

Марка	Вид литья	Механические свойства			Примерное назначение
		σ _b , Мн/м ²	δ, %	НВ	
БрОЦСН3-7-5-1	В кокиль В землю	210 180	5-8	60 60	Арматура, работающая в морской и пресной воде, маслах и других слабокоррозионных средах, антифрикционные детали
БрОЦС3-12-5	В кокиль В землю	210 180	5-8	60 60	Арматура, работающая в пресной воде и парах под давлением до 25кг/см ² (может быть использована для антифрикционных деталей)
БрОЦС5-5-5	В кокиль В землю	180 150	4-6	60 60	Антифрикционные детали

БрОЦС4-4-17	В землю	150	5	60	Антифрикционные детали
БрОЦС3,5-7-5	В кокиль В землю	180 150	4- 6	60 60	Антифрикционные детали

Таблица 2. Бронзы оловянные деформируемые

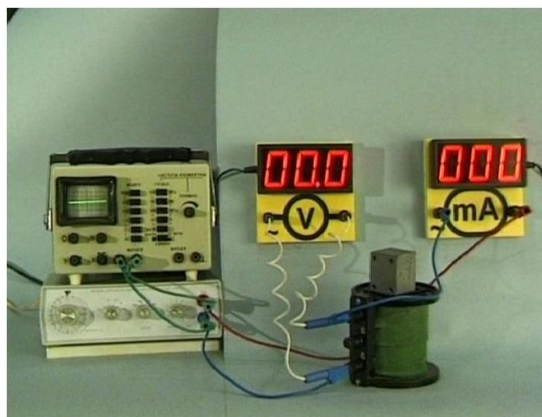
Марка	Вид литья	Механические свойства			Примерное назначение
		σ_b , МН/м ²	δ , %	НВ	
БрОЦС4-4-4	Мягкий	310	3-10	62	Ленты и полосы для прокладок во втулках и подшипниках
БрОФ7-0,2	Мягкий	360	3-6	75	Ленты, полосы, проволока для пружин, прутки, подшипниковые детали
БрОФ6,5-0,4	Мягкий Твердый	350 700	6-7,5	70 - 160	Проволока для металлических сеток в целлюлозно- бумажной промышленности
БрОФ4-0,25	Мягкий Твердый	340 600	5-8	55 - 100	Трубки различных размеров, применяемые в производстве контрольно- измерительных приборов

Практическая работа №14

Тема: Определение параметров катушки индуктивности

Цель: ознакомление с основными параметрами катушек индуктивности и методами их измерений.

Оборудование: источник переменного напряжения; катушка школьного разборного трансформатора; вольтметр и миллиамперметр переменного тока; соединительные провода.



Справочный материал.

Всякое изменение тока в катушке вызывает появление в ней ЭДС самоиндукции, препятствующей изменению тока. Величина ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна величине индуктивности катушки и скорости изменения тока в ней. Но так как переменный ток непрерывно изменяется, то непрерывно возникающая в катушке ЭДС самоиндукции создает сопротивление переменному току. Она препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании. Таким образом, в катушке индуктивности, включенной в цепь переменного тока, создается сопротивление прохождению тока. Но так как такое сопротивление вызывается в конечном счете индуктивностью катушки, то и называется оно индуктивным сопротивлением.

Индуктивное сопротивление обозначается через X_L и измеряется, как и активное сопротивление, в **омах**. Индуктивное сопротивление цепи тем больше, чем больше частота тока, питающего цепь, и чем больше индуктивность цепи. Следовательно, индуктивное сопротивление цепи прямо пропорционально частоте тока и индуктивности цепи; определяется оно по формуле:

$X_L = \omega L$, где ω — круговая частота, определяемая произведением $2\pi\nu$, L — индуктивность цепи в генри ($Гн$).

Т.е.

$$X_L = 2\pi\nu \cdot L$$

Тогда индуктивность катушки можно выразить:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивное сопротивление, звучит так: **величина тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению цепи**, т. е

$$I = \frac{U}{X_L}$$

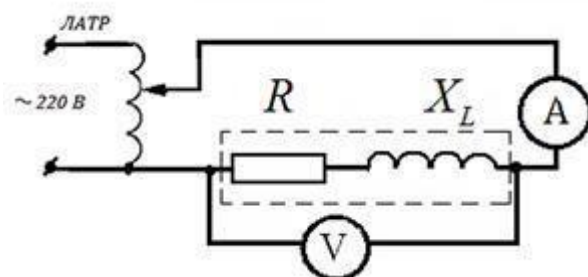
где I и U — действующие значения тока и напряжения, а X_L — индуктивное сопротивление цепи.

Выполнение работы:

1. Подготовить таблицу для результатов измерений и вычислений:

Напряжение U, В	Сила тока I, мА	Индуктивное сопротивление X _L , Ом	Частота ν, Гц	Индуктивность L, мГн

2. Собрать электрическую схему согласно рисунка 1 и перечертить её в тетрадь:



3. Спомощью регулятора напряжения подать на схему напряжение 1,5 В и установить частоту переменного тока 80 Гц. Записать показания миллиамперметра.

4. Увеличивая частоту в 2,3,4 и 5 раз каждый раз записывать показания миллиамперметра в таблицу.

5. Вынуть сердечник из катушки и, не изменяя напряжения и частоты переменного тока, записать показания миллиамперметра в таблицу.

Напряж ение U, В	Сила тока I, мА	Индукт ивное сопротивление X _L , Ом	Частота ν, Гц	Индуктивн ость L, мГн
1,5	0,345		80	
1,5	0,178		160	
1,5	0,121		240	
1,5	0,090		320	
1,5	0,072		400	
1,5	0,284		400	

6. В каждом опыте рассчитать индуктивное сопротивление катушки по формуле:

$$X_L = \frac{U}{I}$$

7. Вычислить в каждом опыте индуктивность катушки L, используя формулу:

$$L = \frac{X_L}{2\pi\nu}$$

8. Сравнивая индуктивности катушек, сделайте вывод, от чего и как зависит индуктивность.

9. Ответьте письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы.

1. Чем вызвано индуктивное сопротивление у катушки при подключении её в цепь переменного тока?

2. От чего зависит индуктивное сопротивление?

3. Почему уменьшается индуктивное сопротивление при удалении из катушки железного сердечника?

4. Почему на постоянном токе индуктивное сопротивление катушки равно нулю?

5. Чему равно индуктивное сопротивление в цепи переменного тока?

6. Как связаны между собой действующие значения силы тока и напряжения на катушке индуктивности?

Практическая работа №15

Тема: Изучение влияния температуры на механические свойства пластмасс

Цель: исследовать влияние повышенных и пониженных температур на механические свойства полимерных материалов.

Оборудование: образцы полимерных материалов (термопластичных и терморезистивных), термощкаф, эксикатор, весы, испытательная машина, тензометр механический, штангенциркуль.

Справочный материал

Пластмассами называют материалы, изготавливаемые на основе полимеров. Пластмассы сочетают в себе разнообразные ценные качества, такие как лёгкость, прочность, химическая

стойкость и др., которые обусловили проникновение их в различные отрасли народного хозяйства. Кроме полимеров (их часто называют смолой) в пластмассах почти всегда содержатся другие компоненты, придающие материалу определённые качества. Полимерное вещество является для них связующим.

В пластмассы входят наполнители (древесная мука, ткань, асбест, стекловата и др.), которые улучшают их механические свойства.

Пластификаторы – повышают эластичность, устраняют хрупкость.

Стабилизаторы – способствуют сохранению свойств пластмасс в процессе их переработки и использования; красители придают необходимую окраску.

Обычные способы получения полимеров – это реакции полимеризации, лежащие в основе получения термопластичных пластмасс, и реакции поликонденсации, лежащие в основе получения терморезистивных пластмасс.

Термопластичные полимеры при нагревании размягчаются и в этом состоянии легко изменяют форму, которую сохраняют при охлаждении. При следующем нагревании они снова размягчаются и могут принимать новую форму.

Терморезистивные полимеры при нагревании сначала становятся пластичными, при дальнейшем нагревании утрачивают пластичность, становятся неплавкими. Повторно переработать такой полимер в новое изделие невозможно.

Наиболее типичными способами получения изделий из термопластичных пластмасс является литьё под давлением и экструзия (выдавливание), а из терморезистивных пластмасс – горячее прессование.

Изделия из полимерных материалов при эксплуатации подвергаются воздействию температур (повышенных или пониженных) в зависимости от условий окружающей среды. Поэтому определение влияния данного фактора на механические свойства полимерных материалов является важным процессом.

Изменение свойств материала при воздействии температур в обычных условиях занимает продолжительный промежуток времени, поэтому для ускорения процесса термического старения в лабораториях создают искусственные условия воздействия температур.

Оценка степени старения проводится по коэффициенту старения, который показывает степень снижения тех или иных свойств материала.

