

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Материаловедение

Электронный образовательный контент по дисциплине Материаловедение и ТКМ

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных контентов в рамках мастер-класса по внедрению и использованию СЭДО в реальном учебном процессе»
Соглашение №1.27. от 03.06.2013 г.

УДК620.22(075)
ББК30.3я7
М 341

Автор-составитель: **Никитина Юлия Витальевна**

Материаловедение [Электронный ресурс]: электрон. образовательный контент по дисциплине Материаловедение / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Ю. В. Никитина. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Курс лекций.
2. Тесты для контроля знаний.

УМКД «Материаловедение» предназначен для студентов факультета информатики, обучающихся по направлению подготовки бакалавров

190700.62 «Технология транспортных процессов» в 5 семестре.

УМКД разработан на кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Материаловедение

Электронный образовательный контент
по дисциплине Материаловедение и ТКМ

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование
образовательной деятельности» Программы развития СГАУ
на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных
контентов в рамках мастер-класса по внедрению и использованию СЭДО
в реальном учебном процессе»

Соглашение №1.27. от 03.06.2013 г.

САМАРА

2013

УДК620.22(075)
ББК30.3я7

М 341

Автор-составитель: **Никитина Юлия Витальевна**

Материаловедение [Электронный ресурс]: электрон. образовательный контент по дисциплине Материаловедение / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Ю. В. Никитина. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Режим доступа: <http://omdmoodle.ssau.ru/course/category.php?id=15>

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Курс лекций.
2. Тесты для контроля знаний.

УМКД «Материаловедение» предназначен для студентов факультета информатики, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 190700.62 «Технология транспортных процессов» в 5 семестре.

УМКД разработан на кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения.

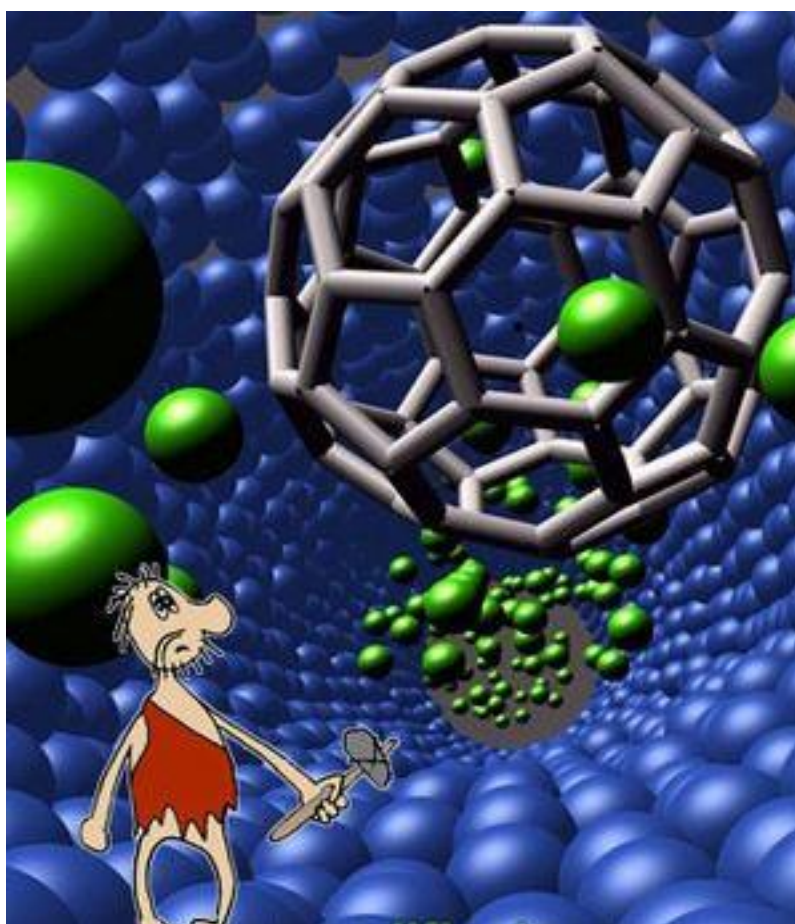
© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013



Электронный учебно-методический комплекс

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Конспект лекций
Тестовые задания



«Самарский
государственный
аэрокосмический
университет имени
академика
С.П.Королева»

(национальный
исследовательский
университет)

2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ I ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ.....	5
Лекция 1 Особенности атомно-кристаллического строения металлов.....	5
Кристаллическое строение металлов и сплавов.....	5
Понятие об изотропии и анизотропии.....	7
Влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов.....	8
Кристаллизация металлов и сплавов.....	10
Форма кристаллов и строение слитков.....	12
Аморфное состояние материалов.....	15
Дефекты кристаллического строения.....	16
Диффузия в металлах и сплавах.....	20
Анализ макроструктуры и микроструктуры.....	21
Полиморфные превращения.....	23
Лекция 2 Механические свойства материалов и методы их оценки.....	25
Упругая и пластическая деформация.....	25
Понятие об основных механических свойствах металлов и сплавов.....	29
Испытание на прочность. Построение диаграмм растяжения.....	31
Методы определения твердости.....	34
Испытания на ударную вязкость.....	37
Испытания на усталость.....	39
Испытания на ползучесть материала.....	40
Лекция 3 Влияние химического состава на равновесную структуру сплавов.....	43
Понятие о сплавах.....	43
Классификация и структура металлов и сплавов.....	44
Основные равновесные диаграммы состояния двойных сплавов.....	47
Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов.....	55
Лекция 4 Сплавы системы «Железо – цементит».....	57
Построение диаграммы состояния «Железо – цементит».....	57
Производство железистых сплавов.....	60
Выплавка чугуна.....	62
Производство стали.....	64
РАЗДЕЛ II ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО – ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ.....	79
Лекция 5 Термическая обработка металлов и сплавов.....	79
Общие сведения.....	79
Классификация видов термической обработки металлов и сплавов.....	80
Оборудование для термической обработки.....	81
Выбор режимов термической обработки.....	82
Отжиг I и II рода.....	83

Нормализация.....	85
Закалка с полиморфным и безполлиморфного превращений.....	85
Лекция 6 Химико-термическая и термо-механическая обработка сплавов.....	87
Химико – термическая обработка сплавов.....	87
Цементация.....	88
Азотирование.....	88
Силицирование.....	90
Диффузионная металлизация.....	91
Оборудование для ХТО.....	92
Термо – механическая обработка металлов и сплавов.....	93
Низкотемпературная ТМО.....	93
Высокотемпературная ТМО.....	94
Предварительная ТМО.....	94
Лекция 7 Термическая обработка сталей.....	95
Критические точки на диаграмме состояния «железо-цементит».....	95
Превращение в сталях при нагреве и охлаждении.....	96
Полный отжиг конструкционных сталей.....	105
Нормализация инструментальных сталей.....	106
Закалка конструкционных и инструментальных сталей.....	107
Специальные виды закалки стали.....	109
Отпуск стали.....	113
Отпускная хрупкость.....	114
Цементация стали.....	115
Азотирование стали.....	119
Низкотемпературная ТМО стали.....	120
Высокотемпературная ТМО стали.....	121
РАЗДЕЛ III КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	122
Лекция 8 Общие требования к конструкционным материалам	
Классификация конструкционных материалов.....	122
Классификация конструкционных материалов.....	122
Требования, предъявляемые к конструкционным материалам.....	123
Конструкционные стали.....	124
Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей.....	125
Маркировка конструкционных сталей.....	130
Материалы с особыми технологическими свойствами.....	135
Материалы с высокой твердостью поверхности.....	145
Лекция 9 Конструкционные материалы с особыми свойствами.....	150
Материалы с малой плотностью.....	150
Материалы с высокими упругими свойствами.....	153
Материалы с высокой удельной прочностью.....	154

Лекция 10 Материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды.....	164
Коррозионно-стойкие материалы.....	164
Коррозионно-стойкие покрытия.....	166
Жаростойкие материалы.....	170
Жаропрочные материалы.....	171
РАЗДЕЛ IV НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	175
Лекция 11 Классификация и применения неметаллических материалов..	175
Классификация неметаллических материалов.....	175
Пластмассы.....	175
Керамические материалы.....	180
Каучук и его производные.....	183
Неорганические стекла.....	184
Древесина и ее разновидности.....	186
Композиционные материалы на неметаллической основе.....	187
РАЗДЕЛ V ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	193
Лекция 12 Материалы для режущих, измерительных и деформирующих инструментов.....	193
Материалы для режущих и измерительных инструментов.....	193
Углеродистые стали.....	194
Быстрорежущие стали.....	196
Спеченные твердые сплавы.....	197
Сверхтвердые материалы.....	199
Стали для измерительных инструментов.....	200
Стали для инструментов холодной обработки давлением.....	201
Стали для инструментов горячей обработки давлением.....	203
Материал для самостоятельного изучения.....	207
Порошковые материалы.....	207
Общие положения.....	207
Метод порошковой металлургии.....	209
Свойства и получение порошковых материалов в промышленности.....	209
Конструкционные порошковые материалы.....	212
Порошковые антифрикционные материалы.....	213
Порошковые фрикционные материалы.....	215
Библиографический список.....	217

РАЗДЕЛ I
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

Лекция 1

Особенности атомно-кристаллического строения металлов

План лекции

1. Кристаллическое строение металлов и сплавов.
2. Понятие об изотропии и анизотропии.
3. Влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов.
4. Кристаллизация металлов и сплавов.
5. Форма кристаллов и строение слитков.
6. Аморфное состояние материалов.
7. Дефекты кристаллического строения.
8. Диффузия в металлах и сплавах.
9. Анализ макроструктуры и микроструктуры.
10. Полиморфные превращения.

Кристаллическое строение металлов и сплавов

83 из известных 112 химических элементов таблицы Менделеева Д. И. являются металлами. Они обладают рядом характерных свойств:

- высокой тепло- и электропроводностью;
- положительным коэффициентом электросопротивления (с повышением температуры электросопротивление растёт);
- термоэлектронной эмиссией (испусканием электронов при нагреве);
- хорошей отражательной способностью (блеском);
- способностью к пластической деформации;
- полиморфизмом.

Наличие перечисленных свойств обусловлено металлическим состоянием вещества, главным из которых является наличие *легкоподвижных коллективизированных электронов проводимости*.

Под *атомно-кристаллической структурой* понимают взаимное расположение атомов в кристалле. Кристалл состоит из атомов (ионов), расположенных в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях. Наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решётку, называют *элементарной ячейкой*.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

- размеры ребер элементарной ячейки. a , b , c – периоды решетки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определенными.

- углы между осями (α , β , γ).

- координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке (рис.1.1).

- базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.

- плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74).

Классификация возможных видов кристаллических решеток была проведена французским ученым О. Браве, соответственно они получили название «решетки Браве». Всего для кристаллических тел существует четырнадцать видов решеток.

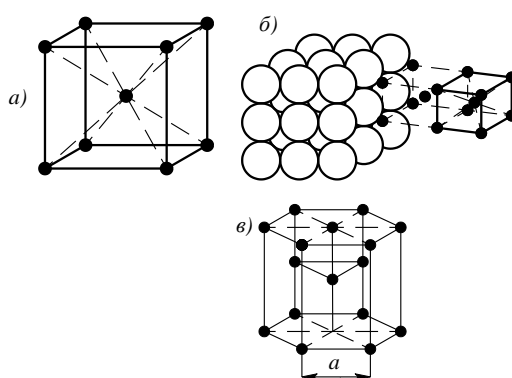


Рис.1.1 Схема определения координационного числа кристаллической решётки: а – ГЦК; б – ОЦК; в – ГПУ

Простейшим типом кристаллической ячейки является *кубическая решётка*. В простой кубической решётке атомы расположены (упакованы) недостаточно плотно.

Стремление атомов металла занять места, наиболее близкие друг к другу, приводит к образованию решеток других типов (рис.1.2):

- объёмноцентрированной кубической решётки (ОЦК) (рис.1.2, а) с параметром:

$$a = 0,28 - 0,6\text{мм} = 2,8 - 6,0 \text{ \AA}$$

- гранецентрированной кубической решётки (ГЦК) (рис.1.2, б) с параметром:

$$a = 0,25\text{мм}$$

- гексагональной плотно - упакованной решётки (ГПУ) (рис.1.2, в) с параметром:

$$c / a \approx 1,633$$

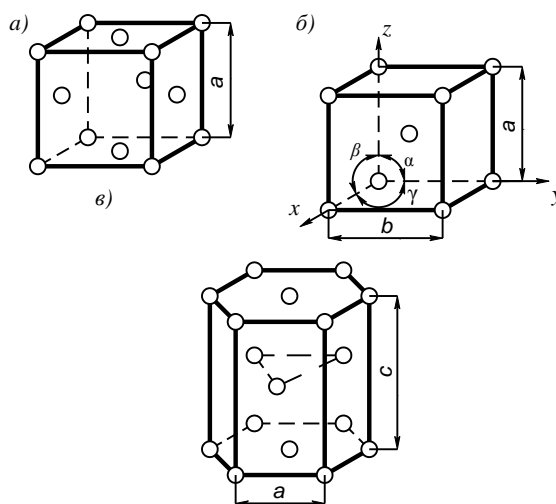


Рис.1.2 Кристаллические решётки:

а – гранецентрированный куб (ОЦК); б – объёмноцентрированный куб (ГЦК);
в- гексагональная плотно упакованная (ГПУ)

Понятие об изотропии и анизотропии

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела *изотропны*.

Узлы (положения атомов), направления в плоскости и в пространстве обозначаются с помощью, так называемых индексов Миллера (рис.1.3). Индексы узла записываются – (mnp) , индексы направления - $[mnp]$, индекс плоскости - (hkl) .

Вследствие неодинаковой плотности атомов в различных плоскостях и направлениях решётки многие свойства отдельно взятого кристалла (химические, физические, механические) по данному направлению отличаются от свойств в другом направлении и, естественно, зависят от того, сколько атомов встречается в этом направлении. Различие свойств в зависимости от направления испытания носит название **анизотропии**.

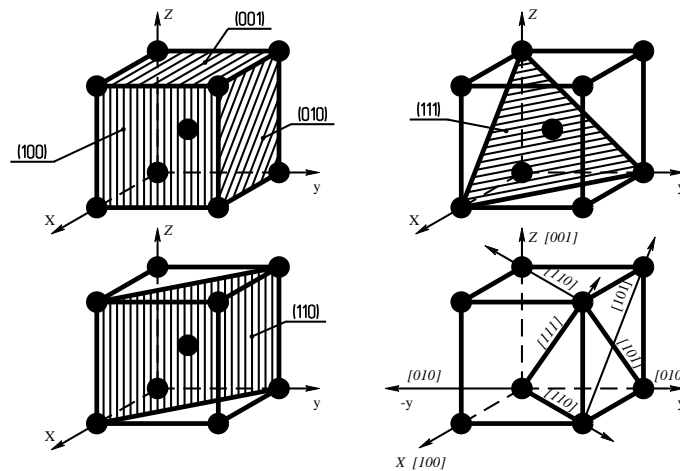


Рис.1.3 Символы некоторых важнейших узлов, направлений и плоскостей в кубической решётке

Анизотропия – особенность любого кристалла, характерная для кристаллического строения.

Технические металлы являются поликристаллами, т.е. состоят из совокупности кристаллитов с различной ориентацией. При этом свойства во всех направлениях усредняются.

Влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов

Тип связи возникающий между элементарными частицами в кристалле, определяется электронным строением атомов, вступающих во взаимодействие. Силы притяжения возникают благодаря взаимодействию электронов с положительно заряженным ядром собственного атома, а также с положительно заряженными ядрами соседних атомов. Силы отталкивания возникают в результате взаимодействия положительно заряженных ядер соседних атомов при их сближении. Уравновешивание сил происходит при сближении атомов на определенное расстояние с максимумом энергии связи $E_{св}$, что делает кристалл термодинамически стабильным.