Ход работы.

1. Влияние повышенных температур

Берут образцы материала в виде лопаток и брусков (приложение 8–10) в количестве трех для каждой температуры.

Выдерживают образцы при температурах, не превышающих температуры эксплуатации в соответствии с режимами по табл. 1.

Таблица 1

Материал	Температура, °С	Время выдержки, ч.
Полиэтилен высокого давления (ПЭВД)	30; 40; 50	0,5; 1; 2; 16; 72; 96
Полиэтилен низкого давления (ПЭНД)	30; 40; 50	0,5; 1; 2; 16; 72; 96
Полипропилен (ПП)	30; 40; 55; 70	0,5; 1; 2; 16; 72; 96
Полиамид (ПА)	30; 40; 55; 70	0,5; 1; 2; 16; 72; 96
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	30; 40; 55; 70; 85	0,5; 1; 2; 16; 72; 96

Подвергшиеся температурному старению образцы материала исследуют по внешнему виду и определяют предел прочности, модуль упругости и относительное остаточное удлинение при разрыве, предел прочности при статическом изгибе, ударную вязкость по стандартным методикам для испытаний полимерных материалов (приложение 8–10).

Сравнивают полученные результаты с соответствующими показателями необработанных образцов и определяют коэффициент старения K_τ по формуле

$$K_\tau = \frac{A_1}{A_0},$$

где A_0 , A_1 – показатели, характеризующие свойство материала до старения и после него соответственно.

За результат принимают среднее арифметическое значение не менее трех параллельных измерений для показателей, отличающихся не более чем на 5%.

Делают вывод о влиянии температурных воздействий и их продолжительности на механические свойства полимерных материалов.

Экспериментальные данные по определению механических свойств оформляют в виде протоколов (приложения 8–10).

Сравнительные результаты эксперимента представляют в виде табл.2 и графиков зависимости свойств от температуры и времени выдержки.

Таблица 2

п/п	Материал	Показатель свойств до старения A_0	Температура, °С	Время выдержки, ч	Показатель свойств после старения A_1	K_τ

2 Влияние пониженных температур

Берут образцы материала в виде лопаток и брусков (приложение 8–10) в количестве трех для каждой температуры.

Выдерживают образцы при пониженных температурах в соответствии с режимами по табл.3.

Таблица 3

Материал	Температура, °С	Время выдержки, ч
Полиэтилен высокого давления (ПЭВД)	+5; 0; -5; -10; -25	1; 2; 16; 72; 96
Полиэтилен низкого давления (ПЭНД)	+5; 0; -5; -10; -25	1; 2; 16; 72; 96
Полипропилен (ПП)	+5; 0; -5; -10; -25	1; 2; 16; 72; 96
Полиамид (ПА)	+5; 0; -5; -10; -25	1; 2; 16; 72; 96
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	+5; 0; -5; -10; -25	1; 2; 16; 72; 96

Делают вывод о влиянии температурных воздействий и их продолжительности на механические свойства полимерных материалов

Экспериментальные данные по определению механических свойств оформляют в виде протоколов (приложения 8–10).

Сравнительные результаты эксперимента представляют в виде табл.4 и графиков зависимости свойств от температуры и времени выдержки.

Таблица 4

п/п	Материал	Показатель свойств до старения A_0	Температура, °С	Время выдержки, ч	Показатель свойств после старения A_1	K_t

Практическая работа №16

Тема: Качественное определение природы полимера методом сжигания

Цель: освоение метода распознавания природы полимерных материалов по характеру горения, внешним признакам.

Оборудование: образцы полимеров, спиртовая горелка, проволочка.

Справочный материал

Поскольку отдельным видам полимеров свойственны определенный цвет, прозрачность, характер поверхности, блеск, упругость, эластичность и т.д., то по внешним признакам образцов материалов или изделий можно получить первое представление о природе полимеров.

Распознавание полимеров по характеру поведения при нагревании и горении является довольно простым и в то же время достаточно точным методом качественного определения природы полимеров. Метод основан на визуальном наблюдении за поведением образца при внесении его в верхнюю часть пламени горелки. По мере нагревания образцы термопластов постепенно размягчаются и плавятся, а реактопласты не размягчаются и не плавятся. Поэтому по отношению к нагреванию можно определить класс полимеров (термопласты, реактопласты). При дальнейшем нагревании образца происходит его загорание, сопровождающееся выделением продуктов разложения, которые обладают специфичным для отдельных полимеров запахом, позволяющим определять вид полимеров.

Методика выполнения

Прежде чем приступить к выполнению работы, следует детально ознакомиться с соответствующим теоретическим материалом, отобрать 15-20 образцов полимеров, внимательно осмотреть их, подробно охарактеризовать их внешний вид (характер поверхности, цвет, жесткость, прозрачность, характер излома и прочие признаки).

Захватив образец тигельными щипцами, следует внести его в пламя горелки; затем проведите наблюдение за нагреванием, размягчением и загоранием. При загорании образца удалите его из пламени горелки; если он плавится и съезживается, выдержите в огне до воспламенения, но не более 10 мин. Проведите наблюдения за загоревшимся материалом вне пламени горелки, определить окраску пламени, характер горения (спокойное, интенсивное, с копотью, прекращение горения и т.д.), отметьте запах продуктов горения и дополнительные признаки (например, способность вытягиваться в нити). Для определения запаха продуктов следует погасить пламя и легким движением кисти рук направить воздух от потушенного образца к носу.

На основании сравнения установленных признаков с данными, приведенными в таблице приложения, определите вид полимера во всех образцах, взятых для опыта.

Примерная схема определения:

1. Образец не воспламеняется, сохраняет свою форму, ощущается запах формальдегида. Если, кроме того, ощущается запах:

- а) аммиака – это мочевиноформальдегидный полимер;
- б) резкий (рыбы) – меламиноформальдегидный полимер;
- в) фенола – фенолформальдегидный полимер.

2. Полимер горит в пламени горелки и гаснет при удалении из пламени. Если, кроме того, появляется:

а) запах жженой резины, широкая зеленая кайма пламени у основания – это хлорированный каучук; при небольшой зеленой зоне, перекрываемой желтой зоной – это хлоропрен;

- б) резкий запах хлористого водорода и зеленая окраска – это производные поливинилхлорида;
- в) сладковатый запах, зеленая окраска у основания пламени, черная зола – это поливинилхлорид;
- г) запах горелого молока – это казеин;
- д) запах уксусной кислоты, искры, расплавленная смола при попадании в воду образует тяжелые желто-коричневые зерна или хлопья – ацетилцеллюлоза.
3. Полимер горит после удаления из пламени; при этом наблюдается:
- а) очень быстрое горение, запах камфоры – это целлулоид; без запаха камфоры – нитроцеллюлоза;
- б) пламя голубое у основания и, кроме того, сильный сладковато-плодовый запах – это полиметилметакрилат;
- запах горелых овощей – это полиамиды;
- чуть сладковатый запах – поливинилформаль;
- запах прогорклого масла, искрение – ацетобутират целлюлозы;
- в) пламя с пурпурной каймой, искрение, запах уксусной кислоты – это поливилацеталь;
- г) пламя яркое, желто-белое, запах: сладковатый (гиацинтов) – это полистирол или его сополимеры; слабый, чуть сладковатый – это поливинилформаль;
- д) пламя окружено желто-зеленой каймой, смола долго горит, имеет сладковатый запах; расплавленная смола, падая в воду, образует диски цвета светлого дуба – это этилцеллюлоза.

Порядок выполнения работы

- По таблице маркировок пластмасс определить природу материалов изделий. Заполнить таблицу 3.
 - Образец с помощью щипцов внести в пламя горки, помещённой в вытяжной шкаф, проводя наблюдения за нагреванием, размягчением и загоранием полимерного материала. При загорании образца его необходимо удалить из пламени, если он плавится и съёживается, выдержать в огне до воспламенения.
 - Провести наблюдения за горением образца вне пламени горелки. Определить характер горения (спокойное, интенсивное, с копотью, прекращение горения и т.д.), отметить запах продуктов горения и другие признаки (например, способность вытягиваться в нити). Для определения запаха следует погасить пламя и лёгким движением кисти руки направить воздух от потушенного образца к носу.
 - Определить вид пластмассы. Заполнить таблицу 1.
- Задание 1.** Установить внешние характерные признаки, отличающие отдельные виды полимерных материалов.
- Задание 2.** Научиться распознавать отдельные виды полимеров по характеру поведения их при нагревании, горении, по запаху продуктов горения.
- Задание 3.** Идентифицировать методом сжигания 14 – 15 видов пластмасс.

Отчет оформить по следующей форме:

Таблица 1

№ образца	Внешний вид образца	Поведение при нагревании	Характер горения	Запах продуктов горения	Вид полимера
1					
2					
3					
4					
5					

Распознавание пластмасс методом горения

/п	Вид полимера, пластмассы	Поведение при нагревании	Характер горения	Запах продуктов горения	Примечание
	Фенолформальдегидная смола, фенопласты	Не размягчается	Загорается с трудом, при вынесении из пламени гаснет	Фенола и формальдегида	Если наполнитель – древесная мука, то ощущается дополнительно запах жженой бумаги
	Мочевиноформальдегидная (карбамидная) смола	Не размягчается	Загорается с трудом, образование белого налета по краям	Аммиака и формальдегида	-
	Меламиноформальдегидная смола, мелалит	Не размягчается	Загорается с трудом, образование белого налета по краям	Сильный, тухлой рыбы	-
	Полиэтилен	Размягчается, плавится	Горит спокойным синеватым пламенем; с подтеканием полимера	Горящей парафиновой свечи	-
	Полипропилен	Размягчается, плавится	Горит спокойным синеватым пламенем; с подтеканием полимера	Горящего сургуча	-
	Поливинилхлорид	Размягчается, плавится	При вынесении из пламени гаснет, зеленоватая окраска у основания пламени; пластикат коптит и при вынесении из пламени продолжает гореть	Резкий хлористого водорода	Реакция на хлор (проба Бельштейна)
	Поливинилиденхлорид	Размягчается, плавится	Как у ПВХ	Сладковатый	Реакция на хлор (проба Бельштейна)
	Ненасыщенные полиэферы, отвержденные стиролом (полиэфиракрилаты, полиэфирмалеинаты)	Не размягчаются	Коптят, желтое пламя	Сильный, приторный цветочно-фруктовый	-
	Политетрафторэтилен (тефлон, фторопласт-4)	Не горит, слегка размягчается при нагревании выше 400 ⁰ С	-	-	При размягчении становится прозрачным, при охлаждении мутнеет
0	Полиметилметакрилат	Размягчается, плавится	Горит при вынесении из пламени с потрескиванием; голубоватая окраска	Сильный цветочно-плодовый (герани)	-

			пламениу основания		
1	Полистирол и сополимеры стирола	Размягчаются, вытягиваются в нити	Пламя ярко-желтое коптящее	Сладковатый, цветочный (гиацинтов)	-
2	Полиамиды	Размягчается, вытягивается в нити из расплава	Пламя синеватое, горит при удалении из пламени	Горелых овощей, жженой кости	-
3	Полиуретаны	Размягчаются	Пламя желтоватое, полимер темнеет, стекает каплями	Острый миндальный	-
4	Нитрат целлюлозы	Размягчаются	Горит интенсивно, пламя яркое, белый дым	Окислов азота или камфоры (целлулоид)	-
5	Гидратцеллюлоза (целлофан)	Не размягчается	Интенсивно горит после удаления из пламени	Жженой бумаги	-
6	Поликарбонаты	Размягчаются	Загораются с трудом, самопогашение после вынесения из пламени, пламя коптящее	Цветочный	-
7	Полиэтилентерефталат	Размягчаются	Горит медленно с плавлением и небольшой копотью	Специфический	-
8	Полиформальдегид	Размягчаются	Горит с оплавлением, стеканием полимера, окраска пламени синеватая у основания, сгорает без остатка	Формальдегида	-

Примечание. Проба Бельштейна на присутствие галоида (например, хлора) заключается в следующем: медной проволочкой, предварительно прокаленной в пламени горелки до прекращения окрашивания пламени в зеленый цвет, касаются образца полимера и снова прокалывают проволочку. Окрашивание пламени в интенсивный зеленый цвет указывает на присутствие галоида (поливинилхлорид и др.).

Практическая работа №17

Тема: Изучение свойств неорганических стёкол.

Цель: ознакомиться со свойствами неорганических стёкол, изучить достоинства и недостатки стекол.

Оборудование: наборы различных образцов неорганических стёкол, оборудование для изучения свойств неорганических стёкол

Справочный материал

Стекло — неорганическое изотропное вещество, материал, известный и используемый с древнейших времён. Существует и в природной форме, в виде минералов (обсидиан — вулканическое стекло), но в практике — чаще всего, как продукт стеклоделия — одной из древнейших технологий в материальной культуре. Структурно — аморфное вещество, агрегатно относящееся к разряду — твёрдое тело/жидкость. В практике присутствует огромное количество модификаций, подразумевающих массу разнообразных утилитарных возможностей, определяющихся составом, структурой, химическими и физическими свойствами.

Независимо от их химического состава и температурной области затвердевания, стекло обладает физико-механическими свойствами твёрдого тела и сверхвязкой жидкости (течёт при нормальных условиях), сохраняя способность обратимого перехода из жидкого состояния в стеклообразное. Однако вязкость стекла при комнатной температуре настолько велика, что не имеет никакого практического значения — текучесть стекла не проявляется сколь-нибудь заметным образом на периодах времени в десятки и сотни лет[25].

В настоящее время разработаны материалы чрезвычайно широкого, поистине универсального диапазона применения, чему служат и присущие изначально (например, прозрачность[26], отражательная способность, стойкость к агрессивным средам, красота и многие другие) и не свойственные ранее стеклу — синтезированные его качества (например — жаростойкость, прочность, биоактивность, управляемая электропроводность и т. д.).

Различные виды стёкол используются во всех сферах человеческой деятельности: от строительства, изобразительного искусства, оптики, медицины — до измерительной техники, высоких технологий и космонавтики, авиации и военной техники. Изучается физической химией и другими смежными и самостоятельными дисциплинами[27].

В твёрдом состоянии силикатные стёкла весьма устойчивы к обычным реагентам (за исключением плавиковой кислоты, расплавов или горячих концентрированных растворов щелочей и расплавов некоторых металлов), и к действию атмосферных факторов. На этом свойстве основано их широчайшее применение: для изготовления предметов быта, оконных стёкол, стёкол для транспорта, стеклблоков и многих других строительных материалов, предметов медицинского, лабораторного, научно-исследовательского назначения, и во многих других областях.

Для специальных целей выпускают химически-стойкое стекло, а также стекло, стойкое к тем или иным видам агрессивных воздействий.

Физические свойства стекла

Плотность стекла зависит от химического состава и для обычных строительных стекол составляет 2400...2600 кг/м³. Плотность оконного стекла — 2550 кг/м³. Высокой плотностью отличаются стекла, содержащие оксид свинца («богемский хрусталь») — более 3000 кг/м³. Пористость и водопоглощение стекла практически равны 0 %.

Механические свойства. Стекло в строительных конструкциях чаще подвергается изгибу, растяжению и удару и реже сжатию, поэтому главными показателями,

определяющими его механические свойства, следует считать прочность при растяжении и хрупкость.

Хрупкость — главный недостаток стекла.

Твердость стекла, представляющего собой по химическому составу вещество, близкое к полевым шпатам, такая же, как у этих минералов, и в зависимости от химического состава находится в пределах 5...7 по шкале Мооса.

Оптические свойства стекла характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных (см. ниже), пропускают всю видимую часть спектра (до 88...92 %) и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла ($n = 1,50...1,52$) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла падения света с 0 до 75° светопропускание стекла уменьшается с 90 до 50 %.

Теплопроводность различных видов стекла мало зависит от их состава и составляет 0,6...0,8 Вт/(м•К), что почти в 10 раз ниже, чем у аналогичных кристаллических минералов. Например, теплопроводность кристалла кварца — 7,2 Вт/(м•К).

Коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) стекла относительно невелик (для обычного стекла $9 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹). Но из-за низкой теплопроводности и высокого модуля упругости напряжения, развивающиеся в стекле при резком одностороннем нагреве (или охлаждении), могут достигать значений, приводящих к разрушению стекла. Это объясняет относительно малую термостойкость (способность выдерживать резкие перепады температур) обычного стекла. Она составляет 70...90° С.

Звукоизолирующая способность стекла довольно высока. Стекло толщиной 1 см по звукоизоляции приблизительно соответствует кирпичной стене в полкирпича — 12 см.

Химическая стойкость силикатного стекла — одно из самых уникальных его свойств. Стекло хорошо противостоит действию воды, щелочей и кислот (за исключением плавиковой и фосфорной). Объясняется это тем, что при действии воды и водных растворов из наружного слоя стекла вымываются ионы Na⁺ и Ca⁺⁺ и образуется химически стойкая пленка, обогащенная SiO₂. Эта пленка защищает стекло от дальнейшего разрушения.

Химический состав стекла

Стандартный состав стекла представляет собой смесь чистого кварцевого песка, извести и соды. Для изменения свойств материала могут использоваться различные добавки. Но все-таки основным составляющим компонентом является именно чистый речной песок. Его количество составляет примерно 75% от всей смеси. Сода позволяет снизить температуру плавления песка почти в 2 раза. Известь защищает стекло от воздействия большинства химических веществ, а также добавляет прочности и блеска.