$E_{св}$ определяет: температуру плавления, испарения, модуль упругости, температурный коэффициент линейного расширения.

Все кристаллы по характеру преобладающей связи подразделяют:

- Молекулярные.

- Ковалентные.
- Металлические.
- Ионные.

Молекулярные кристаллы в инертных газах имеют единственную связь Ван-дер-Ваальса, а следовательно, она определяет структуру и свойства кристаллов. Возникновение сил притяжения между атомами объясняют мгновенной поляризацией атомов при сближении. Силы Ван-дер-Ваальса не имеют направленного характера, так как мгновенный диполь образуется с каждым из соседних атомов. В результате атомы, стремясь увеличить число соседей в кристаллической решётке, укладываются наиболее компактным образом.

Ковалентные кристаллы образуют атомы углерода, кремния, германия, сурьмы, висмута и др. К ковалентным кристаллам относятся и многие сложные кристаллические вещества, состоящие из разнородных атомов, например, карбид кремния, нитрид алюминия и др. Ковалентная связь характеризуется направленностью, так как каждый атом вступает в обменное взаимодействие с определённым числом соседних атомов.

Вследствие большой энергии связи ковалентные кристаллы характеризуются высокими температурами плавления и испарения.

В **металлическом кристалле** при взаимодействии с элементами других групп атомы легко отдают свои валентные электроны и превращаются в положительные ионы. Металлическая связь ненаправленная, так как каждый атом стремится притянуть к себе как можно больше соседних атомов. Среди металлов и некоторых неметаллов распространено явление *полиморфизма* – способность в твёрдом состоянии при различных температурах (или давлении) иметь различные типы кристаллических структур. Эти кристаллические структуры называют аллотропическими формами или модификациями. Низкотемпературную модификацию называют α , а высокотемпературные β , γ , δ и т.д. Температурным полиморфизмом обладают около тридцати металлов. Быстрое охлаждение может сохранить высокотемпературную модификацию в течение длительного времени при $T = 20-25^{\circ} \text{C}$, так как низкая диффузионная подвижность атомов при таких температурах не способна вызвать перестройку решетки. Кроме того известен полиморфизм под влиянием температуры и давления (графит – алмаз).

В сложных **ионных кристаллах**, состоящих из элементов различной валентности, возможно образование ионного типа связи. Представитель этой группы – кристалл оксида FeO, решётка которого состоит из отрицательно заряженных ионов кислорода и положительно заряженных ионов железа. Перераспределение валентных электронов при ионной связи происходит между атомами одной молекулы (одним атомом железа и одним атомом кислорода).

Кристаллизация металлов и сплавов

В зависимости от температуры любое вещество (система) может быть в твердом, жидком или в газообразном состояниях. В физической химии *системой* называют совокупность индивидуальных веществ (химические элементы, независимые химические соединения), между которыми или частями которых обеспечена возможность обмена энергией, а также процессов диффузии.

В природе все самопроизвольно протекающие превращения, а следовательно, кристаллизация и плавление обусловлены тем, что новое состояние в новых условиях является энергетически более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением частиц (атомов, молекул), характеризуется особой термодинамической функцией (F), называемой *свободной энергией*, которая определяется:

$$F = U - TS,$$

где U – внутренняя энергия системы;

T - абсолютная температура;

S - энтропия

Можно сказать, что чем больше свободная энергия системы, тем система менее устойчива, и если имеется возможность, то система переходит в состояние, где свободная энергия меньше.

С изменением внешних условий, например температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и твердого состояний (рис. 1.4).

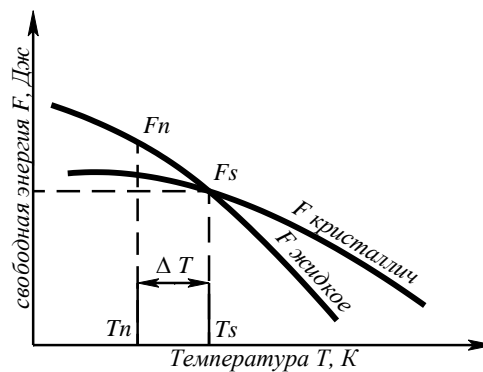


Рис.1.4 Изменение свободной энергии жидкого и кристаллического состояний в зависимости от температуры

Выше температуры T_s меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, ниже T_s – вещество в твердом состоянии.

Следовательно, выше T_s вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_s – в твердом, кристаллическом.

Очевидно, что при температуре, равной T_s свободные энергии жидкого и твердого состояний равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии. Эта температура T_s и есть *равновесная* или *теоретическая температура кристаллизации*.

Для начала кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Их кривых (рис.1.4) видно, что это возможно только тогда, когда жидкость будет охлаждена ниже точки T_s .

Температура, при которой практически начинается кристаллизация, может быть названа *фактической температурой кристаллизации*.

Охлаждение жидкости ниже температуры кристаллизации называется *переохлаждением*.

Обратное превращение из кристаллического состояния в жидкое может произойти только выше температуры T_s , это явление называется *переохлаждением*.

Величиной или степенью переохлаждения называют разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации:

$$T = T_s - T_{\phi}.$$

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура (рис.1.5).

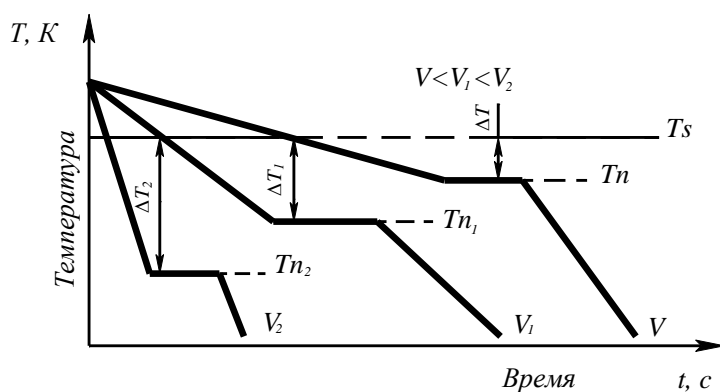


Рис.1.5 Кривые охлаждения, полученные при кристаллизации металла

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния. При достижении температур кристаллизации на кривой температура – время появляются

горизонтальные площадки (рис.1.5), так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации *скрытой теплотой кристаллизации*.

Процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов. Первый процесс заключается в зарождении мельчайших частиц кристаллов, которые называются *зародышами* или *центрами кристаллизации*. Второй процесс состоит в росте кристаллов из этих центров.

Модель кристаллизации металла в первые 7 секунд охлаждения представлена схемой процесса кристаллизации (рис.1.6).

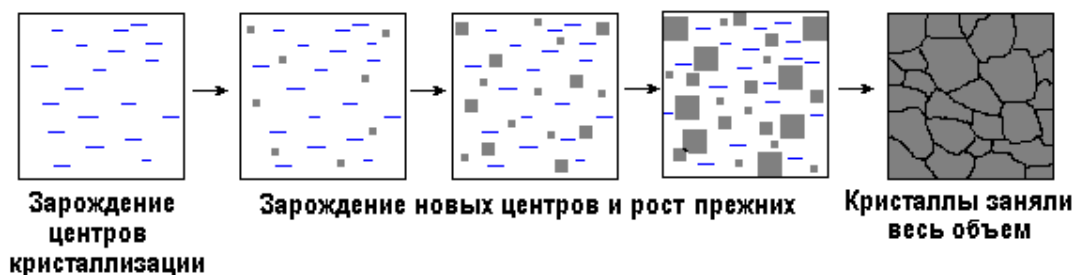


Рис.1.6 Схема процесса кристаллизации

По мере развития кристаллизации в нем участвуют все большее и большее число кристаллов. Поэтому процесс, вначале ускоряется, пока в какой-то момент взаимное столкновение растущих кристаллов начинает заметно препятствовать их росту. Рост кристаллов замедляется еще и потому, что количество жидкости, в которой образуются новые кристаллы, становится все меньше. В процессе кристаллизации, пока кристалл окружен жидкостью, он часто имеет правильную форму, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается. Внешняя форма кристалла оказывается зависимой от условий соприкосновения растущих кристаллов. Вот почему кристаллы металла - зерна (кристаллиты) не имеют правильной формы.

Скорость всего процесса кристаллизации количественно определяется двумя величинами: скоростью зарождения центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером зародыша*.

Форма кристаллов и строение слитков

Реально протекающий процесс кристаллизации усложняется действием различных факторов:

- скорости и направления отвода тепла;
- наличия нерастворившихся частиц (центров кристаллизации);
- конвекционных токов жидкости.

В направлении отвода тепла кристалл растет быстрее, чем в другом направлении.

Если на боковой поверхности растущего кристалла возникнет бугорок, то кристалл приобретает способность расти и в боковом направлении. В результате образуется древовидный кристалл, так называемый *дендрит* (рис.1.7).

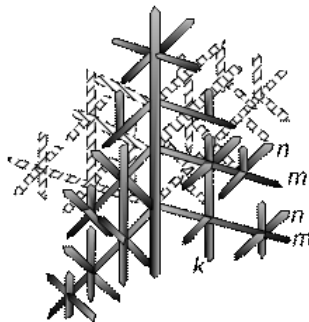


Рис.1.7 Схема строения дендрита: 1, 2 и 3 – оси соответственно первого, второго и третьего порядков

Дендритное строение типично для литого металла. Дендрит состоит из ствола (ось первого порядка), от которого идут ветви (оси второго и третьего порядков). Чем быстрее было охлаждение при кристаллизации, тем меньше размеры (высота) дендрита и меньше расстояния между ветвями второго порядка. Если условия благоприятны, охлаждение медленное, то могут вырасти огромного размера дендриты. В обычных слитках массой в сотни килограммов или несколько тонн, дендриты имеют размеры несколько десятков миллиметров и меньше. Различные сочетания факторов, влияющих на кристаллизацию, приводят к своеобразной структуре стальных слитков.

Типичная структура слитка состоит из трех основных зон (рис.1.8).

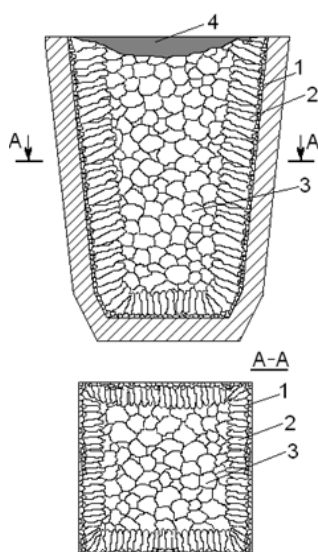


Рис.1.8 Схема строения стального слитка

Первая зона – наружная *мелкозернистая корка I*, состоящая из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов. При первом соприкосновении со стенками изложницы в тонком прилегающем слое жидкого металла возникает резкий градиент температур и, как следствие, явление переохлаждения, ведущее к образованию большого количества центров кристаллизации. В результате корка получает мелкозернистое строение.

Вторая зона – зона *столбчатых кристаллов II*. После образования самой корки условия теплоотвода меняются (из-за теплового сопротивления, из-за повышения температуры стенки изложницы и других причин), градиент температур в прилегающем слое жидкого металла резко уменьшается и, следовательно, уменьшается степень переохлаждения стали. В результате, из небольшого числа центров кристаллизации начинают расти нормально ориентированные к поверхности корки (т.е. в направлении отвода тепла) столбчатые кристаллы.

Третья зона слитка – зона *равноосных кристаллов III*. В центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла. Температура застывающего металла успевает почти уравниваться в различных точках, и жидкость обращается как бы в кашеобразное состояние вследствие образования в различных ее точках зачатков кристаллов. Далее зачатки разрастаются осями – ветвями по различным направлениям, встречаясь друг с другом. В результате этого процесса образуется равноосная структура.

Применяя различные технологические приемы, можно изменить количественное соотношение зон или исключить из структуры слитка какую-либо зону вообще (рис.1.9).

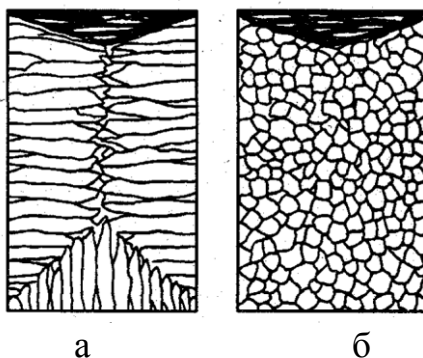


Рис.1.9 Схемы макроструктур слитков: а – столбчатые кристаллы; б – равноосные кристаллы

Например, перегрев сплавов перед разливкой и быстрое охлаждение при кристаллизации приводят к формированию структуры, состоящей практически из одних столбчатых кристаллов (рис.1.9а). Такая структура называется *транскристаллической*. Подобную структуру имеют слитки очень чистых металлов. Зона столбчатых кристаллов характеризуется

наибольшей плотностью, но в месте стыка столбчатых кристаллов собираются нерастворимые примеси, и слитки с транскристаллической структурой часто растрескиваются. Транскристаллическая структура в сварных швах уменьшает прочность.

На практике для измельчения структуры металлов и сплавов широко применяют технологическую операцию, называемую **модифицированием**. Она состоит во введении в жидкий сплав перед разливкой специальных добавок (модификаторов). В качестве модификаторов используют поверхностно-активные вещества (например, бор в стали, натрий в алюминии и его сплавах) и элементы, образующие тугоплавкие тонкодисперсионные частицы (например, титан, цирконий в алюминии и его сплавах; алюминий, титан в стали). Модификаторы добавляют в сплавы в количествах от тысячных до десятых долей процента.

Слитки сплавов имеют неоднородный состав. Неоднородность сплава по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям, образующаяся при кристаллизации слитка, называется **ликвацией**.

Химическая неоднородность по отдельным зонам слитка называется **зональной ликвацией**. Она отрицательно влияет на механические свойства. В реальных слитках помимо зональной встречаются и другие виды ликвации: внеосевая, дендритная, карбидная, подусадочная, угловая, гравитационная.

Так, гравитационная ликвация образуется в результате разницы в удельных весах твердой и жидкой фаз, а также при кристаллизации несмешивающихся жидких фаз.

Жидкий металл имеет больший объём, чем закристаллизовавшийся, поэтому залитый в форму металл в процессе кристаллизации сокращается в объёме, что приводит к образованию пустот, называемых **усадочными раковинами**. Усадочные раковины могут быть сконцентрированы в одном месте, либо рассеяны по всему объёму слитка или по его части. Они могут быть заполнены газами, растворимыми в жидком металле, но выделяющимися при кристаллизации.

Аморфное состояние материалов

В соответствии с кривыми зависимости скорости кристаллизации и скорости зарождения центров кристаллизации от степени переохлаждения, при сверхвысоких скоростях охлаждения из жидкого состояния ($> 10^6$ °C/c) диффузионные процессы настолько замедляются, что подавляется образование зародышей и рост кристаллов, жидкость сохраняется не превращённой, не закристаллизовавшейся. В этом случае при затвердевании образуется аморфная структура. Материалы с такой структурой получили название **аморфные сплавы** или **металлические стекла**.

Аморфное состояние обеспечивает металлическим материалам свойства, значительно отличающиеся от свойств соответствующих материалов с кристаллической структурой. Аморфные металлические материалы удачно сочетают высокие прочность, твердость и износостойкость с хорошей пластичностью и коррозионной стойкостью.

Затвердевание с образованием аморфной структуры принципиально возможно практически для всех металлов. В настоящее время аморфная структура получена более чем у 20 чистых металлов и полупроводниковых материалов и более 110 сплавов.