Дополнительные примеси:

- Марганец (Mn) добавляют в стекло для получения специфического зеленого оттенка. Для получения других цветов может использоваться никель или хром.
- Свинец (Pb) придает стеклу дополнительный блеск и характерный звон. Материал получается более холодным на ощупь. Стекло с примесью свинца называется хрусталь.
- Оксид бора тоже придает материалу дополнительный блеск и прозрачность, при этом понижая коэффициент теплового расширения изделий.

Задание 1. Подобрать коллекцию изделий из стекла;

Задание 2. Прodelать опыты с жидким стеклом;

Задание 3. Нанести рисунок на стекло;

Задание 4. Изготовить витраж;

Задание 5. изготовить изогнутые стеклянные трубки и трубки с узким отверстием;

Изучение видов и основных свойств стекла и стеклоизделий заносится в таблицу 1 практической работы.

Таблица 1. Характеристика видов и основных свойств стекла и стеклоизделий

Исследуемые признаки	Терминология	Наблюдательные признаки
Размеры	Указать в мм	
Цвет	Светлокоричневый, светлый, темный, зеленоватый	
Форма	Правильная, неправильная	
Вид поверхности	Рифленая, гладкая, бугристая, узорчатая	
Характерные признаки	Цвет, наличие узора, присутствие арматуры	
Вид стекломатериала	Листовое стекло, стеклоизделие	
Название образца	—	
Область применения	—	

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает стекло?
2. Какие разновидности листового стекла применяют в строительстве?
3. Где применяют стеклоблоки и стеклопакеты?
4. Какое стекло и стеклоизделие применяют для отделки интерьеров?
5. Что такое ситаллы и шлакоситаллы?
6. Что относят к облицовочным стеклянным материалам?

Практическая работа №18

Тема: Определение плотности материала с помощью лабораторных измерений

Цель: Лабораторным путем определить плотность твердых материалов. Приобрести навыки и умения работы с измерительными приборами

Оборудование: исследуемые бруски (металлический, деревянный или пластмассовый), гирька на нитке, весы с разновесом, штангенциркуль, гидростатические весы, ареометр, прибор Де Шателье, мерильная мензурка.

Справочный материал

Плотностью называется масса единицы объема материала. Чтобы вычислить плотность ρ (кг/м³), надо знать массу материала m (кг) и его объем V (м³):

$$\rho = m/V.$$

Большинство строительных материалов – пористые материалы, т.е. в их объеме помимо твердого вещества находятся воздушные ячейки (поры), заполненные воздухом, плотность которого несравнимо ниже плотности твердого вещества. Поэтому для строительных материалов определяют две характеристики: истинную и среднюю плотности.

Истинной плотностью ρ называют плотность того вещества, из которого состоит материал. При расчете объем материала вычисляют без пор и пустот $V_{ТВ}$. Истинная плотность – физическая константа вещества.

Средней плотностью ρ_m материала называют плотность, когда при расчете берется его полный объем в естественном состоянии $V_{ест}$, включая поры и пустоты.

Для характеристики материалов, состоящих из отдельных зерен (цемент, песок, гравий), используют так называемую насыпную плотность.

Насыпная плотность $\rho_{нас}$ – характеристика сыпучих (зернистых, порошкообразных), когда для расчета берется весь занимаемый ими объем, включая и пространства между частицами. На среднюю и насыпную плотность материала влияет его влажность. Вода замещает воздух в порах материала и адсорбируется на поверхности его зерен, и поэтому, как правило, чем больше влажность материала, тем больше его плотность. Для каждого материала ГОСТы устанавливают влажность, при которой определяется его плотность.

Например, плотность тяжелого бетона определяют при его естественной влажности и в сухом состоянии.

Определение средней плотности. Метод определения средней плотности зависит от геометрической формы образца материала: правильной (куб, параллелепипед, цилиндр) и неправильной.

Образцы материала правильной геометрической формы. При определении средней плотности образец материала, предварительно подготовленный и высушенный при температуре 105...110 °С до постоянной массы (если ГОСТ предусматривает определение плотности в сухом состоянии), взвешивают с погрешностью не более 0,1 г (при массе до 500 г) и не более 1 г (при массе более 500 г).

Объем образца определяют, пользуясь штангенциркулем (при размерах менее 100 мм) или металлической линейкой (при больших размерах). Если образец имеет кубическую форму или форму параллелепипеда, то каждую грань измеряют в трех местах. Окончательный размер каждой грани (а, b, с) вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объем подсчитывают по формуле

$$V = abc.$$

При вычислении объема цилиндрического образца определяют его диаметр d и высоту h . Для этого на параллельных основаниях цилиндра наносят два взаимно перпендикулярных диаметра. Диаметр образца находят как среднее арифметическое результатов четырех измерений. Высоту цилиндра вычисляют так же, как среднее

арифметическое результатов четырех измерений образующих цилиндра, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров. Объем цилиндра V (см³) подсчитывают по формуле

$$V = \pi d^2 h / 4,$$

где $\pi = 3,14$.

Зная массу и объем образца, вычисляют его среднюю плотность по формуле.

Образцы неправильной геометрической формы. Среднюю плотность таких образцов определяют методом гидростатического взвешивания или с помощью объемомера.

Метод гидростатического взвешивания основан на использовании закона Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу вытесненной им жидкости. Чтобы определить выталкивающую силу, образец взвешивают на воздухе и в жидкости; разность этих весов дает значение выталкивающей силы. Зная плотность жидкости, по выталкивающей силе можно вычислить объем вытесненной образцом жидкости, т.е. объем образца. Поскольку плотность воды равна 1 г/см³, при взвешивании в воде значение выталкивающей силы в граммах численно равно значению объема образца в см³.

При определении средней плотности этим методом приготовленный образец взвешивают, выясняя его массу m . Затем его насыщают водой. Насыщенный образец вынимают из воды, удаляют влагу с поверхности мягкой влажной тканью и сразу же взвешивают на гидростатических весах (рис.1). Для этого образец на нитке подвешивают к крючку 2, закрепленному на левом конце коромысла 3 весов. Сыпучие материалы помещают в перфорированный стакан 1. После определения массы насыщенного водой образца $m_{\text{нас}}$ (г), не снимая с крючка весов, его погружают в стакан 1 с водой так, чтобы он не касался стенок стакана, и определяют массу гирь, уравновешивающих образец в воде $m_{\text{вод}}$ (г). Среднюю плотность материала определяют следующим образом.

В объемомер (рис.2), представляющий собой металлический цилиндр 2, наливают воду до уровня сливной

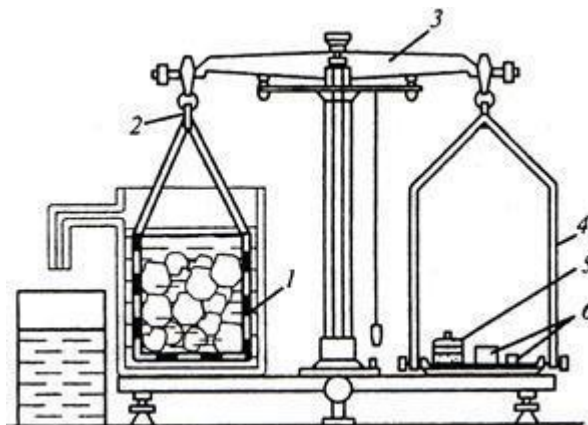


Рис. .1. Гидростатические весы: 1 – перфорированный стакан, 2 – крюк, 3 – коромысло, 4 – чашка для разновесов, 5 – стаканчик с дробью, 6 – разновесы трубки 1, пока из нее не потечет вода.

Когда прекратится падение капель, под трубку ставят предварительно взвешенный (m3) стеклянный стакан 3. Испытуемый образец на нитке осторожно погружают в объемомер. После того как вода перестанет перетекать в стакан, стакан с водой взвешивают (m4). Масса воды (г), вытесненной образцом ($m_4 - m_3$), численно равна объему (см³) образца с парафином ($V_{0+п}$), так как плотность m_4 воды равна 1 г/см³;

$$V_{0+п} = (m_4 - m_3) / \rho_{\text{в.о}} .$$

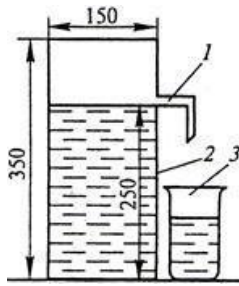


Рис.2. Объемомер: 1 – трубка, 2 – цилиндр, 3 – стакан

Объем образца V_0 равен разности между объемом парафинированного образца ($V_0+V_{\text{п}}$) и объемом парафина ($V_{\text{п}}$):

$$V_0 = V_0 + V_{\text{п}} - V_{\text{п}}$$

Объем парафина вычисляют по формуле

$$V_{\text{п}} = (m_2 - m_1) / \rho_{\text{п}}$$

где $\rho_{\text{п}}$ – плотность парафина, равная 0,98 г/см³.

Плотность испытуемого материала будет определяться по формуле

$$\rho_{\text{ж}} = m_1 / V_0 = m_1 / \left[(m_4 - m_3) / \rho_{\text{ж.и}} - (m_2 - m_1) / \rho_{\text{п}} \right] \quad (4.2)$$

С помощью объемомера также определяют среднюю плотность, не парафинируя образцы, а насыщая их водой, аналогично методике, описанной выше для гидростатического взвешивания.

Определение насыпной плотности. Насыпную плотность материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 50 л. За объем материала в этом случае принимают объем сосуда.

Крупнозернистые материалы (зерна более 5 мм) засыпают в мерные сосуды вместимостью 5; 10; 20 и 50 л совком или лопаткой с высоты 100 мм без последующего уплотнения. Мелкозернистые материалы (зерна менее 5 мм) насыпают в мерный сосуд вместимостью 1 л с помощью стандартной воронки (рис. 4.3), корпус 1 которой представляет собой металлический усеченный конус, заканчивающийся трубкой 2 с задвижкой 3. Под трубку устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд 4. Расстояние между верхним обрезом сосуда и задвижкой воронки равно 50 мм.

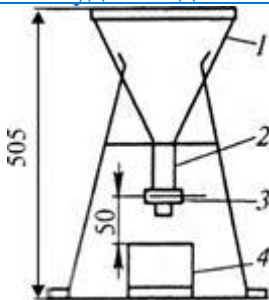


Рис.3. Стандартная воронка: 1 – корпус, 2 – трубка, 3 – задвижка, 4 – мерный сосуд

Мерный сосуд во всех случаях заполняют с избытком, а излишек материала срезают линейкой от середины в обе стороны вровень с краями сосуда. При этом линейку держат наклонно, плотно прижимая к краям сосуда. После удаления излишка материала сосуд с материалом взвешивают. Масса материала будет равна разности масс сосуда с материалом m_2 и пустого сосуда m_1 . Зная массу материала и объем сосуда V ($1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$), находят насыпную плотность по формуле

$$\rho_{\text{на}} = (m_2 - m_1) / V \quad (4.3)$$

Определение истинной плотности. Для расчета истинной плотности материала его нужно получить в абсолютно плотном состоянии (без пор). Простейший способ получить такой материал – измельчить его так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор. Чем

выше тонкость измельчения, тем точнее будет определение плотности вещества, из которого состоит материал.

Для определения истинной плотности отвешивают около 200 г тщательно перемешанной средней пробы материала. Навеску высушивают в сушильном шкафу и тонко измельчают в фарфоровой ступке или шаровой мельнице. До проведения испытаний материал хранится в эксикаторе. Истинную плотность определяют пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле Шателье. При всех способах определения плотности погрешность взвешивания не более 0,01 г.

Температура помещения при испытании $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$; в противном случае температуру материалов и приборов приводят к $20 \text{ }^\circ\text{C}$, выдерживая в водяном термостате (термостатируя).

Истинную плотность вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$.

Пикнометрическим способом истинную плотность определяют следующим образом. Навеску материала массой $60 \dots 80 \text{ г}$ высыпают с помощью воронки в чистый высушенный и предварительно взвешенный пикнометр вместимостью 100 см^3 , после чего взвешивают пикнометр с порошком. Затем в пикнометр наливают инертную по отношению к испытуемому веществу жидкость (воду, масло, керосин). Для удаления воздуха из материала навески и жидкости пикнометр с содержимым выдерживают под вакуумом в эксикаторе до прекращения выделения пузырьков. В случае использования в качестве инертной жидкости воды возможно удалить воздух нагреванием пикнометра на песчаной или водяной бане в течение $15 \dots 20 \text{ мин}$ для удаления пузырьков воздуха. После этого пикнометр охлаждают до комнатной температуры и доливают жидкость до метки, после чего обтирают мягкой тканью и взвешивают.

Истинную плотность ρ (г/см^3) вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2) \rho_{\text{ж}} / [(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)], \quad (4.4)$$

где m_1 – масса пикнометра с навеской порошка, г; m_2 – масса пустого пикнометра, г; m_3 – масса пикнометра с навеской порошка и жидкостью, г; m_4 – масса пикнометра с жидкостью, г; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{д}}$ – плотность дистиллированной воды, г/см^3 .

Прибор Ле Шателье (рис. 4.4, а) представляет собой стеклянную колбу вместимостью $120 \dots 150 \text{ см}^3$ с узким высоким горлом и расширением в средней его части. На горле колбы ниже уширения (см. рис. 4.4, а) нанесена метка, а выше – шкала с делениями ценой $0,1 \text{ см}^3$. Объем между нижней и первой метками шкалы равен 20 см^3 или, что бывает реже, 10 см^3 .

Истинную плотность определяют с помощью прибора в такой последовательности. Прибор 1 (рис. 4.4, б) помещают в стеклянный сосуд 2 с водой так, чтобы вся его градуированная часть была погружена в воду. Температура воды в сосуде должна соответствовать температуре, при которой был проградуирован прибор (обычно $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Термостатирование не нужно, если температура помещения составляет $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Чтобы прибор не всплывал, его закрепляют в штативе 3. Прибор наполняют водой или другой жидкостью, инертной по отношению к испытуемому материалу (например, для цемента – керосином), до нижней метки. Точного заполнения можно добиться, заливая жидкость с небольшим избытком и затем отсасывая ее фильтровальной бумагой. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтровальной бумаги.

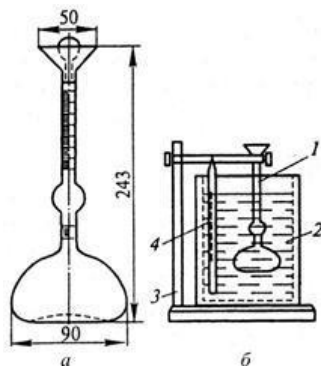


Рис.4. Прибор Ле Шателье (а) и вид прибора в рабочем состоянии (б):
1 – объемомер, 2 – сосуд с водой, 3 – штатив, 4 – термометр

На технических весах в стаканчике взвешивают навеску порошка испытуемого материала массой около 70 г с погрешностью не более 0,01 г. Порошок всыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка со стаканчиком взвешивают.

Для удаления пузырьков воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком, прибор вынимают из сосуда с водой и поворачивают в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. После этого его снова помещают в сосуд с водой не менее чем на 10 мин для термостатирования и определяют уровень жидкости в приборе.

Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему всыпанного порошка V (см³). Истинную плотность исследуемого материала ρ вычисляют по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)/V, (4.5)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком, г; m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком, г.

Ход работы.

1. Определим массу тела при помощи рычажных весов.

Определите массу тела и запишите ее с учетом абсолютной погрешности.

$$m_{\text{изм.}} = \dots \text{ Г}$$

$\Delta m_{\text{весов}} = \dots \text{ г}$ (Определяется по графику зависимости погрешности весов от их нагрузки)

$$\Delta m_{\text{подбора гири}} = 0,05 \text{ г}$$

$$\Delta m = \Delta m_{\text{весов}} + \Delta m_{\text{подбора гири}} = \dots \text{ Г.}$$

$$m = (\dots \pm \dots) \text{ Г}$$

2. Определим объём тела при помощи измерительного цилиндра.

а) Объём жидкости в цилиндре равен:

$$V_1 = (\dots \pm \dots) \text{ мл} = (\dots \pm \dots) \text{ см}^3$$

б) Объём жидкости и тела равен:

$$V_2 = (\dots \pm \dots) \text{ мл} = (\dots \pm \dots) \text{ см}^3$$

в) Объём тела равен

$$V = V_2 - V_1$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение объема.

Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Объем определяется, как разность двух физических величин – V_2 и V_1 , поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

$$\Delta(X-Y) = \Delta X + \Delta Y, \quad \Delta(V_2 - V_1) = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \dots \text{ см}^3$$

Запишите полученную величину тела с учётом абсолютной погрешности.

$$V = (\dots \pm \dots) \text{ см}^3$$

3. Определим плотность тела, пользуясь формулой: $\rho = m/V$

$$\rho = \dots \text{ г/см}^3$$

Определим абсолютную погрешность, с которой проведено данное определение плотности.