Сверхвысокие скорости охлаждения для получения аморфной структуры можно получить такими способами, как катапультирование капли на холодную пластину, центрифугирование капли или струи, распыление струи газом или жидкостью с высокой охлаждающей способностью и др.

Тонкий слой аморфного металла получают при расплавлении поверхности изделий лазерным лучом благодаря быстрому отводу теплоты при затвердевании массой основного металла.

Металлические материалы с аморфной структурой можно получить не только при затвердевании из жидкого состояния, но и путем сверхбыстрого охлаждения из газовой среды (парообразного или ионизированного состояния), электролизом и катодным распылением с высокими скоростями осаждения.

Дефекты кристаллического строения

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.
-

Точечные дефекты: Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей (рис.1.10).

Вакансия – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т.д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронной облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной

степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии. Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.



Рис.1.10 Точечные дефекты

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты: линейными дефектами являются дислокации. Априорное представление о дислокациях впервые использовано в 1934 году Орована и Тейлером при исследовании пластической деформации кристаллических материалов, для объяснения большой разницы между практической и теоретической прочностью металла.

Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.

Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые. **Краевая дислокация** представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней” полуплоскости (рис.1.11)

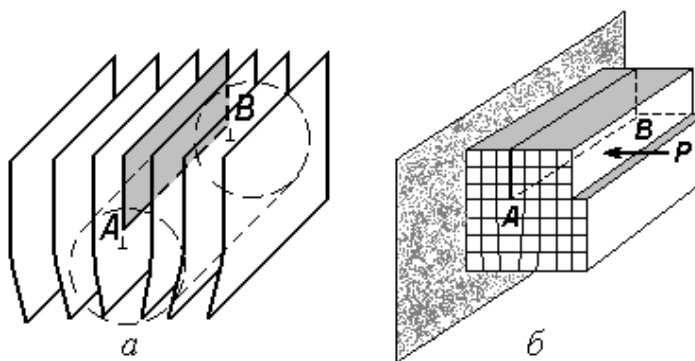


Рис.1.11 Схема дислокаций:

а - краевая дислокация; б – механизм образования дислокации

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма.

Неполная плоскость называется *экстраплоскостью*. Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная (\perp), если в нижней, то – отрицательная (\top). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

Другой тип дислокаций был описан Бюргерсом, и получил название *винтовая дислокация*.

Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рис.1.12) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки E до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация *правая*, а если поворотом против часовой стрелки – *левая*.

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

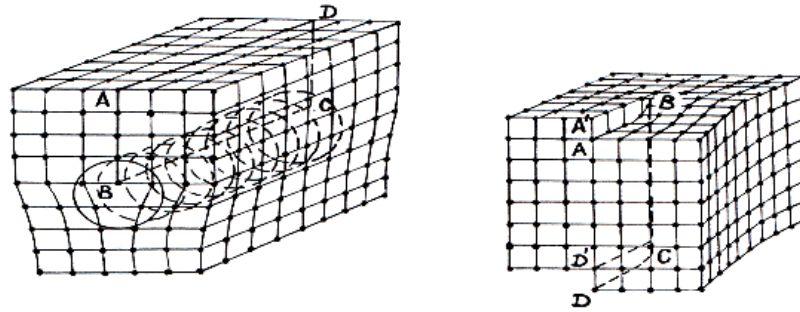


Рис.1.12 Механизм образования винтовой дислокации

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется **плотностью дислокаций**.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3

$$\rho = \frac{\sum l}{V} (\text{см}^{-2}; \text{м}^{-2})$$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$.

Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала. Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций $\rho = 10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$.

Если плотность меньше значения a , то сопротивление деформированию резко возрастает, а прочность приближается к теоретической. Повышение прочности достигается созданием металла с бездефектной структурой, а также повышением плотности дислокаций, затрудняющим их движение. При упрочнении металлов увеличением плотности дислокаций, она не должна превышать значений $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$. В противном случае образуются трещины.

Также с увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость.

Поверхностные (двумерные) дефекты - нарушения кристаллического строения, которые обладают большой протяженностью в двух измерениях и

протяженностью лишь в несколько межатомных расстояний в третьем измерении. К поверхностным дефектам относят границы зерен, фрагментов, блоков (рис.1.13).

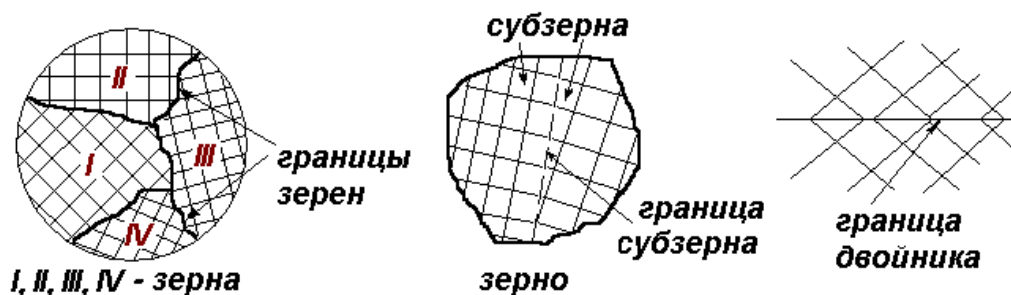


Рис.1.13 Поверхностные дефекты: границы зерен, субзерен и двойников

К поверхностным дефектам относятся дефекты упаковки, двойниковые границы, границы зерен.

Размеры зерен составляют до 1000 мкм. Углы разориентации составляют до нескольких десятков градусов (θ).

Граница между зернами представляет собой тонкую в 5 – 10 атомных диаметров поверхностную зону с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Строение переходного слоя способствует скоплению в нем дислокаций. На границах зерен повышена концентрация примесей, которые понижают поверхностную энергию. Однако и внутри зерна никогда не наблюдается идеального строения кристаллической решетки. Имеются участки, разориентированные один относительно другого на несколько градусов (θ_1). Эти участки называются **фрагментами**. Процесс деления зерен на фрагменты называется *фрагментацией* или *полигонизацией*.

В свою очередь каждый фрагмент состоит из блоков, размерами менее 10 мкм, разориентированных на угол менее одного градуса (θ_2). Такую структуру называют *блочной* или *мозаичной*.

Объемные (трехмерные) дефекты - нарушения, которые в трех измерениях имеют неограниченные размеры. К таким нарушениям относят трещины, поры, усадочные раковины.

Диффузия в металлах и сплавах

Атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки, непрерывно колеблются около положения равновесия. Некоторые из них приобретают столь большую энергию, что уходят со своего места в межузельное пространство, меняются местами со своими соседями, занимают находящиеся рядом вакансии и т. д. Такое перемещение атомов носит общее название – **диффузия**.

Различают самодиффузию и гетеродиффузию. **Самодиффузия** – это процесс перемещения атомов, не связанный с изменением концентрации компонентов в отдельных объемах. **Гетеродиффузия** – это процесс перемещения атомов, сопровождающийся изменением концентрации. Существует несколько механизмов диффузии: обменный, циклический, вакансионный, межузельный и др.

При обменном механизме два соседних атома обмениваются местами (рис.1.14, *а*). При циклическом механизме диффузия протекает совместным перемещением группы атомов (рис.1.14, *б*).

Для металлов наиболее вероятным является вакансионный механизм диффузии (рис.1.14, *в*), при котором вакансии кристаллической решетки занимают расположенными рядом атомами.

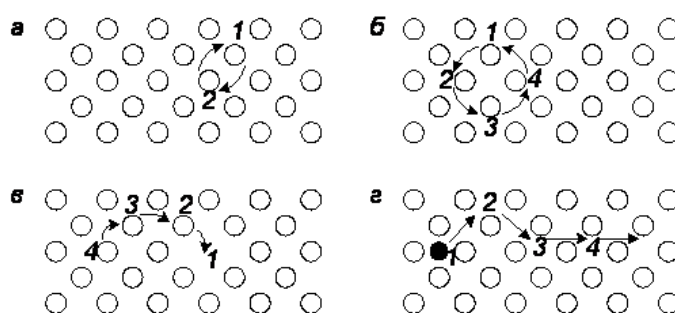


Рис.1.14 Механизмы диффузии атомов:
а – обменный; *б* – циклический; *в* – вакансионный;
г – межузельный

При межузельном механизме диффузии (рис.1.14,*г*) наблюдается переход атома из одного межузлия в соседнее. Такой механизм характерен для компонентов с малым атомным радиусом. Например, диффузия атомов углерода, азота, водорода в железоуглеродистых сплавах.

Наиболее легко диффузия протекает по границам и на поверхности зерен, где сконцентрированы дефекты кристаллического строения. Существенно увеличивает скорость диффузии повышение температуры. Так, при повышении температуры, начиная от комнатной, на каждые 10–15°C коэффициент диффузии возрастает примерно в два раза.

Анализ макроструктуры и микроструктуры

Структура твердого сплава является важнейшим объектом изучения в материаловедении. Выделяют макро - и микроструктуру. Изучение макроструктуры простой способ на определение наличия видимых дефектов: пор, раковин, царапин, трещин, определять характер разрушения металлического образца. При использовании химических травителей на его

поверхности можно количественно определить размер зерна и увидеть границы между ними, определить химическую неоднородность сплава. Исследования микроструктуры более сложный и детальный метод, который позволяет определять ко всему прочему соотношение фаз в структуре сплава, наличие вторичных включений, более мелких дефектов и т.п. Образцом для исследований в макроструктурном методе является *макрошлиф*, полученный из предварительно разрушенной детали.

Макрошлиф вырезается из детали под углом 45° к линии разрушения, поверхность образцов перед исследованием шлифуется, промывается проточной водой, при необходимости травится специальным химическим раствором. В микроструктурном методе исследования применяется темплет. *Темплет* – образец для исследования микроструктуры металла или сплава, вырезанный из разрешенного образца под углом 45° к плоскости разрешения, отшлифованный и отполированный с применением пасты Гойя. Перед изучением микроструктуры темплет травят водным раствором химического реактива.

Исследование структуры металлов может проводиться:

- методом световой микроскопии;
- методом электронной микроскопии;
- рентгеноструктурный анализ;
- рентгеноспектральный анализ;
- дополнительные методы исследования.

При методе световой микроскопии с помощью различных микроскопов можно увидеть размер, форму и взаимное расположение зерен, достаточно крупные включения, некоторые крупные дефекты кристаллического строения. Для исследования готовят микрошлифы (поверхность образца должна быть отполирована до зеркального блеска, а затем протравлена специальными реактивами).

Метод электронной микроскопии проводится с помощью электронных микроскопов, которые делятся на просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ) и растровые электронные микроскопы (РЭМ). Метод основан на прохождении, преломлении, рассеивании и отражении электронного пучка от поверхности исследуемого микрошлифа. При этом можно увидеть детали структуры менее $0,1\text{мкм}$, однако, этот метод требует сложной подготовки образца, особенно при исследовании на просвечивающем электронном микроскопе.

Рентгеноструктурный анализ изучает строение решетки и основан на исследовании микрошлифа путем рассеивания рентгеновских лучей.

Методом спектрального анализа и аналитической химии можно определить состав сплава, при этом достигается высокая точность при определении распределения компонентов.

К дополнительным методам для определения тонкой структуры металлов и сплавов, включая дефекты типа вакансий и дислокаций, относятся:

- нейтронография;
- ядерный гамма-резонанс;
- автоионная микроскопия;
- оже-электронная спектроскопия.

Полиморфные превращения в металлах

В ряде случаев при изменении температуры или давления может оказаться, что для одного и того же металла более устойчивой будет другая решетка, чем та, которая существует при данной температуре или давлении. Так, например, существует железо с решетками объемно-центрированного и гранецентрированного кубов, обнаружен кобальт с гранецентрированной и с гексагональной решетками.

Существование одного и того же металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название *полиморфизма* или *аллотропии*.

Различные кристаллические формы одного вещества называются *полиморфными* или *аллотропическими модификациями* (Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β , γ и т.д., которые в виде индексов добавляют к символу, обозначающему элемент. Аллотропическая форма при самой низкой температуре, обозначается буквой α , следующая - β и т. д.

Явление полиморфизма основано на едином законе об устойчивости состояния с наименьшим запасом энергии. Запас свободной энергии зависит от температуры. Поэтому в одном интервале температур более устойчивой является одна модификация, а в другом – другая. Температура, при которой осуществляется переход из одной модификации в другую, носит название температуры *полиморфного (аллотропического) превращения*.

Представителями полиморфных превращений служат железо и титан. При нормальном состоянии при комнатной температуре железо имеет решетку ОЦК. (α -Fe). При нагреве металла до температуры 911°C, атомы решетки начинают перестраиваться в новую модификацию и формируется решетка ГЦК (β -Fe). Если железо нагревать далее, то при температуре 1399°C атомы решетки снова перестраиваются и получается δ -Fe с решеткой ОЦК, которая существует вплоть до расплавления металла.

Титан также имеет не постоянную кристаллическую решетку. До температуры 882°C α -Ti имеет решетку ГПУ, а при достижении данной температуры атомы перемещаются и выстраиваются в решетку ОЦК, такой титан принято называть β – Ti.

Такая особенность металлов существенно влияет на структурообразование и механические свойства в процессе термической обработки или горячей деформации. Поэтому при выборе режимов термической обработки или горячей деформации температуру нагрева назначают выше критической температуры полиморфного превращения.

Механизм роста кристаллов новой фазы может быть нормальным кристаллизационным и мартенситным. *Нормальный механизм роста* – это зарождение новой фазы на границах зерен, блоков, фрагментов при малых степенях переохлаждения ($Sn_{\alpha} \leftrightarrow Sn_{\beta}$).

Мартенситный механизм реализуется при низких температурах и большой степени переохлаждения, при малой диффузионной подвижности атомов путем их сдвига (смещения) по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. Новая фаза имеет форму игл и растет очень быстро ($Co_{\alpha} \leftrightarrow Co_{\beta}$).

Аллотропическое превращение сопровождается изменением свойств, объема и появлением внутренних напряжений.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое полиморфизм?
2. Дать определение атомно – кристаллическому строению металла. Виды кристаллических решеток и их параметры.
3. Что такое анизотропия свойств кристалла? В чем отличие изотропных кристаллов от анизотропных?
4. Назвать дефекты кристаллической решетки и дать объяснение их влияния на свойства материалов.
5. В чем заключается физическая сущность процессов плавления и кристаллизации?
6. Изобразите схему и охарактеризуйте строение слитка.
7. Что такое ликвация? Виды ликваций и методы их устранения.
8. Какие методы анализа строения металла или сплава проводят для выявления ликвации и прочих дефектов материала?
9. Типы связей между атомами и их влияние на свойства сплавов.

Лекция 2

Механические свойства материалов и методы их оценки

План лекции

1. Упругая и пластическая деформации.
2. Понятие об основных механических свойствах металлов и сплавов.
3. Испытание на прочность. Построение диаграмм растяжения.
4. Методы определения твердости.
5. Испытания на ударную вязкость.
6. Испытания на усталость.
7. Испытания на ползучесть материала.

Упругая и пластическая деформации

Из свойств, которыми могут обладать материалы, механические свойства в большинстве случаев являются важнейшими. Все наиболее ответственные детали и изделия изготавливают из металлов.

Для металлов характерна металлическая связь, когда в узлах кристаллической решетки расположены положительно заряженные ионы, окруженные электронным газом. Наличие металлической связи придает материалу (металлу) способность к пластической деформации и к самоупрочнению в результате пластической деформации.

Способность металла сопротивляться воздействию внешних сил характеризуется механическими свойствами. Поэтому при выборе материала для изготовления деталей машин необходимо, прежде всего, учитывать его механические свойства: прочность, упругость, пластичность, ударную вязкость, твердость и выносливость. Эти свойства определяют по результатам механических испытаний, при которых металлы подвергаются воздействию внешних сил (нагрузок). Внешние силы могут быть статическими, динамическими или циклическими (повторно-переменными). Нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию.