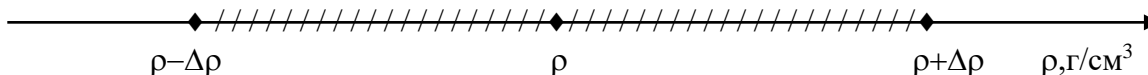
Воспользуйтесь таблицей «Формулы погрешностей». Плотность определяется, как частное двух физических величин – массы и объёма, поэтому для подсчета ее абсолютной погрешности выберем формулу:

$$\Delta(X/Y) = \frac{X\Delta Y + Y\Delta X}{Y^2}, \quad \Delta(m/V) = \frac{m\Delta V + V\Delta m}{V^2} = \dots \text{ г/см}^3$$

Запишите полученную плотность тела с учётом абсолютной погрешности.

$$\rho = (\dots + \dots) \text{ г/см}^3$$

3. Графически иллюстрируем полученный результат.



Пользуясь таблицами плотностей, определите вещество, плотность которого принадлежит заштрихованному промежутку. $\rho_{\text{табличное}} = \dots \text{ г/см}^3$

Отметьте точку соответствующую данной плотности на графике.

Выводы по работе:

1. С учетом погрешности выполненных измерений, назовите вещество из которого изготовлено тело.

Дополнительное задание.

1. Определите относительную погрешность данного измерения.
2. Как по-другому можно рассчитать абсолютную погрешность измерения плотности?

Полученное на основе опыта значение плотности тела сравните с табличным значением плотности из § 21 и запишите в таблицу название вещества, из которого изготовлено тело.

Название вещества	Масса тела m, г	Объем тела V, см ³	Плотность вещества	
			г/см ³	кг/м ³

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель работы.
2. Перечислите основные измерительные операции и их последовательность.
3. Выведите формулу для плотности образца, имеющего цилиндрическую форму.
4. Что такое нониус?
5. Что называется постоянной нониуса, и как она определяется?
6. Как определить цену деления на барабане микрометра?
7. Как проверить правильность установки нуля микрометра?
8. Какова последовательность операций при взвешивании на электронных весах?

Тема: Изучение структуры порошковых материалов.

Цель; ознакомиться со структурой порошковых материалов, изучить достоинства и недостатки порошковых материалов.

Оборудование: наборы порошковых материалов, оборудование для изучения структуры порошковых материалов

Справочный материал

Конструкционные порошковые материалы

Конструкционными называют материалы металлического, неметаллического и композиционного генеза, сочетающие в себе комплекс свойств, обеспечивающих возможность применения в машиностроительных отраслях для производства наиболее ответственных узлов и агрегатов.

Порошковые материалы конструкционного назначения – самая распространенная продукция ПМ. Потребность в них сегодня достигает 65% общей востребованности. Обладая набором высоких механических характеристик, они повсеместно используются в машиностроении для производства высоконагруженных шестерен, звездочек, зубчатых колес, червячных пар, клапанов и седел к ним, муфт, фланцев, эксцентриков, накладок, заглушек, храповиков, гаек, ограничителей, кулачков, шайб, крышек, корпусов подшипников, компонентов насосного оборудования и измерительного инструмента, различных дисков, втулок, деталей множества других элементов технических устройств. Некоторые из таких изделий можно видеть на рис. 1.



Рис. 1. Образцы продукции из порошковых материалов конструкционного назначения.

Порошковая металлургия представляет собой совокупность методов изготовления порошков металлов и металлоподобных соединений, полуфабрикатов и изделий из них без расплавления основного компонента.

Методом порошковой металлургии можно получать:

- материалы из металлов, не смешивающихся в расплавленном виде (например, железо—свинец, вольфрам—хром и др.);
- материалы с особой структурой и характеристиками (например, многие пористые металлы для подшипников);
- медно-графитовые щетки для электрогенераторов и электродвигателей.

Основным преимуществом порошковой металлургии является и то, что спекаемые материалы можно производить не только в виде заготовок и полуфабрикатов, но и в виде готовых изделий, не требующих дальнейшей обработки резанием. В частности, к таким изделиям относятся зубчатые колеса для зубчатых передач автомобилей.

По сравнению с другими методами получения деталей — литьем, обработкой давлением, резанием и т. д. — изготовление деталей из спеченных материалов требует

наименьших затрат, заводских площадей, оборудования. Автомобильная промышленность является одним из основных потребителей спеченных материалов. Например, для изготовления автомобиля марки ГАЗ необходимо 25—30 кг такого материала.

Применение спеченных материалов позволяет повысить износостойкость, долговечность, коррозионную стойкость изделий, а также снизить трудоемкость и металлоемкость машин и механизмов.

Технология производства спеченных материалов включает в себя следующие операции:

- получение исходных металлических порошков и приготовление из них шихты с заданными химическим составом и технологическими характеристиками;
- формование порошков или их смесей в заготовки (главным образом прессованием);
- спекание, т. е. температурную обработку заготовок при температуре ниже плавления всего металла или основной его части.

Иногда спекают порошки, засыпанные в соответствующие формы, исключая таким образом операцию формования. В ряде случаев формование и спекание объединяют в одну операцию — операцию горячего прессования, т. е. обжатие порошков при нагревании.

Порошки получают механическими или физико-механическими методами. К первым относят измельчение металлов в вихревых, вибрационных и шаровых мельницах или более производительное и экономичное распыление жидких металлов. Ко вторым — химическое восстановление металлов из окислов; электролиз расплавленных солей и др. Основной метод формования — прессование в пресс-формах из закаленной стали под давлением 200—1000 МПа. Частицы порошков для различных изделий имеют размеры от 0,01 до 1000 мкм, а форма частиц зависит от метода получения. Форма частиц порошка влияет на его технологические свойства, насыпную плотность, текучесть (скорость высыпания из воронки). Полученные порошки сортируют по фракциям ситовым методом (от 40 до 1000 мкм и от 0,1 до 40 мкм).

Спекание проводят в защищенной среде (водород; среда, содержащая соединение углерода; высокое разрежение (вакуум); защитные засыпки) при температуре около 70—85 % от точки плавления, а для многокомпонентных сплавов — несколько выше температуры плавления наиболее легкоплавкого компонента.

Применяют также горячее прессование, при котором изделия не только формируются, но и подвергаются спеканию. Ленту, проволоку и некоторые другие изделия из металлических порошков получают методом прокатки.

Прочность спеченных материалов определяется их относительной плотностью. Для повышения прочности и вязкости в шихту порошков на основе железа вводят порошки меди, никеля, молибдена, хрома, марганца, кремния. Помимо легирования для повышения прочности в шихту вводят до 1 % порошка графита, а после спекания заготовки закаливают или цементируют и заливают.

С помощью порошковой металлургии получают следующие виды изделий:

- компактную металлокерамику;
- металлокерамические твердые сплавы;
- ферриты;
- антифрикционные и фрикционные изделия;
- фильтры.

Компактная металлокерамика представляет собой детали с небольшой остаточной пористостью (например, направляющие втулки клапанов).

Металлокерамические твердые сплавы используют в виде пластинок к режущему инструменту. Некоторые мелкие режущие инструменты (сверла, фрезы) изготавливают целиком из твердых сплавов.

Металлокерамические твердые сплавы имеют очень высокую твердость и сохраняют работоспособность до температуры 1000—1100 °С. Основной составляющей таких сплавов являются карбиды вольфрама, титана, тантала. В качестве связующего применяют кобальт.

ГОСТ 3882—74 устанавливает выпуск металлокерамических сплавов трех групп: вольфрамовой — ВКЗ, ВКЗМ, ВК4, ВК4В, ВК6, ВК6М, ВК6В9, ВК8ВК, ВК10, ВК10М, ВК100М, ВК10КС, ВК11В, ВК11ВК, ВК15, ВК20, ВК20КС, ВК20К, ВК25; титановольфрамовой — Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К12; титано-тантало-вольфрамовой — ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ20К9. Массовое содержание компонентов и свойства марок металлокерамических твердых сплавов приведены в табл. 3.4. С увеличением содержания кобальта прочность сплавов возрастает, а твердость и износостойкость уменьшаются. В соответствии с этим и определяется область использования сплавов различных марок.

Сплавы марок ВКЗ, ВКЗМ, ВК4, ВК4В, ВК6, ВК6М, ВК60М, ВК6В, ВК10, ВКЮМ, все сплавы титановольфрамовой и титано-тантало-вольфрамовой групп используют для обработки резанием металлов, пластмасс, камня; сплав ВК15 — для режущих инструментов по дереву.

Буква «М» в маркировке означает мелкозернистую структуру, поэтому более высокую износостойчивость по сравнению с теми же марками нормальной зернистости; буквы «В» или «КС» в конце маркировки указывают на более высокие эксплуатационную прочность и сопротивление ударам и выкрашиванию вследствие крупнозернистой структуры; буква «О» указывает на содержание 2 % карбида тантала, что несколько повышает твердость и износостойкость сплава.

Ферриты — металлокерамика из порошков триоксида железа (Fe_2O_3) и оксидов других металлов (MnO , TiO , NiO , Al_2O_3 и др.). Ферриты обладают свойствами полупроводников и являются важнейшими материалами для радиоэлектронных устройств.