Напряжение – величина нагрузки, отнесенная к единице площади поперечного сечения испытываемого образца.

Деформация – изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил. Деформация может быть *упругой*, исчезающей после снятия нагрузки, и *пластической*, остающейся после снятия нагрузки.

Упругой деформацией называется обратимая деформация, полностью исчезающая после снятия вызывающих ее напряжений.

При упругом деформировании изменяются расстояния между атомами металла в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места, и деформация исчезает.

Упругая деформация на диаграмме деформации характеризуется линией ОА (рис.1.15).

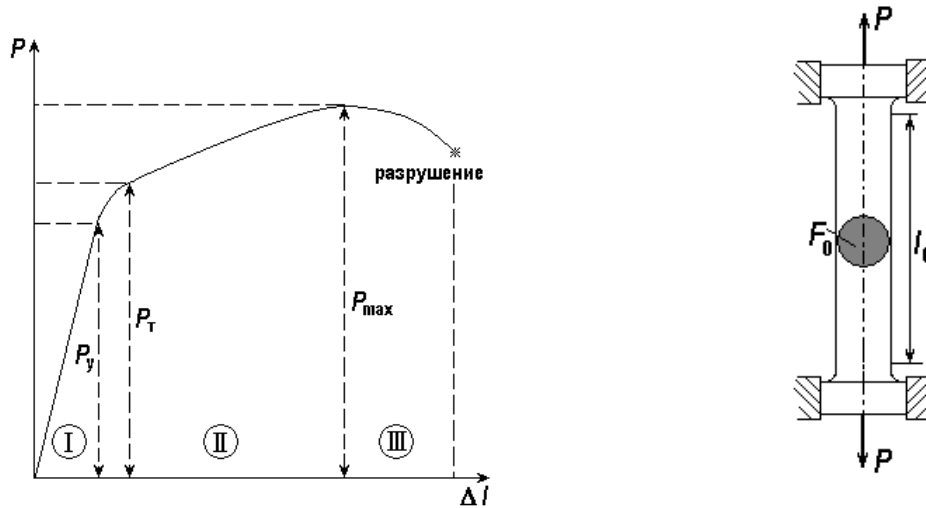


Рис.1.15 Диаграмма растяжения пластичного материала

Пластичность – свойство твердых тел, не разрушаясь, необратимо изменять свои внешние формы (пластически течь) под действием внешних сил или внутренних напряжений. Пластические изменения формы металлического тела называют **пластической деформацией**.

Пластическая деформация может осуществляться скольжением и двойникованием, обычно при участии дислокационных дефектов (рис. 1.16).

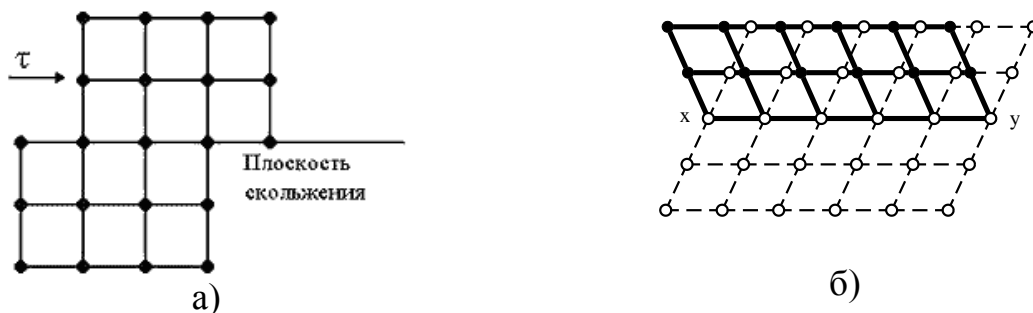


Рис.1.16 Схема процесса деформации:
а – скольжением; б – двойникованием

Скольжение – последовательное перемещение одной части кристалла по отношению к другой в результате перемещения уже имеющих в

кристалле дислокаций или только возникающих, т.е. смещение происходит по плоскостям (рис.1.17).

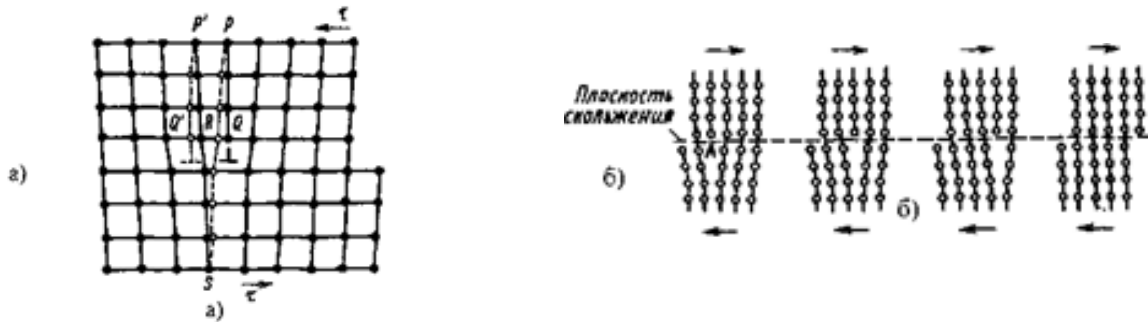


Рис.1.17 Схема дислокационного механизма пластической деформации:
а – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние; б – перемещение дислокации через весь кристалл

В промежутках между полосами скольжения деформация не происходит. Твердое тело не изменяет своего кристаллического строения во время пластической деформации и расположение атомов в элементарных ячейках сохраняется.

Это наиболее характерный вид деформации при обработке давлением.

Двойникование – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (рис.1.16, б).

Двойникование чаще возникает при пластической деформации кристаллов с объемно-центрированной и гексагональной решеткой, причем с повышением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию возрастает.

Двойникование может возникать не только в результате действия внешних сил, но и в результате отжига пластически деформированного тела. Двойникованием можно достичь незначительной степени деформации.

Деформация в обоих случаях начинается в зернах, плоскости скольжения которых составляют угол 45° с направлением усилия (рис.1.18, а).

В результате смещения кристаллографических плоскостей происходит увеличение плотности дислокаций, которые приводят к упрочнению металла или сплава. Деформационное упрочнение кристаллических тел называется **наклепом** (*нагартовкой*).

Чем больше степень деформации, тем заметнее изменения в микроструктуре: все больше зерен приобретают неравноосную форму. При степени деформации 70-80 % все зерна вытягиваются в направлении действующих напряжений (рис. 1.18).

Упрочняемость металла зависит от количества дислокаций, участвующих в процессе пластической деформации, и характера их движения.

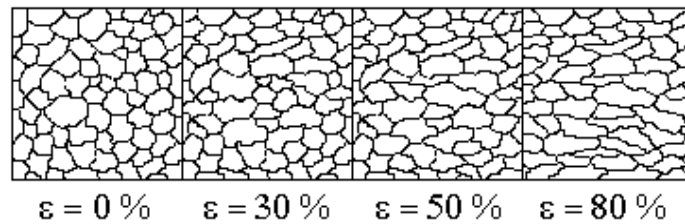


Рис.1.18 Изменение микроструктуры металла при наклепе

Изменение формы зерна в структуре материала, приводит к увеличению прочности и уменьшению пластичности материала (рис.1.19).

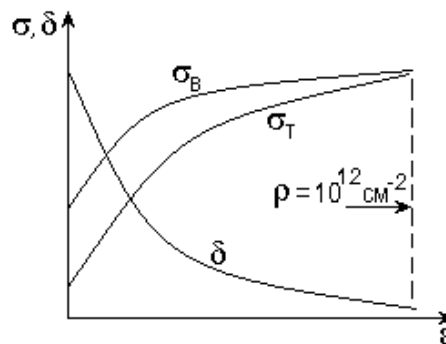


Рис.1.19 Изменение механических свойств металла при наклепе

Упрочняемость металла зависит от количества дислокаций, участвующих в процессе пластической деформации, и характера их движения.

На начальной стадии процесса деформации наблюдается скольжение единичных дислокаций (ламинарное движение), торможение которых (упрочнение) осуществляется только границами субзерен и поэтому невелико. Далее начинается турбулентное скольжение большого числа дислокаций. Упрочнение происходит за счет малоподвижных порогов и барьеров. Скорость упрочнения максимальная. Далее скольжение идет преимущественно за счет поперечного скольжения винтовых дислокаций.

Упрочнение при пластической деформации обусловлено образованием малоподвижных порогов и барьеров при пересечении дислокаций, увеличением плотности дислокаций, измельчением зерна.

Формоизменение поликристаллического тела при обработке давлением – более сложный процесс. Пластическая деформация происходит в каждом из зерен, которые различно ориентированы по отношению друг к другу и к деформирующей нагрузке, различны по форме и размерам и обладают

неодинаковыми физико-механическими свойствами. Кроме того, при пластической деформации поликристаллов большую роль играют межкристаллитные прослойки – границы зерен (рис.1.20).

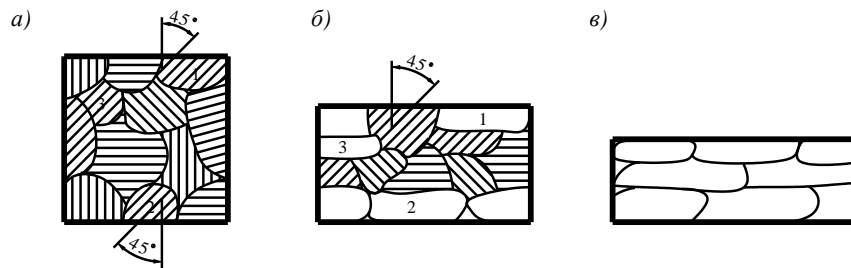


Рис.1.20 Схема образования текстуры в поликристаллитном теле:
а – расположение зерен; б – изменение формы зерен в направлении главной деформации;
в – текстура

Деформация начинается в зернах, плоскости скольжения которых составляют угол 45° с направлением усилия (рис.1.20, а).

При большой деформации в результате процессов скольжения зерна меняют свою форму, вытягиваются в направлении главной деформации (рис. 1.20, б) и образуют волокнистую или слоистую структуру. Такую структуру называют **текстурой** (рис.1.20, в), приводящей к анизотропии свойств металла.

Понятие об основных механических свойствах металлов и сплавов

Основными механическими свойствами являются прочность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность конструкций при их минимальной массе.

Механические свойства определяют поведение материала при деформации и разрушении от действия внешних нагрузок.

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

1. статическом нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
2. динамическом нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
3. повторно, переменном или циклическом нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.

Для получения сопоставимых результатов образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ГОСТами.

Испытания на определение прочностных и пластических свойств металлов и сплавов проводят деформацией растяжением, кручением, изгибом (рис.1.21).

Прочность - это способность металла или сплава противостоять деформации и разрушению под действием приложенных нагрузок - растягивающих, сжимающих, изгибающих, скручивающих и срезающих (рис. 1.19). Нагрузки бывают внешними (вес, давление и др.) и внутренними (изменение размеров тела от нагревания и охлаждения, изменение структуры металла и т.д.), а также статическими, т.е. постоянными по величине и направлению действия, или динамическими, т.е. переменными по величине, направлению и продолжительности действия. Методы определения прочности рассмотрены отдельно.

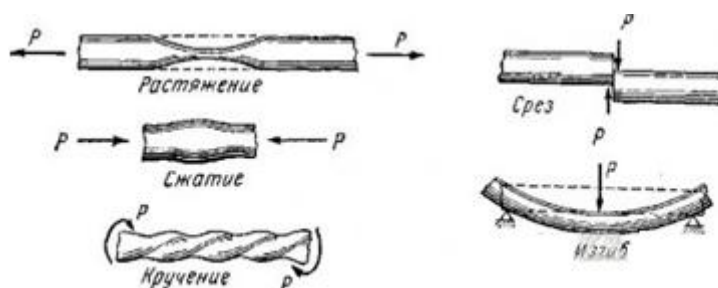


Рис.1.21 Виды нагрузок, вызывающих изменение формы металла или сплава

Твердостью называется способность металла или сплава оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела. Применяют следующие способы испытания твердости металлов и сплавов вдавливанием в поверхность образца:

а) стального закаленного шарика диаметром 2,5; 5 или 10 мм - определение твердости по Бринеллю;

б) стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм или алмазного конуса с углом 120° - определение твердости по Роквеллу;

в) правильной четырехгранной алмазной пирамиды – определение твердости по Виккерсу.

Упругостью называется способность металла или сплава восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия внешней нагрузки (рис.1.22).

Пластичностью называется способность металла или сплава, не разрушаясь, изменять форму под действием нагрузки и сохранять эту форму после ее снятия.

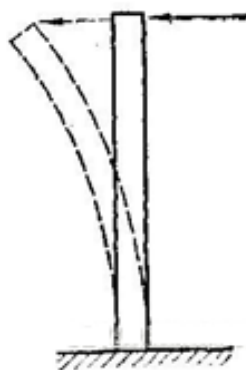


Рис.1.22 Деформация, характеризующая упругость (после снятия нагрузки образец возвращается в исходное положение)

Ударной вязкостью называется способность металла или сплава сопротивляться действию ударных нагрузок. Ударная вязкость измеряется в $\text{кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$ ($\text{Дж}/\text{м}^2$).

Ползучестью называется свойство металла или сплава медленно и непрерывно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки (особенно при повышенных температурах).

Усталостью называется постепенное разрушение металла или сплава при большом числе повторно-переменных нагрузок; свойство выдерживать эти нагрузки называется выносливостью.

Испытание на прочность. Построение диаграмм растяжения

При испытании образцов на растяжение определяют предел прочности (временное сопротивление) σ_b , предел текучести (физический) σ_T , предел текучести условный (технический) $\sigma_{0,2}$, предел пропорциональности $\sigma_{пц}$, истинное сопротивление разрыву S_k и относительное удлинение и сужение δ , φ .

Для установления комплекса механических свойств металлов образцы из исследуемого материала подвергают статическим и динамическим испытаниям.

Статическими называются испытания, при которых прилагаемая к образцу нагрузка возрастает медленно и плавно.

К статическим испытаниям относят испытание на растяжение, сжатие, кручение, изгиб, а также определение твердости.

Геометрические формы образцов из металлов и сплавов, предназначенных для исследования упругопластических и прочностных свойств, весьма многообразны, но наиболее широко используются образцы в виде стержня с утолщениями на его концах (рис. 1.23) и плоские образцы (рис.1.24). Утолщения на концах образцов называются головками. Форма

головки зависит от конструкции захватов испытательной машины, соответствующих виду нагрузок на образец.

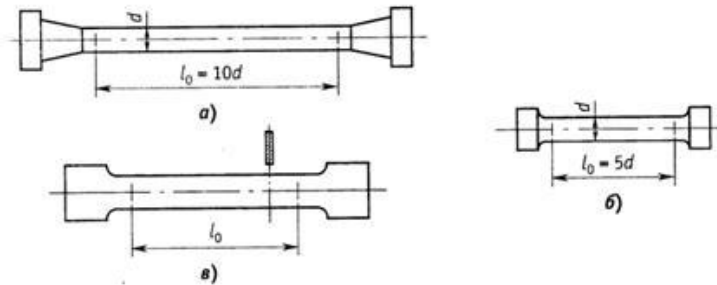


Рис.1.23 Цилиндрический образец для испытаний на растяжение

Для плоских образцов конструкции головок более однообразны по форме (рис. 1.24). Переход от рабочей части к головкам делается плавным, без резкого изменения формы, чтобы уменьшить концентрацию напряжений и тем самым обеспечить в рабочей части образца однородное и одноосное напряженное состояние.

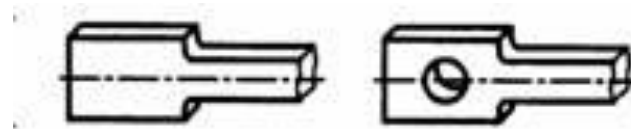


Рис.1.24 Головки плоских т образцов для испытаний на растяжение

Длина рабочей части в 5–10 раз превышает ее наибольший поперечный размер. Переходный участок выполняется в виде торообразной или конической поверхности.

В результате испытаний на статическое растяжение, которое проводят на разрывных машинах, получают диаграмму растяжения (рис.1.25, а) и диаграмму условных напряжений (рис. 1.25, б) пластичного металла.

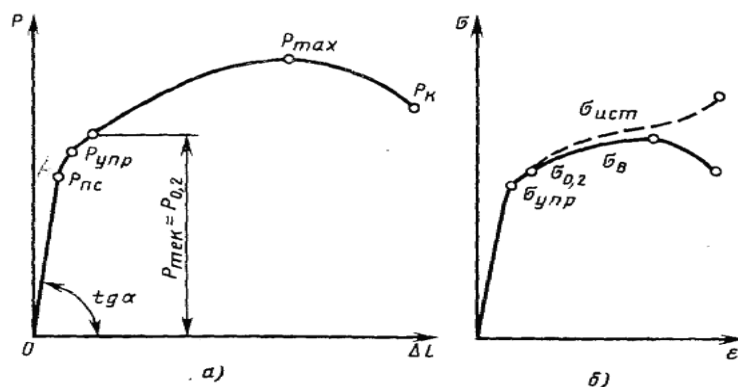


Рис.1.25 Изменение деформации в зависимости от напряжения:

а – диаграмма растяжения пластичного материала; б – диаграмма условных напряжений пластичного материала

Из графика видно, что сколь бы ни было мало приложенное напряжение, оно вызывает деформацию, причем начальные деформации являются всегда упругими и величина их находится в прямой зависимости от напряжения. На кривой, приведенной на диаграмме (рис.1.25), упругая деформация характеризуется линией ОА и ее продолжением.

Выше точки А нарушается пропорциональность между напряжением и деформацией. Напряжение вызывает уже не только упругую, но и пластическую деформацию.

Представленная на рис.1.25 зависимость между приложенным извне напряжением и вызванной им относительной деформацией характеризует механические свойства металлов:

- наклон прямой ОА (рис.1.25, а) показывает **жесткость металла** или характеристику того, как нагрузка, приложенная извне, изменяет межатомные расстояния, что в первом приближении характеризует силы межатомного притяжения; тангенс угла наклона прямой ОА пропорционален **модулю упругости** (E), который численно равен частному от деления напряжения на относительную упругую деформацию ($E = \sigma / \epsilon$);

- напряжение $\sigma_{\text{пц}}$ (рис.1.25, б), которое называется **пределом пропорциональности**, соответствует моменту появления пластической деформации. Чем точнее метод измерения деформации, тем ниже лежит точка А;

- напряжение $\sigma_{\text{упр}}$ (рис.1.25, б), которое называется **пределом упругости**, и при котором пластическая деформация достигает заданной малой величины, установленной условиями. Часто используют значения остаточной деформации 0,001; 0,005; 0,02 и 0,05%. Соответствующие пределы упругости обозначают $\sigma_{0,005}$, $\sigma_{0,02}$ и т.д. Предел упругости – важная характеристика пружинных материалов, которые используют для упругих элементов приборов и машин;

- напряжение $\sigma_{0,2}$, которое называется **условным пределом текучести** и которому соответствует пластическая деформация 0,2 %. Физический предел текучести σ_T определяется по диаграмме растяжения, когда на ней имеется площадка текучести. Однако при испытаниях на растяжение большинства сплавов площадки текучести на диаграммах нет. Выбранная пластическая деформация 0,2 % достаточно точно характеризует переход от упругих деформаций к пластическим, а напряжение $\sigma_{0,2}$ несложно определяется при испытаниях независимо от того, имеется или нет площадка текучести на диаграмме растяжения. Допустимое напряжение, которое используют в расчетах, выбирают обычно меньше $\sigma_{0,2}$ в 1,5 раза;

- максимальное напряжение σ_B , которое называется **временным сопротивлением**, характеризует максимальную несущую способность

материала, его прочность, предшествующую разрушению, и определяется по формуле:

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

Допустимое напряжение, которое используют в расчетах, выбирают меньше σ_B в 2,4 раза.

Пластичность материала характеризуется относительным удлинением δ и относительным сужением ψ :

$$\delta = [(l_k - l_0) / l_0] * 100,$$

$$\psi = [(F_0 - F_k) / F_0] * 100,$$

где l_0 и F_0 – начальная длина и площадь поперечного сечения образца;

l_k – конечная длина образца;

F_k – площадь поперечного сечения в месте разрыва.

Методы определения твердости

Величину твердости определяют путем внедрения в исследуемое тело более твердого тела, которое называется **индентором**.

Это неразрушающий метод контроля. Основной метод оценки качества термической обработки изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).

Твердость по Бринеллю определяется как отношение нагрузки при вдавливании стального шарика в испытуемый материал к площади поверхности полученного сферического отпечатка (рис.1.26, а).

$$HB = 2P / \pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}],$$

где P – нагрузка, кгс;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр лунки, мм

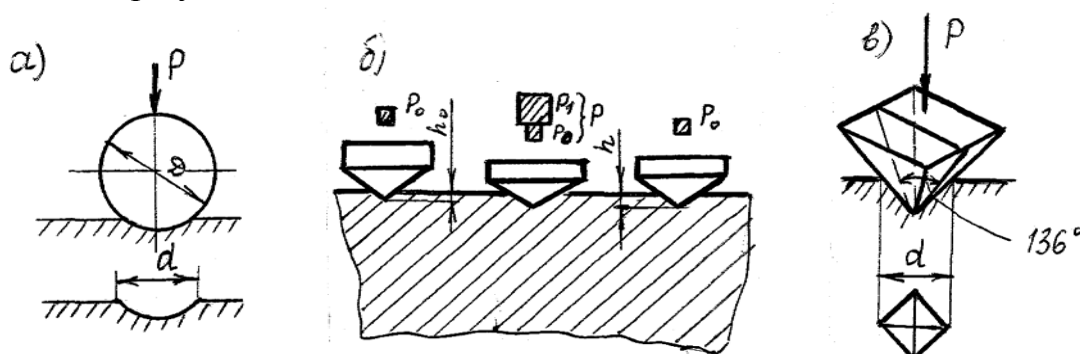


Рис.1.26 Схемы испытания на твердость:
а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Данным методом определяется твердость для большинства конструкций из металлов и сплавов, подвергнутых мягкой термической обработке: полный и неполный отжиг, нормализация, улучшение, а также в состоянии поставки. Зная значение твердости НВ можно определить: предел прочности, равномерное удлинение и сужение. Таким образом, главным преимуществом такого метода является физический смысл связи твердости и основными механическими характеристиками. Кроме того, метод отличается высокой надежностью и устойчивостью измеренной характеристики независимо от ряда факторов (качества поверхности).

Недостатком метода является невозможность оценивать твердость закаленных материалов, а также полос, лент, листов, имеющих небольшую толщину

Твердость по Роквеллу определяется глубиной проникновения в испытуемый материал алмазного конуса с углом при вершине 120° или закаленного шарика диаметром 1,588 мм (рис.1.26, б).

Конус или шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками:

- предварительной $P_0 = 10$ н;
- общей $P = P_0 + P_1$, где P_1 – основная нагрузка.

Твердость обозначается в условных единицах:

- для шкал А и С $HR = 100 - (h - h_0) / 0,002$
- для шкалы В $HR = 130 - (h - h_0) / 0,002$

Для определения твердости используется алмазный конус при нагрузке 60 Н (HRA), алмазный конус при нагрузке 150 Н (HRC) или стальной шарик диаметром 1,588 мм (HRB).

Способ Роквелла универсален, позволяет производить отчёт твёрдости автоматически без вычислений по показателям шкалы, при замере отпечаток от измерения значительно не большой и в большинстве случаев он не влияет на качество готовой детали.

Недостатком метода является отсутствие размерности величины твердости, поэтому данная твердость не имеет точного физического смысла, а также для замера твердости требуется тщательная подготовка поверхности образца.

Твердость по Виккерсу измеряют для деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, полученных химико-термической обработкой. твердость как мягких, так и очень твердых металлов.

Для проведения таких испытаний используется сложный прибор, который приводит к повышенной трудоёмкости замеров твёрдости.

Эта твердость определяется как отношение нагрузки при вдавливании в испытуемый материал алмазной четырехгранной пирамиды с углом между гранями 136° к площади поверхности полученного пирамидального отпечатка (рис.1.24в):

$$HV = 2P * \sin \alpha/2 / d^2 = 1,854 P/d^2,$$

где P – нагрузка, кгс;

$\alpha = 136^\circ$ – угол между гранями;

d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей, мм.

Величину HV находят по известному d согласно формуле или по расчетным таблицам согласно ГОСТ 2999-75.

Для проведения таких испытаний используется сложный прибор, который приводит к повышенной трудоемкости замеров твердости.

Твердость по Шору является основным методом определения твердости поверхности прокатных валков при их изготовлении, поставке на металлургическое предприятие, а также в процессе эксплуатации валков на прокатных станах.

Число твердости по Шору обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, со стоящим после них символом HSD, например 95 HSD. Число твердости указывается с округлением до целого числа.

Величина твердости по Шору не имеет точного перевода на другие величины твердостей или на прочностные свойства, получаемые при механических испытаниях.

Микротвердость, учитывая структурную неоднородность металла, применяют для измерения малых площадей образца. При этом вдавливают пирамиду как при определении твердости по Виккерсу, при нагрузке $P = 5-500$ Н, а среднее арифметическое длин обеих диагоналей (d) измеряется в мкм.

Основным вариантом испытания является так называемый метод восстановленного отпечатка, когда размеры отпечатков определяются после снятия нагрузки. Для случая, когда требуется определение дополнительных характеристик материала (упругое восстановление, релаксация, ползучесть при комнатной температуре и др.) допускается проводить испытание по методу невосстановленного отпечатка. При этом размеры отпечатка определяют на глубине вдавливания индентора в процессе приложения нагрузки.

Практически микротвердость определяют по стандартным таблицам для конкретной формы индентора, нагрузки P и полученных в испытании размеров диагоналей отпечатка.

В качестве инденторов используют алмазные наконечники разных форм и размеров в зависимости от назначения испытания микротвердости. Основным и наиболее распространенным наконечником является четырехгранная алмазная пирамида с квадратным основанием (по форме подобна индентору, применяющемуся при определении твердости по Виккерсу — см. рис.1.28).

Для измерения микротвердости используется металлографический микроскоп.

Испытания на ударную вязкость

Сопротивление материала разрушению при динамических нагрузках характеризует **ударная вязкость**. Её определяют (ГОСТ 9454-78) как удельную работу разрушения призматического образца с концентратором (надрезом) посередине одним ударом маятникового копра (рис.1.27):

$$КС = K / S_0,$$

где K – работа разрушения;

S_0 – площадь поперечного сечения образца в месте концентратора).

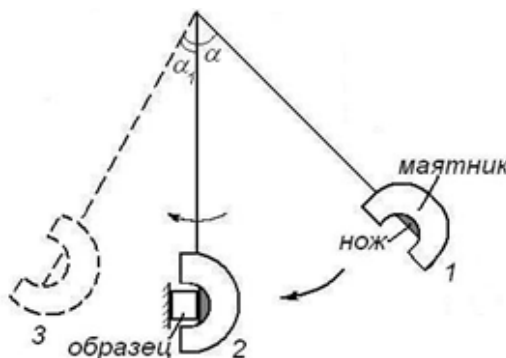


Рис.1.27 Схема испытаний на ударную вязкость

Существующие лабораторные методы определения ударной вязкости отличаются по:

- способу закрепления образца на испытательном стенде;
- способу приложения нагрузки — падающая гиря;
- маятник, молот;
- наличие или отсутствию надреза в месте приложения удара.

Для данных испытаний чаще всего используются образцы с наличием надзоров определенной формы с концентраторами напряжений: с U-образным надрезом, с V-образным надрезом, T-образным надрезом.

Следовательно, величина ударной вязкости обозначается КСУ, КСV, КСТ.

Удар наносят посередине образца маятником весом P и длиной L со стороны, противоположной надрезу (рис.1.28).

За окончательный результат испытания принимают работу удара или ударную вязкость для образцов с концентраторами видов U и V и ударную вязкость для образцов с концентратором вида T (усталостная трещина, получаемая в вершине начального надреза при циклическом изгибе образца в одной плоскости). Работу (КУ, КV или КТ) разрушения образца определяют обычно по специальной шкале маятникового копра. После определения

работы разрушения образца вычисляют по формуле ударную вязкость КСУ (KCV, KCT):

$$КС = A_n / F_0,$$

где F_0 – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, $см^2$;

A_n – работа затраченная на изгиб и разрушение.

$$A_n = A_{\text{запас раб.}} - A_{\text{после уд.}}$$

$$A_{\text{запас раб.}} = P H_0, \quad A_{\text{после уд.}} = P h,$$

$$A_n = P * l_1 (\cos \beta - \cos \alpha),$$

где P - масса маятника, кг;

l_1 – расстояние от оси маятника до его центра тяжести;

β - угол после удара;

α - угол до удара.

Размерность ударной вязкости - $км*м/см^2$ или $Дж/см^2$.

Ударная вязкость из всех характеристик механических свойств наиболее чувствительна к снижению температуры. Поэтому испытания на ударную вязкость при пониженных температурах используют для определения порога хладноломкости – температуры или интервала температур, в котором происходит снижение ударной вязкости.

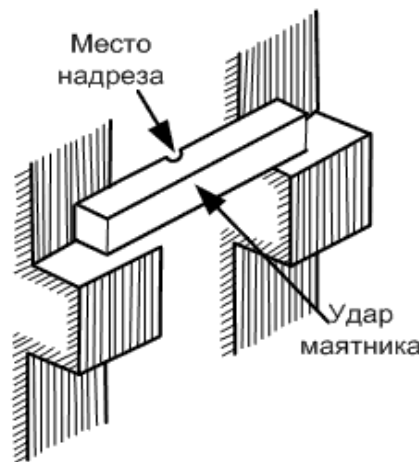


Рис.1.28 Схема положения образца при испытании на ударную вязкость

В частности, метод применяют для выяснения способности к отпускной хрупкости и определения пластичности металла в процессах горячей ОМД.

Испытание на усталость

Испытание на усталость позволяет выявить срок службы многих ответственных металлических деталей (шатунów, коленчатых валов двигателей, полуосей и др.), которые подвергаются в процессе работы действию повторных и знакопеременных нагрузок. Свойство металлов выдерживать большое число циклов переменных нагрузок называется выносливостью.

Единицей измерения при испытании на усталость является предел выносливости, т.е. величина допустимого напряжения, которое выдерживает металл без разрушения при заданном числе циклов нагрузки.

Усталостное разрушение металлов происходит в условиях повторяющихся знакопеременных напряжений, значения которых меньше предела прочности. Этот процесс постепенного разрушения. Усталость металлов заключается в том, что под действием большого числа циклов переменных нагрузок в наиболее нагруженном или ослабленном месте в нём зарождается, а затем растет трещина, следовательно, площадь сплошного металла постепенно уменьшается, а напряжения возрастают, что в конечном итоге приведёт к разрушению.

Такие испытания проводят в зависимости от назначения детали на разных машинах, нагрузка на которых прикладывается изгибом при вращении, попеременным растяжением — сжатием, кручением. Результатом испытания является кривая усталости (рис.1.29), отражающая зависимость напряжения от числа циклов, причем минимальная величина напряжения, выдерживаемая металлом в конце испытания, и будет характеризовать предел выносливости.