Антифрикционные сплавы содержат такие цветные металлы, как олово, свинец, сурьму. Они не могут работать в условиях сухого трения, при большой скорости скольжения, в агрессивных средах и при температурах выше $350\text{ }^{\circ}C$.

Для изготовления подшипников скольжения, вкладышей, втулок, уплотнителей все более широко применяют спеченные антифрикционные материалы, которые могут работать в таких условиях. Эти материалы характеризуются также низким коэффициентом трения, высокой износостойчивостью и хорошей прирабатываемостью. Относительная пористость этих материалов (18—25 %) обеспечивает необходимую маслосмачиваемость. Спеченными антифрикционными материалами являются желе-зографит, железозографит—медь, железо—медь, бронзографит.

Фрикционные спеченные материалы применяют в тормозных механизмах. В состав их входят медь, железо, олово, графит, кремний. Эти материалы выдерживают давление до 7 МПа и температуру до $550\text{ }^{\circ}C$.

Фильтры, спеченные из порошков, по сравнению с фильтрами из других материалов (бумаги, фибры, фетра, металлических сеток, фторопластовых и нейлоновых пористых материалов) отличаются большой прочностью и стабильностью формы, теплостойкостью и теплопроводностью, а также способностью восстанавливаться в процессе эксплуатации (механическая очистка фильтров токами газов или жидкостей, химическая, термическая очистка).

Такие фильтры широко применяют, например, в системе питания двигателя. Пористость фильтров для различных целей колеблется от 30 до 60 %. Различные фильтры задерживают частицы размером от 10 до 1 мкм. Фильтры изготовляют из порошков железа, стали, бронзы, титана; они могут иметь форму лент, труб, стаканов.

Недостатки порошковой металлургии:

- сравнительно высокая стоимость металлических порошков;
- необходимость спекания в защитной среде;
- в некоторых случаях трудность изготовления изделий и заготовок больших

размеров;

- сложность получения металлов и сплавов в компактном беспористом состоянии.

Основным требованием, предъявляемым к материалам данной категории, является сочетание повышенных физикомеханических свойств и экономичности. Изделия из

конструкционных материалов подразделяются на малонагруженные, средненагруженные и высоконагруженные, а по типу материала – продукцию на основе черных (стали/чугуны), цветных (сплавы Al, Mg, Ti, Cu и др.) и тугоплавких металлов (W, Mo, Nb, Ta и др.), а также полученную из твердых сплавов металлокерамического генеза, безметаллической порошковой керамики и композитных армированных материалов.

Правильность выбора конструкционных материалов прямо зависит от того, насколько верно учтены особенности их применения в технологическом-экономическом и эксплуатационном аспектах, последний из которых обусловлен наличием подходящего химсостава и необходимых физико-механических свойств.

К физико-механическим свойствам, зависящим от внутренней структуры и химического состава материала, относят значения:

- прочности;
- плотности;
- твердости;
- тепло- электропроводности;
- теплоемкости;
- T° плавления;
- пластичности/вязкости/упругости;
- хрупкости.

К технологическим свойствам, определяющим степень способности материала поддаваться термомеханической обработке, относят значения:

- деформируемости (ковкости);
- свариваемости;
- обрабатываемости резанием и давлением;
- обрабатываемости термическими способами;
- обрабатываемости методами литья.

К эксплуатационным (служебным) свойствам, востребованным в тех или иных рабочих условиях, относят значения:

- сопротивляемости износу;
- устойчивости к воздействию коррозии;
- устойчивости к температурным факторам (хладостойчивость, жаростойчивость, жаропрочность и т.п.).

Ход занятия

1. Изучение справочного материала
2. Определение порошковых материалов
3. Изучение структуры порошковых материалов
4. Тестовый контроль полученных знаний.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются особенности порошковых материалов?
2. Какие материалы называют порошковыми?
3. Перечислите физико-механические свойства порошковых материалов.
4. Какие виды изделий получают с помощью порошковой металлургии ?
5. Какие технологические свойства порошковых материалов вы знаете?

Практическая работа №20

Тема: Изучение структуры композиционных материалов.

Цель: ознакомиться со структурой композитов, познакомиться с механизмами полимеризации композитов, изучить достоинства и недостатки композитов различных по способу полимеризации.

Оборудование: наборы композитов химического и светового способа полимеризации, оборудование для изучения структуры композиционных материалов

Справочный материал

Композиционный материал – конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Примеры композиционных материалов: пластик, армированный борными, углеродными, стеклянными волокнами, жгутами или тканями на их основе; алюминий, армированный нитями стали, бериллия. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Типы композиционных материалов.

1. Композиционные материалы с металлической матрицей.

Композитные материалы или композиционные материалы состоят из металлической матрицы (чаще Al, Mg, Ni и их сплавы), упрочненной высокопрочными волокнами (волокнистые материалы) или тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющимися в основном металле (дисперсно-упрочненные материалы). Металлическая матрица связывает волокна (дисперсные частицы) в единое целое. Волокно (дисперсные частицы) плюс связка (матрица), составляющие ту или иную композицию, получили название композиционные материалы.

2. Композиционные материалы с неметаллической матрицей.

Композиционные материалы с неметаллической матрицей нашли широкое применение. В качестве неметаллических матриц используют полимерные, углеродные и керамические материалы. Из полимерных матриц наибольшее распространение получили эпоксидная, фенолоформальдегидная и полиамидная. Угольные матрицы коксованные или пироуглеродные получают из синтетических полимеров, подвергнутых пиролизу. Матрица связывает композицию, придавая ей форму. Упрочнителями служат волокна: стеклянные, углеродные, борные, органические, на основе нитевидных кристаллов (оксидов, карбидов, боридов, нитридов и других), а также металлические (проволоки), обладающие высокой прочностью и жесткостью.

Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Армирующие материалы могут быть в виде волокон, жгутов, нитей, лент, многослойных тканей.

По виду упрочнителя композитные материалы классифицируют на стекловолокниты, карбоволокниты с углеродными волокнами, борволокниты и органоволокниты.

В слоистых материалах волокна, нити, ленты, пропитанные связующим, укладываются параллельно друг другу в плоскости укладки. Плоские слои собираются в пластины. Свойства получаются анизотропными. Для работы материала в изделии важно учитывать направление действующих нагрузок. Можно создать материалы как с изотропными, так и с анизотропными свойствами. Можно укладывать волокна под разными углами, варьируя свойства композиционных материалов. От порядка укладки слоев по толщине пакета зависят изгибные и крутильные жесткости материала.

Применяется укладка упрочнителей из трех, четырех и более нитей. Наибольшее применение имеет структура из трех взаимно перпендикулярных нитей. Упрочнители могут располагаться в осевом, радиальном и окружном направлениях.

Трехмерные материалы могут быть любой толщины в виде блоков, цилиндров. Объемные ткани увеличивают прочность на отрыв и сопротивление сдвигу по сравнению со слоистыми. Система из четырех нитей строится путем разложения упрочнителя по диагоналям куба. Структура из четырех нитей равновесна, имеет повышенную жесткость при сдвиге в главных плоскостях. Однако создание четырех направленных материалов сложнее, чем трех направленных.

Классификация композиционных материалов.

1. Волокнистые композиционные материалы.

Часто композиционный материал представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Каждый слой можно армировать также непрерывными волокнами, сотканными в ткань, которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую конечному материалу. Нередко волокна сплетают в трехмерные структуры.

Композитные материалы отличаются от обычных сплавов более высокими значениями временного сопротивления и предела выносливости (на 50 – 100 %), модуля упругости, коэффициента жесткости и пониженной склонностью к трещинообразованию. Применение композиционных материалов повышает жесткость конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости.

Прочность композиционных (волоконных) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композиции при нагружении, придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон.

Для упрочнения алюминия, магния и их сплавов применяют борные, а также волокна из тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, боридов и оксидов), имеющих высокие прочность и модуль упругости. Нередко используют в качестве волокон проволоку из высокопрочных сталей.

Для армирования титана и его сплавов применяют молибденовую проволоку, волокна сапфира, карбида кремния и борида титана.

Повышение жаропрочности никелевых сплавов достигается армированием их вольфрамовой или молибденовой проволокой. Металлические волокна используют и в тех случаях, когда требуются высокие теплопроводность и электропроводимость. Перспективными упрочнителями для высокопрочных и высокомодульных волоконных композиционных материалов являются нитевидные кристаллы из оксида и нитрида алюминия, карбида и нитрида кремния, карбида бора и др.

Композиционные материалы на металлической основе обладают высокой прочностью и жаропрочностью, в то же время они малопластичны. Однако волокна в композиционных материалах уменьшают скорость распространения трещин, зарождающихся в матрице, и практически полностью исчезает внезапное хрупкое разрушение. Отличительной особенностью волоконных одноосных композиционных материалов являются анизотропия механических свойств вдоль и поперек волокон и малая чувствительность к концентраторам напряжения.

Анизотропия свойств волоконных композиционных материалов учитывается при конструировании деталей для оптимизации свойств путем согласования поля сопротивления с полями напряжения.

Армирование алюминиевых, магниевых и титановых сплавов непрерывными тугоплавкими волокнами бора, карбида кремния, борида титана и оксида алюминия

значительно повышает жаропрочность. Особенностью композиционных материалов является малая скорость разупрочнения во времени с повышением температуры.

Основным недостатком композиционных материалов с одно и двумерным армированием является низкое сопротивление межслойному сдвигу и поперечному обрыву. Этого лишены материалы с объемным армированием.

2. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.

В отличие от волокнистых композиционных материалов в дисперсно-упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в ней дислокаций. Высокая прочность достигается при размере частиц 10-500 нм при среднем расстоянии между ними 100-500 нм и равномерном распределении их в матрице. Прочность и жаропрочность в зависимости от объемного содержания упрочняющих фаз не подчиняются закону аддитивности. Оптимальное содержание второй фазы для различных металлов неодинаково, но обычно не превышает 5-10 об. %.

Использование в качестве упрочняющих фаз стабильных тугоплавких соединений (оксиды тория, гафния, иттрия, сложные соединения оксидов иредкоземельных металлов), нерастворяющихся в матричном металле, позволяет сохранить высокую прочность материала до 0,9-0,95 T [pіc]. В связи с этим такие материалы чаще применяют как жаропрочные. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы могут быть получены на основе большинства применяемых в технике металлов и сплавов.

Наиболее широко используют сплавы на основе алюминия – САП (спеченный алюминиевый порошок).

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы, так же как волокнистые, стойки к разупрочнению с повышением температуры и длительности выдержки при данной температуре.

3. Стекловолокниты.

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолокнистого наполнителя. В качестве наполнителя применяют непрерывное или короткое стекловолокно. Прочность стекловолокна резко возрастает с уменьшением его диаметра (вследствие влияния неоднородностей и трещин, возникающих в толстых сечениях). Свойства стекловолокна зависят также от содержания в его составе щелочи; лучшие показатели у бесщелочных стекол алюмоборосиликатного состава.

Неориентированные стекловолокниты содержат в качестве наполнителя короткое волокно. Это позволяет прессовать детали сложной формы, с металлической арматурой. Материал получается с изотопными прочностными характеристиками, намного более высокими, чем у пресс-порошков и даже волокнитов. Представителями такого материала являются стекловолокниты АГ-4В, а также ДСВ (дозированные стекловолокниты), которые применяют для изготовления силовых электротехнических деталей, деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов и т. д.). При использовании в качестве связующего непредельных полиэфиров получают премиксы ПСК (пастообразные) и препреги АП и ППМ (на основе стеклянного мата). Препреги можно применять для крупногабаритных изделий простых форм (кузова автомашин, лодки, корпуса приборов и т. п.).

Ориентированные стекловолокниты имеют наполнитель в виде длинных волокон, располагающихся ориентированно отдельными прядями и тщательно склеивающихся связующим. Это обеспечивает более высокую прочность стеклопластика. Из них изготавливают детали высокой прочности, с арматурой и резьбой.

4. Карбоволокниты.

Карбоволокниты (углепласты) представляют собой композиции, состоящие из полимерного связующего (матрицы) и упрочнителей в виде углеродных волокон (карбоволокон).

Высокая энергия связи С-С углеродных волокон позволяет им сохранить прочность при очень высоких температурах (в нейтральной и восстановительной средах до 2200 °С), а также при низких температурах. От окисления поверхности волокна предохраняют защитными покрытиями (пиролитическими). В отличие от стеклянных волокон карбоволокна плохо смачиваются связующим (низкая поверхностная энергия), поэтому их подвергают травлению. При этом увеличивается степень активирования углеродных волокон по содержанию карбоксильной группы на их поверхности.

Связующими служат синтетические полимеры (полимерные карбоволокниты); синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу (коксованные карбоволокниты); пиролитический углерод (пироуглеродные карбоволокниты).

Карбоволокниты отличаются высоким статистическим и динамическим сопротивлением усталости, сохраняют это свойство при нормальной и очень низкой температуре (высокая теплопроводность волокна предотвращает саморазогрев материала за счет внутреннего трения). Они водо- и химически стойкие. После воздействия на воздухе рентгеновского излучения и почти не изменяются.

Карбостекловолокониты содержат наряду с угольными стеклянные волокна, что удешевляет материал.

5. Карбоволокниты с углеродной матрицей.

Коксованные материалы получают из обычных полимерных карбоволокнитов, подвергнутых пиролизу в инертной или восстановительной атмосфере. При температуре 800-1500 °С образуются карбонизированные, при 2500-3000 °С графитированные карбоволокниты. Для получения пироуглеродных материалов упрочнитель выкладывается по форме изделия и помещается в печь, в которую пропускается газообразный углеводород (метан). При определенном режиме (температуре 1100 °С и остаточном давлении 2660 Па) метан разлагается и образующийся пиролитический углерод осаждается на волокнах упрочнителя, связывая их.

Образующийся при пиролизе связующего кокс имеет высокую прочность сцепления с углеродным волокном. В связи с этим композиционный материал обладает высокими механическими и абляционными свойствами, стойкостью к термическому удару.

6. Бороволокниты.

Бороволокниты представляют собой композиции из полимерного связующего и упрочнителя – борных волокон.

Бороволокниты отличаются высокой прочностью при сжатии, сдвиге и срезе, низкой ползучестью, высокими твердостью и модулем упругости, теплопроводностью и электропроводимостью. Ячеистая микроструктура борных волокон обеспечивает высокую прочность при сдвиге на границе раздела с матрицей.

Помимо непрерывного борного волокна применяют комплексные боростеклониты, в которых несколько параллельных борных волокон оплетаются стеклонитью, придающей формоустойчивость. Применение боростеклонитов облегчает технологический процесс изготовления материала.

Бороволокниты обладают высокими сопротивлениями усталости, они стойки к воздействию радиации, воды, органических растворителей и горючесмазочных материалов.

7. Органоволокниты.

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы, состоящие из полимерного связующего и упрочнителей (наполнителей) в виде синтетических волокон. Такие материалы обладают малой массой, сравнительно высокими удельной прочностью и жесткостью, стабильны при действии знакопеременных нагрузок и резкой смене температуры. Для синтетических волокон потери прочности при текстильной переработке небольшие; они малочувствительны к повреждениям.

К органоволоконитам значения модуля упругости и температурных коэффициентов линейного расширения упрочнителя и связующего близки.

Органоволокониты устойчивы в агрессивных средах и во влажном тропическом климате; диэлектрические свойства высокие, а теплопроводность низкая. Большинство органоволоконитов может длительно работать при температуре 100-150 °С, а на основе полиимидного связующего и полиоксиадиазольных волокон – при температуре 200-300 °С.

В комбинированных материалах наряду с синтетическими волокнами применяют минеральные (стеклянные, карбо волокна и боро волокна). Такие материалы обладают большей прочностью и жесткостью.

Ход занятия

1. Изучение справочного материала
2. Определение композитов.
3. Изучение структуры композитов
4. Тестовый контроль полученных знаний.

Контрольные вопросы

6. В чем заключаются особенности композитов?
7. Какую структуру имеют композиты?
8. Чем представлена органическая матрица композитов?
9. Чем представлена неорганическая часть композитов, ее объемное соотношение с органической частью?
10. Каков механизм полимеризации химических композитов?
11. Что входит в наборы химических композитов?
12. Преимущества и недостатки композитов химического способа полимеризации.

Информационное обеспечение обучения

Основные литература:

1. Материаловедение машиностроительного производства. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / А. М. Адаскин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина, В. Н. Климов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 258 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08154-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/>
2. Материаловедение машиностроительного производства. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / А. М. Адаскин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина, В. Н. Климов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 291 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08156-5. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/>
3. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09896-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru
4. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2 : учебник для среднего профессионального образования / Г. П. Фетисов [и др.] ; под редакцией Г. П. Фетисова. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 389 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09897-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru

Дополнительные источники:

5. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение : учебник для среднего профессионального образования / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 329 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08682-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/>

Учебно-методические материалы:

1. Методические указания к практическим/лабораторным работам (Электронный ресурс)/ Коровин Ю.И., Горохов Д.В., – Москва: РГАУ-МСХА, 2021 – ЭБС – «РГАУ-МСХА»

Интернет – ресурсы

1. Электронно-библиотечная система РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (далее ЭБС) сайт www.library.timacad.ru
2. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» - <https://cyberleninka.ru/>
3. Сетевая электронная библиотека аграрных вузов - <https://e.lanbook.com/books>
4. Резка металла. Режим доступа: <http://metalhandling.ru/>