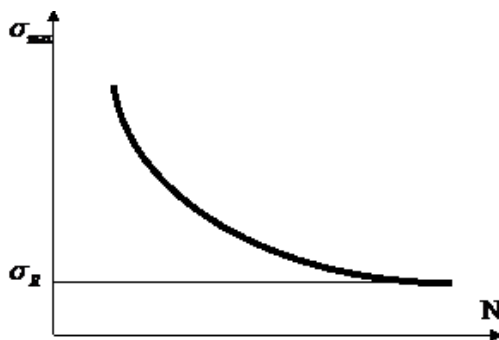


Рис.1.29 Кривая усталости (кривая Веллера)

На усталость деталей машин влияет множество факторов, наглядность которых приведена на схеме 1.

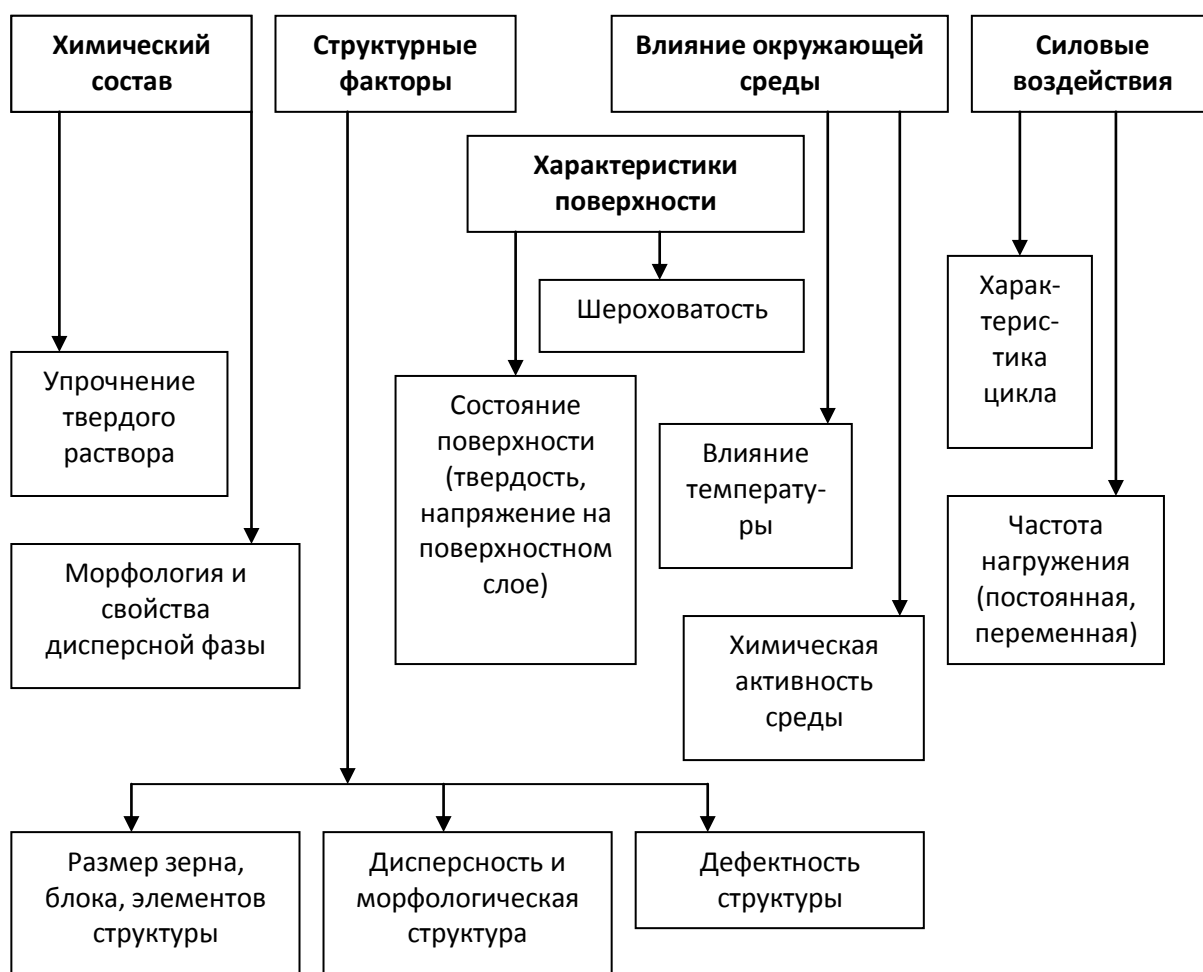


Схема 1 - Факторы, влияющие на усталостную прочность

Испытания на ползучесть материала

Ползучесть — это деформация материала во времени под действием постоянного напряжения. У металлов ползучесть наблюдается лишь при высоких температурах, у полимеров это может происходить и при комнатной температуре. В результате приложенной нагрузки возникает пластическая деформация, вызывающая наклеп. Вследствие наклепа происходит упрочнение материала, предел текучести при этом повышается и деформация приостанавливается. Однако при высокой температуре начинается процесс рекристаллизации (снятие наклепа) и деформация возникает вновь. Таким образом, при ползучести происходят два процесса: упрочнение металла за счет наклепа и снятие упрочнения под действием высокой температуры. После снятия наклепа и понижения значений предела текучести деформация развивается вновь.

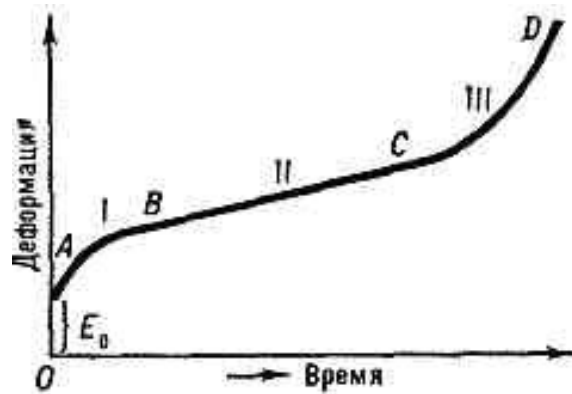


Рис.1.30 Кривая ползучести

Испытания на ползучесть выполняют на специальных установках при постоянной нагрузке. Образец устанавливают в захваты испытательной машины и помещают в печь. При этом автоматически производят измерение и запись длины образца, т.е. записывается кривая ползучести (рис.1.30). На этой кривой участок OA соответствует деформации, возникшей в момент приложения нагрузки; AB — участок неустойчивой ползучести; BC — участок устойчивой ползучести, когда металл деформируется с постоянной скоростью, которая характеризуется тангенсом угла наклона кривой; на участке CD процесс ползучести идет не просто с постоянной скоростью, а ускоряется, этот этап заканчивается разрушением в точке D .

В испытаниях на ползучесть определяют предел ползучести и длительную прочность. Предел ползучести — напряжение, вызывающее заданную деформацию при заданной температуре, т.е. регламентирующее величину остаточной деформации за определенное время (участок BC).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие характеристики механических свойств определяются при испытаниях на растяжение, при динамических нагрузках, при циклических нагрузках?
2. Методы определения твердости и их характеристика.
3. Какие механические свойства материалов определяются при повышенных температурах?
4. Что такое конструкционная прочность? Какие свойства материалов на нее влияют?
5. Что такое надежность и долговечность?
6. Что такое упругая деформация? Влияние упругой деформации на свойства материала.

7. Что такое пластическая деформация? Ее влияние на свойства металлов и сплавов.
8. Метод определения ударной вязкости. Физический смысл данной характеристики.
9. Дать определение микротвердости и описать методы ее определения.
10. Каким методом определяют твердость резины? Опишите механизм определения твердости соответствующим методом.
11. Что такое ползучесть и каково ее влияние на долговечность металлической детали?
12. Дайте характеристику усталостному разрушению. Опишите механизм его разрушения.

Лекция 3

Влияние химического состава на равновесную структуру сплавов

План лекции

1. Понятие о сплавах.
2. Классификация и структура металлов и сплавов.
3. Основные равновесные диаграммы состояния двойных сплавов.
4. Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов.

Понятие о сплавах

Чистые металлы обладают низкой прочностью и не обеспечивают требуемых механических и технологических свойств, поэтому наиболее широко в технике (промышленности) используют сплавы.

Металлическим сплавом называется вещество, полученное сплавлением двух и более исходных веществ, преимущественно металлических, и обладающее металлическими свойствами.

В настоящее время сплавы получают:

- сплавлением;
- спеканием (порошковая металлургия);
- электролизом;
- возгонкой (сублимацией);
- плазменным напылением и др.

Вещества, образующие сплав, называются **компонентами**.

В сплавах компоненты могут различно взаимодействовать друг с другом, образуя те или иные фазы.

Фазой называется однородная по химическому составу, кристаллической структуре, физическим свойствам часть гетерогенной термодинамической системы, отделенная от других ее частей поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяются скачком.

Система – это совокупность фаз, находящихся в равновесии и разграниченных поверхностями раздела.

В зависимости от количества компонентов, входящих в состав сплава, образуя его структуру, бывают двухкомпонентными и многокомпонентными.

Остальные элементы, входящими в состав сплава, которые корректируют свойства сплавов являются легирующими элементами.

Классификация и структура металлов и сплавов

При кристаллизации сплавов образуются твердые фазы, классификация которых представлена на схеме 2.



Схема 2 – Виды твердых фаз при кристаллизации сплавов

Твердыми растворами называют фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого или других компонентов располагаются в кристаллической решетке первого компонента (растворителя), изменяя ее размеры (периоды).

Твердые растворы имеют металлический тип связей. По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы: замещения, внедрения, вычитания (рис.1.31).

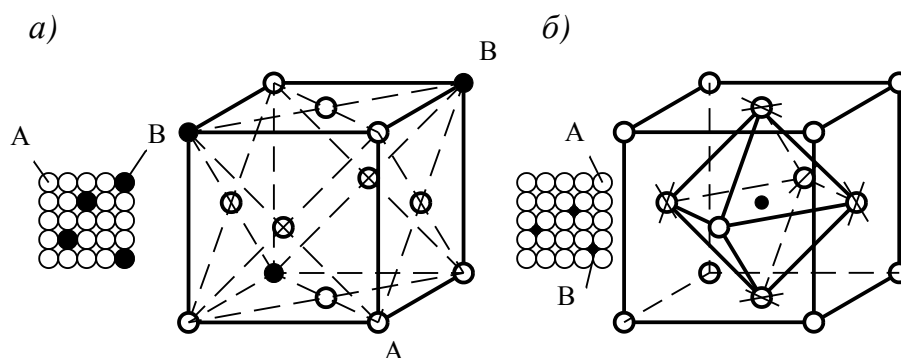


Рис.1.31 Схема строения кристаллических решеток:
а – твердый раствор замещения; б – твердый раствор внедрения

Твердые растворы замещения образуются при замене атомов в кристаллической решетке растворителя атомами растворенного компонента (рис.1.31, а). Твердые растворы замещения могут быть с ограниченной и неограниченной растворимостью и могут быть образованы при соблюдении следующих условий:

- компоненты должны обладать одинаковыми по типу кристаллическими решетками;
- различие в атомных радиусах компонентов не должно быть больше 8-13 % (при разности атомных радиусов меньше 8 % происходит полная взаимная растворимость одного компонента в другом и образуется неограниченный твердый раствор; при разности атомных радиусов в пределах 8-13 % получаются растворы ограниченной растворимости одного компонента в другом; при разности атомных радиусов больше 15 % имеет место полная взаимная нерастворимость и образование механической смеси или химического соединения);
- компоненты должны принадлежать к одной и той же группе периодической системы элементов или к смежной, обладать близким строением валентной оболочки атомов (чем больше разница в валентности элементов, вступающих во взаимодействие, тем меньше растворимость).

Твердые растворы внедрения (рис.1.31, б) образуются только в том случае, если внедряемые атомы имеют малые размеры и проникают в поры кристаллической решетки растворителя (H, C, N, B).

Твердые растворы вычитания образуются на базе металлических соединений (интерметаллидов), в структуре которых имеются узлы кристаллической решетки, не занятые атомами одного из компонентов.

Твердые растворы обозначаются малыми буквами греческого алфавита (рис.1.32).

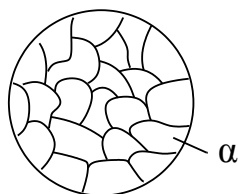


Рис.1.32 Схема структуры твердого раствора

При определенных условиях атомы растворенного элемента могут занимать определенные места в решетке, т.е. упорядоченно располагаться. Такие твердые растворы называются **упорядоченными твердыми растворами** (рис.1.33).

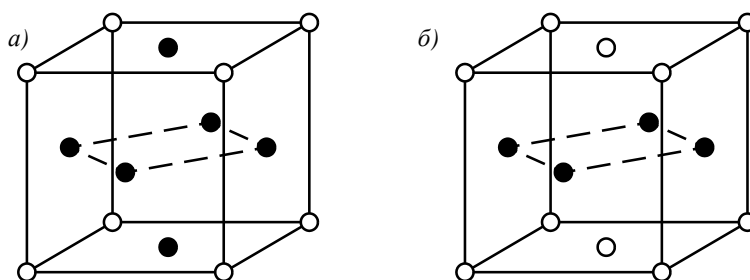


Рис.1.33 Кристаллические решетки упорядоченных твердых растворов в системе Cu – Au

При упорядочении решетки (диффузионный отжиг) изменяется период решетки, но тип решетки остается. Например, упорядоченный раствор CuAu (1:1) имеет гранецентрированную тетрагональную решетку с отношением периодов $c/a = 0,935$, а неупорядоченный раствор – кубическую гранецентрированную с отношением периодов $c/a = 1$.

Твердые растворы составляют основу большинства промышленных конструкционных и инструментальных сплавов и обладают хорошей технологической пластичностью.

Помимо твердых растворов, в составе структуры образуются также *химические соединения* основных элементов, входящих в состав сплава. Характерными особенностями химических соединений являются:

- кристаллическая решетка отличается от решеток компонентов, образующих соединение (рис.1.34). Атомы в решетке химического соединения располагаются упорядоченно, т.е. атомы каждого компонента расположены закономерно и по определенным узлам решетки. Большинство химических соединений имеют сложную кристаллическую структуру;

- в соединении всегда сохраняется простое кратное соотношение компонентов. Это позволяет выразить их состав простой формулой A_nB_m , где А и В – соответствующие элементы; n и m – простые числа. Например, у $CuAl_2$ соотношение количества атомов Cu и Al – 1: 2;

- свойства соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов;

- температура плавления (диссоциации) постоянная;

- образование химического соединения сопровождается значительным тепловым эффектом.

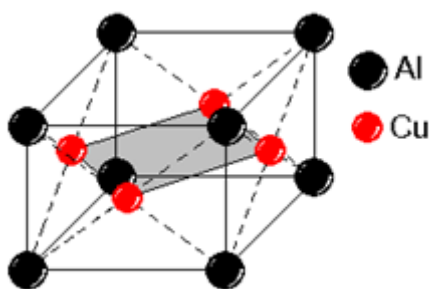


Рис.1.34 Химическое соединение алюминия с медью

Химические соединения в структуре сплава могут быть представлены в виде неметаллических включений и интерметаллидов.

Механические смеси - это смеси, которые образуются при сплавлении компонентов с большим различием атомных радиусов, значительным различием электромеханических свойств, когда их взаимная растворимость очень мала и они не вступают в химическую реакцию с образованием химического соединения. При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов и исходных компонентов (рис.1.35).



Рис.1.35 Условное обозначение механических смесей

Механическая смесь может быть образована:

- в результате кристаллизации, когда из жидкости одновременно кристаллизуются компоненты А и В (эвтектика – ж \rightarrow А + В)
- в результате кристаллизации, когда из жидкости одновременно кристаллизуются твердые растворы α и β (эвтектика – ж \rightarrow α + β);
- в результате распада твердого раствора на две твердые фазы (эвтектоид – $\gamma \rightarrow \alpha + A_nB_m$).

Основные равновесные диаграммы состояния двойных сплавов

Диаграмма состояния – это графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов в условиях равновесия.

Между тем, следует помнить, что абсолютное отсутствие взаимной растворимости в реальных сплавах не встречается. Компоненты в сплаве обозначают символами их элементов.

Диаграмма состояния позволяет:

- определить для каждого сплава, какие фазы, при каких температурах находятся в равновесии;
- установить состав и количественное соотношение находящихся в равновесии фаз;
- предсказать приблизительно структуру сплава, а иногда определить количественное соотношение структурных составляющих.

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, называемой **правилом фаз** или **законом Гибса**.

Правило фаз (или закон Гибса) дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количеством фаз и компонентов:

$$C = K - F + 2,$$

где Р – давление окружающей среды (если считать для металлов давление постоянным, т.е. Р - const);

C – число степеней свободы, т.е. число внешних (температура и давление) и внутренних (концентрация) факторов, которые можно изменить без изменения числа фаз;

K – число компонентов в системе;

F – число фаз.

Пример: если $C = 0$, то любое изменение температуры вызывает изменение числа фаз; если $C = 1$, то возможно изменение температуры без изменения числа фаз.

В жидком состоянии:

$F = 1$ – одна фаза;

$K = 1$ – один компонент (чистый металл);

$$C = 1 - 1 + 1 = 1$$

$C = 1$ – можно изменять температуру без изменения агрегатного состояния.

В момент кристаллизации:

$F = 2$ – две фазы (жидкость + кристаллы)

$K = 1$ – один компонент (чистый металл);

$$C = 1 - 2 + 1 = 0$$

$C = 0$ – равновесие при строго определенной температуре ($T_{пл}$).

Существуют 4 типа диаграмм двойных сплавов в равновесном состоянии:

1. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью);
2. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси);
3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии;
4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

Для построения диаграмм состояния, особенно для определения температур затвердевания сплава, используется термический анализ. Для изучения превращений в сплаве в твердом состоянии используют методы физико-химического анализа:

- микроанализ;
- рентгеноструктурный;

- дилатометрический;
- электросопротивления;
- акустический.

Диаграмма состояния с образованием неограниченных твердых растворов (диаграмма II рода):

Последовательность построения диаграмм термическим методом (компоненты А и В, фазы α , L):

- изготавливают несколько сплавов с известной концентрацией (сплав I, II, III, компоненты А и В) (рис. 1.36);
- для каждого сплава строят кривые охлаждения в координатах температура – время, по которым определяют температуры начала и конца кристаллизации сплава;
- строят диаграмму состояния в координатах температура – концентрация, где отмечают точки начала и конца кристаллизации, найденные на кривых охлаждения.

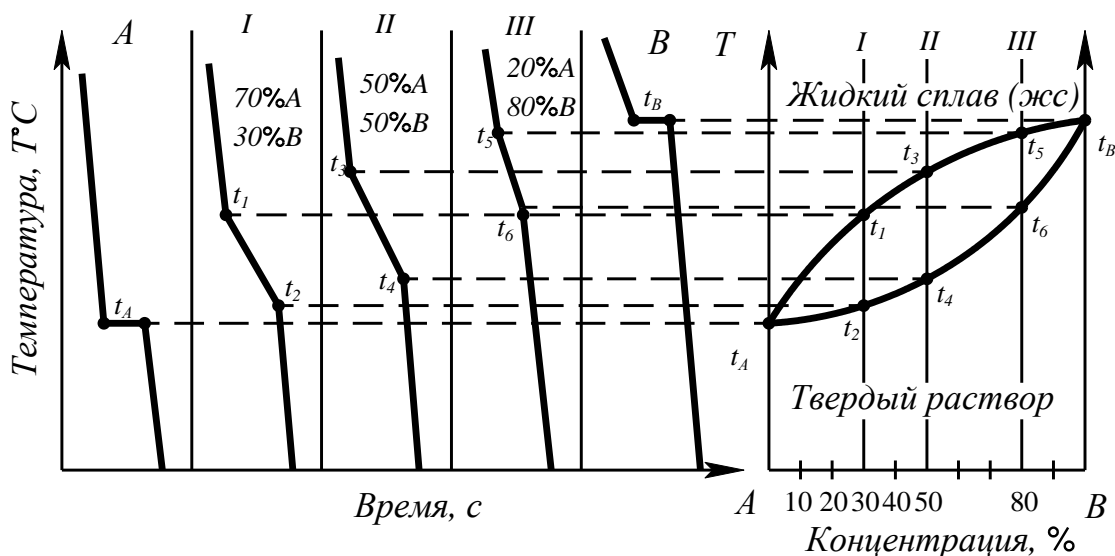


Рис.1.36 Диаграмма состояния с образованием неограниченных твердых растворов, построенная термическим методом (диаграмма II рода)

Диаграмма состояния получается при соединении критических точек $t_A, t_1, t_3, t_5, t_B, t_6, t_4, t_2, t_A$ плавными кривыми. Полученная кривая $t_A t_1 t_3 t_5 t_B$ - геометрическое изображение на диаграмме состояния (точка, линия или поверхность) зависимости температур начала кристаллизации (или завершения расплавления) от химического состава сплава. Такая линия называется линия **ликвидус**. Кривая $t_A t_2 t_4 t_6 t_8$ – геометрическое изображение (точка, линия или поверхность) на диаграмме состояния зависимости

температуры конца кристаллизации (или начала плавления) от химического состояния сплава. Такая линия называется линия *солидус*.

В процессе кристаллизации изменяются концентрация компонента в фазах и количество фаз. Для их определения служит правило фаз.

Рассмотрим процесс кристаллизации произвольного сплава (рис.1.36) состава 50 % А и 50 % В при очень медленном охлаждении (когда успевают проходить диффузионные процессы).

При температуре t_A начинается кристаллизация.

В процессе кристаллизации в интервале температур t_A и t_c в жидкой фазе выделяются кристаллы α (альфа) твердого раствора различного состава.

За счет диффузионных процессов (при медленном охлаждении) состав жидкой фазы изменяется по кривой линии $t_A \rightarrow N \rightarrow P \rightarrow \Gamma$ (линия ликвидус) (рис.1.36). Состав кристаллов изменяется по линии солидус $M \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow t_c$ ($\alpha_M - t_c$) (рис.1.36).

В момент окончания кристаллизации (точка t_c) состав кристаллов такой, как и состав исходной фазы (рис.1.36).

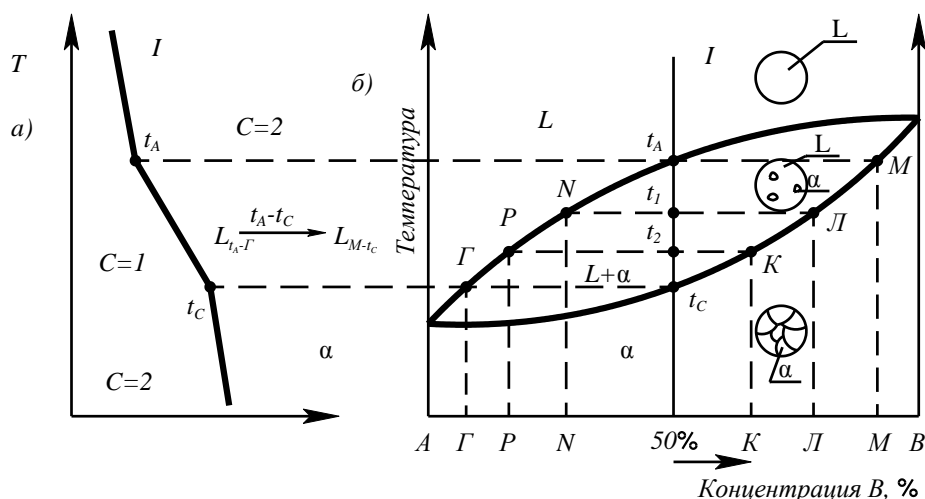


Рис.1.37 Кривая охлаждения сплава (а) и диаграмма состояния сплава с неограниченной растворимостью в твердом состоянии (б)

В реальных условиях быстрого охлаждения состав кристаллов будет неоднороден (рис.1.37), так как скорость кристаллизации больше скорости диффузии. Неоднородность химического состава внутри зерна называется *дендритной ликвацией*.

Чтобы определить концентрации компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава (рис.1.37), проводят горизонтальную линию (коноду) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения коноды с линиями диаграммы на ось концентраций показывают составы фаз.

Например, при температуре t_A химический состав первичных кристаллов α определяется проекцией точки М на ось концентраций; при температуре t_1 состав жидкой фазы определится проекцией точки N на ось концентраций, а состав твердой фазы – проекцией точки Л.

Для того, чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию (коноду). Отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Например, при t_1 (рис.1.37) количество жидкой фазы определяется отношением отрезков (1), количество твердой фазы – отношением отрезков (2):

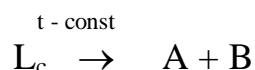
$$t_{1Л} / NЛ * 100 \% \quad (1)$$

$$Nt_1 / NЛ * 100 \% \quad (2)$$

Диаграмма состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (I рода):

Оба компонента А и В в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом – совсем не растворимы и не образуют химических соединений (свинец – сурьма) (рис.1.38). Компоненты А и В взаимодействуют между собой при кристаллизации и образуют механическую смесь.

Механическая смесь двух или более видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкой фазы называется **эвтектикой**. Это превращение идет при постоянной температуре и степени свободы, равной нулю. Такое превращение называется **нонвариантным** и может быть выражено схемой:



Согласно рис. 1.38:

АСВ – линия ликвидус (линия начала кристаллизации);

ДСЕ – солидус (эвтектическая горизонталь), линия конца кристаллизации.

Наиболее характерным на диаграмме является сплав, кристаллизующийся в точке Д с одновременным выделением кристаллов компонента А и компонента В. Такая механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкой фазы, называется эвтектикой, т.е. легкоплавящейся (от греч. eutektos). Эвтектика образуется при строго определенном количественном соотношении компонентов (в данном случае соответствующем точке d). Следовательно сплав I при охлаждении до температуры, соответствующей точке Д имеет жидкую фазу, а в точке Д кристаллизуется в эвтектику, которая обозначается

Эвт [A+B] (рис.1.38). Сплавы диаграммы, находящиеся левее эвтектического, называются доэвтектическими, а правее – заэвтектическими.

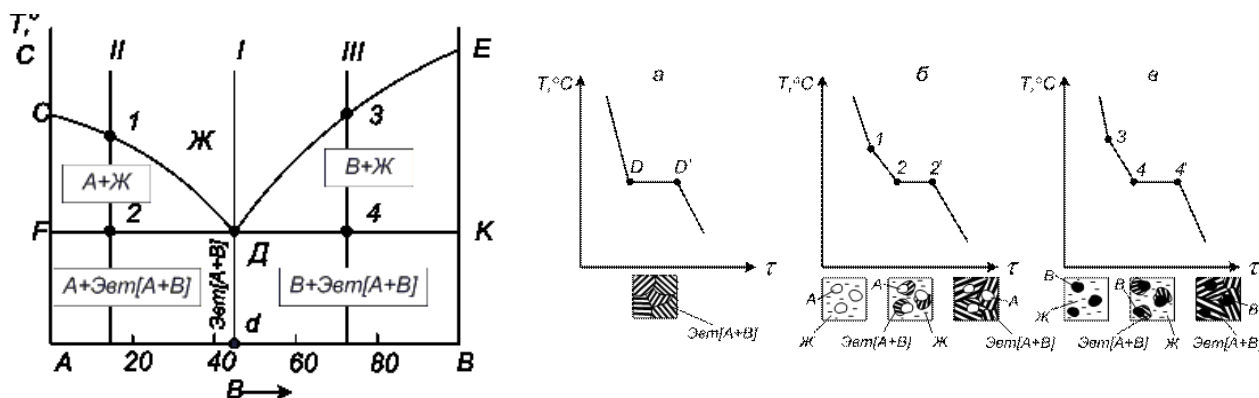


Рис.1.38 Диаграмма состояния I рода и кривые охлаждения сплавов

В доэвтектическом сплаве II (рис.1.38, б) при охлаждении до температуры, соответствующей точке 1, начинают выделяться кристаллы компонента А. Следовательно, концентрация этого компонента в остающейся жидкой фазе понижается.

При достижении температуры солидуса (линия FДК) концентрация компонентов жидкой составляющей будет соответствовать эвтектической, в результате чего по окончании кристаллизации сплав образует эвтектику с находящимися в ней кристаллами чистого компонента А (рис.1.38, а).

Процесс кристаллизации заэвтектического сплава III протекает аналогично сплаву II (рис. 1.38, а). Разница состоит лишь в том, что при температуре ликвидус (точка 3) из жидкой фазы выделяются кристаллы чистого компонента В. По окончании кристаллизации сплав состоит из эвтектики Эвт [A+B] с расположенными в ней кристаллами компонента В (рис.1.38, в).

Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (III рода):

Диаграмма III рода характеризует два компонента А и В, неограниченно растворимых в жидком состоянии, ограниченно – в твердом и не образующих химических соединений (олово – свинец).

При кристаллизации компоненты А и В вступают во взаимодействие и могут образовывать фазы (рис. 1.39):

α - твердый раствор компонента В в А;

β - твердый раствор компонента А в В;

α_{II} , β_{II} – вторичные кристаллы (из твердых кристаллов за счет уменьшения растворимости).

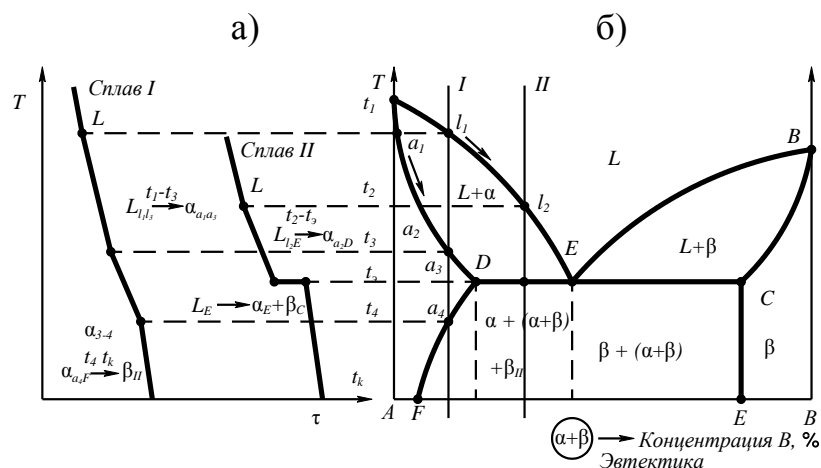


Рис.1.39 Кривая кристаллизации (а) и диаграмма состояния с эвтектикой (б)

Предельную растворимость компонента В в компоненте А определяет точка D (рис. 1.39). С изменением температуры изменяется растворимость компонента В в А по линии DF, за счет изменения этой растворимости идет выделение вторичных кристаллов β_{II} (рис.1.39). Точка С определяет предельную растворимость компонентов А в В. В зависимости от температуры растворимость компонента А в В не меняется (линия СЕ, рис.1.39, б), а поэтому нет вторичных кристаллов α_{II} . Линия DF называется линией сольвус.

Сольвус – это графическое изображение (точка, линия, поверхность) на диаграмме состояния зависимости температуры предельной растворимости элементов в твердом состоянии от химического состава.

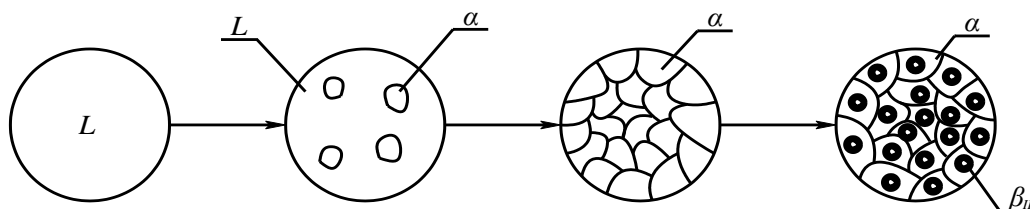


Рис.1.40 Схема кристаллизации сплава I

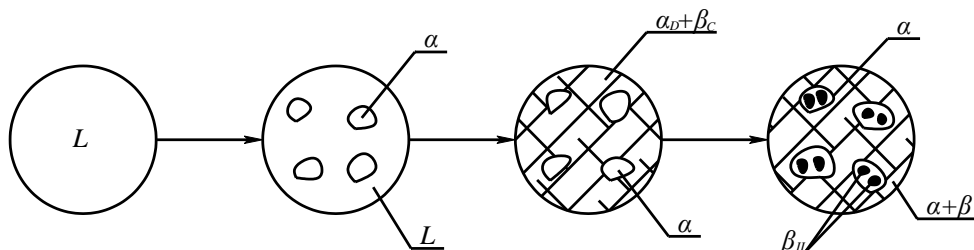


Рис.1.41 Схема кристаллизации сплава II

Вторичная кристаллизация может происходить из-за изменения растворимости.

Кристаллизация сплава II (рис. 1.39) (доэвтектического) заканчивается образованием эвтектики (рис. 1.40), т. е. три фазы находятся в равновесии, другими словами, происходит нонвариантное превращение ($C = 0$), и на кривой охлаждения оно отражено горизонтальной площадкой (рис. 1.39, а).

Диаграмма состояния для сплавов, образующих химическое соединение (IV рода):

В металлических сплавах могут образовываться различные химические соединения как между двумя или несколькими металлами (интерметаллиды), так и между металлами и неметаллами (карбиды, оксиды, нитриды и др.). Обычно химическое соединение имеет свою кристаллическую решетку, отличную от кристаллических решеток составляющих его компонентов.

Поэтому свойства химического соединения всегда резко отличаются от свойств этих компонентов. Химическое соединение, как правило, имеет высокую твердость, малую пластичность, большое электросопротивление, относительно низкую теплопроводность.

Химические соединения могут быть устойчивыми или неустойчивыми. В первом случае они сохраняются до температуры плавления, во втором – распадаются ниже температуры плавления.

Если в химическом соединении возможна замена какой-то части атомов одного из элементов атомами другого, то образуется твердый раствор на основе химического соединения.

На рис.1.42 приведена диаграмма состояния двух компонентов образующих одно химическое соединение, в котором оба компонента не растворяются.

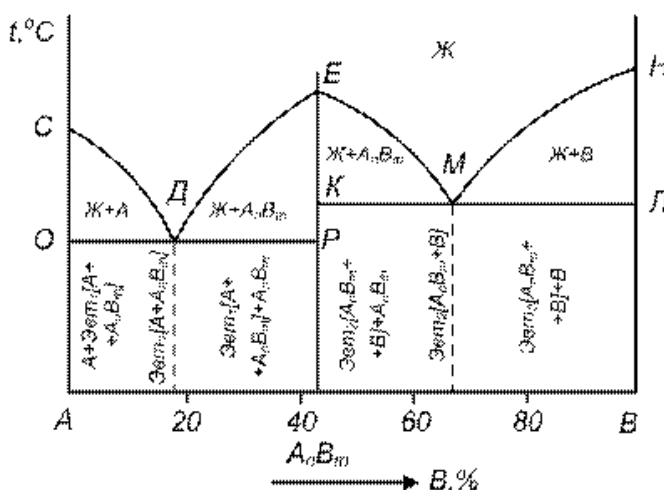


Рис.1.42 Диаграммы состояния с химическим соединением: а – по типу диаграммы I рода; б – по типу диаграммы III рода

Компоненты диаграммы: компонент А и компонент В. Фазы: жидкая Ж, кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, кристаллы химического

соединения A_nB_m . Линия СДЕМН – линия ликвидуса, ОДРКМЛ – линия солидуса. Линии ОДР и КМЛ – линии эвтектических превращений. Точка Е соответствует температуре плавления химического соединения A_nB_m .

Устойчивое химическое соединение имеет постоянную температуру плавления, поэтому его можно рассматривать как самостоятельный компонент и диаграммы IV рода можно рассматривать как две диаграммы с компонентами $A + A_nB_m$ и $A_nB_m + B$.

Вид диаграммы зависит от взаимодействия компонентов А и В между собой и химическим соединением.

Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов

Рассмотренные диаграммы состояний дают характеристику строения сплавов различного состава при различных температурах. Вместе с тем состав и строение сплавов оказывают влияние на их свойства. Исследованиям такой связи посвящены работы академика Н.С. Курнакова – одного из основоположников физико-химического анализа сплавов.

На рис.1.43 приведены зависимости свойств (в частности твердости, НВ) от состава сплава.

В сплавах, имеющих структуру механических смесей (рис.1.43, а) кристаллы компонентов А и В полностью сохраняют свои свойства. Поэтому свойства всех сплавов будут изменяться по прямолинейному закону от компонента А до компонента В.

Сплавы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии изменяют свои свойства по криволинейному закону в зависимости от химического состава (рис. 1.43, б). Кривая на диаграмме «состав – свойства», как правило, имеет максимум. Например, твердость у твердых растворов может быть выше, чем у чистых компонентов.

Если сплавы образуют ограниченные твердые растворы (рис. 1.43, в), то свойства в области однофазных твердых растворов изменяются по криволинейному закону, а в области механических смесей – по прямолинейному.

При образовании химического соединения A_nB_m (рис.1.43, г), в котором не растворяются ни компонент А ни компонент В, свойства изменяются по ломаной линии с максимальным значением у химического соединения.

Зная характер взаимодействия между типом диаграммы и свойствами, можно определять состав сплава, который формирует заранее заданные свойства.

По А.А.Бочвару существует связь между типом диаграммы и технологическими свойствами.

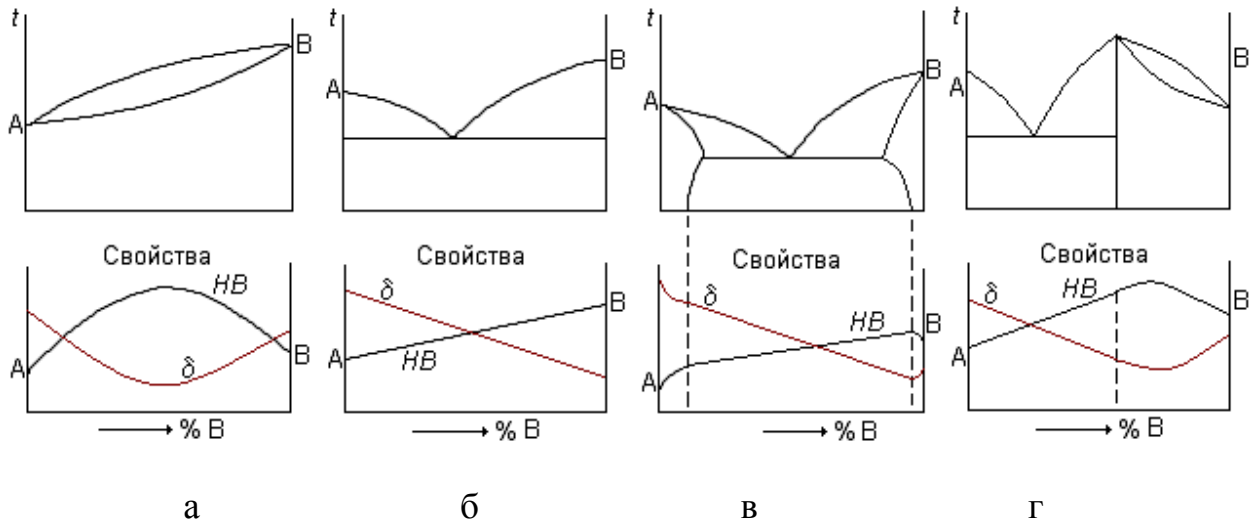


Рис.1.43 Зависимость между строением сплавов (диаграммой состояния) и их свойствами

Сплавы со структурой твердых растворов пластичны, легко деформируются (прокатываются, куются, прессуются).

Сплавы, имеющие в структуре эвтектическую составляющую, обладают хорошими литейными свойствами (жидкотекучестью, низкой усадкой, концентрированной усадочной раковинной).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое компонент, фаза, физико-химическая система?
2. Что называется твердым раствором, механической смесью, химическим соединением?
3. Изложите принципы построения диаграмм состояния сплавов.
4. Как строятся кривые охлаждения и нагревания сплавов?
5. Каково практическое применение диаграмм состояния сплавов?
6. Начертите и проанализируйте диаграммы состояния сплавов с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии, образующих механические смеси, с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии, образующих химические соединения, компоненты которых испытывают полиморфные превращения.
7. Объясните сущность эвтектического и эвтектоидного превращений и в чем заключается их различие?
8. Что такое правило Гиббса?

Лекция 4

Сплавы системы «Железо – цементит»

План лекции

1. Построение диаграммы состояния «Железо – цементит».
2. Производство железоуглеродистых сплавов.
3. Выплавка чугуна.
4. Производство стали.

Построение диаграммы состояния «Железо-цементит»

Большая доля расхода сплавов в металлургии и машиностроении приходится на черные сплавы - стали и чугуны. Главными компонентами данных сплавов являются – железо Fe и углерод C. При получении сплавов на данной основе можно построить диаграмму состояния сплавов системы «железо-цементит», которая отображает структурные изменения сплава в зависимости от химического состава и температуры нагрева (кристаллизации). Диаграмма состояния «Железо – цементит» предстала на рис.1.44.

Особенности диаграммы определяются *поллиморфизмом железа* и углерода, а также *ферромагнетизмом* железа:

- от 1539 – 1392°C железо имеет решетку ОЦК, такая модификация железа называется $\delta(Fe)$;

- от 1392 – 911°C железо имеет решетку ГЦК, такая модификация железа называется $\gamma(Fe)$;

- ниже 911°C железо имеет решетку ОЦК, такая модификация называется $\alpha(Fe)$;

- при температуре 768°C железо теряет магнитные свойства, и эта температура называется *точкой Кюри*.

В каждой модификации железа растворяется строго определенное количество углерода с образованием твердых растворов внедрения:

- δ - *феррит* – раствор углерода в $\delta(Fe)$ с ОЦК решеткой. Максимальная растворимость углерода в $\delta(Fe)$ составляет 0,1 % при температуре 1499°C;

- *аустенит* – твердый раствор углерода в $\gamma(Fe)$ с ГЦК решеткой. Максимальная растворимость углерода в $\gamma(Fe)$ составляет 2,14 % при температуре 1147°C;

- α - *феррит* – твердый раствор углерода в $\alpha(Fe)$ с ОЦК решеткой. Максимальная растворимость углерода в $\alpha(Fe)$ составляет 0,025 % при температуре 727°C.

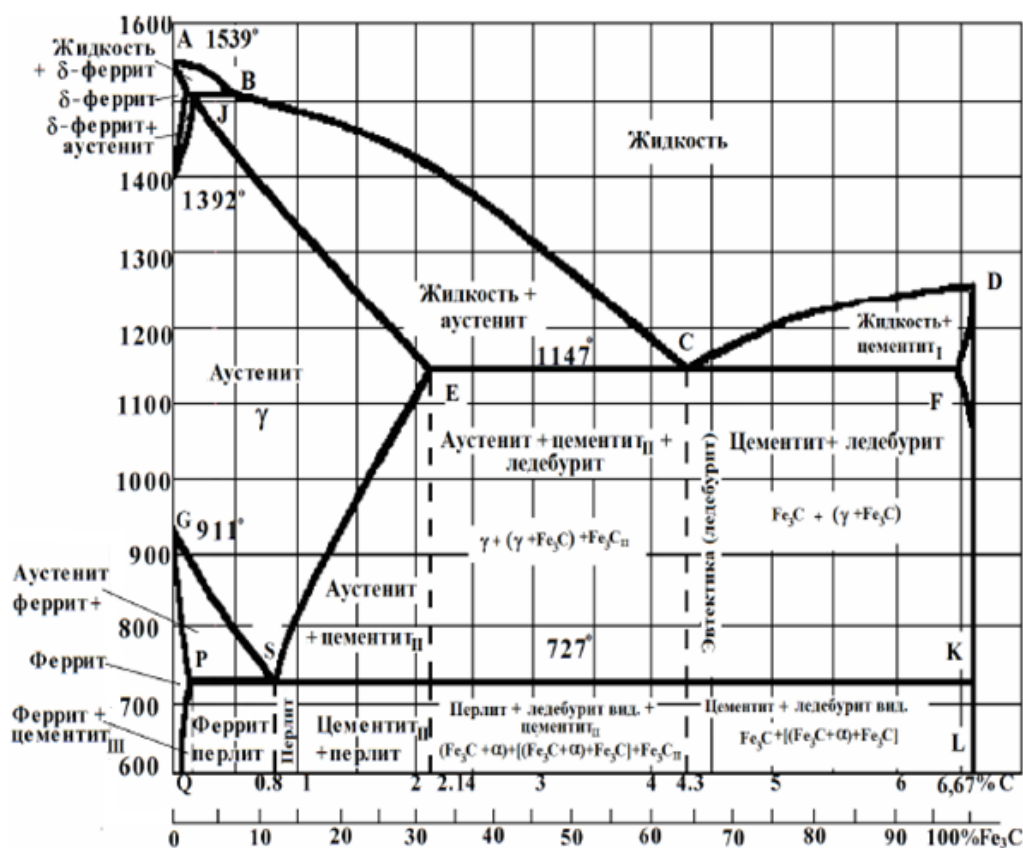


Рис.1.44 Диаграмма состояния «Fe – Fe₃C»

Кроме указанных твердых растворов в системе Fe – C образуются две высокоуглеродистые фазы:

- **цементит** – химическое соединение Fe₃C со сложной орторомбической решеткой, которое содержит 6,67 % углерода и имеет температуру плавления T_{пл} = 1260°C . Эта фаза метастабильная, способная к распаду (Fe₃C → 3Fe + C_{гр});

- **графит** – модификация углерода с ГПУ решеткой. Эта фаза стабильная, состоит на 100 % из углерода и имеет температуру плавления T_{пл} = 3600°C.

В дополнение к фазам в виде твердых растворов на диаграмме имеются области существования механических смесей:

- **перлит** – механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита, содержащая 0,8 % C (рис. 1.44, точка S);

- **ледебурит** – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита в интервале температур 1147 – 727°C или перлита и цементита при температурах ниже 727°C, содержащая 4,3 % углерода (рис.1.44, точка C).

Сплошными линиями изображена диаграмма Fe – Fe₃C, штриховыми – диаграмма Fe – C (рис.1.44). Основной является диаграмма Fe – Fe₃C. Однофазные области диаграммы:

- выше линии ABCD (линия ликвидус) – жидкость (L);
- область AHN – область δ - феррита;

- область NJESG – область аустенита;
- область GPQ – область α - феррита;
- линия LD или KD – область цементита Fe_3C .

Остальные области диаграммы (рис. 1.44) – двухфазные: ледебурит, перлит и их комбинации.

Линия ABCD - линия ликвидус – линия начала кристаллизации сплава и состоит она из трех частей:

- АВ – начало образования δ - феррита;
- ВС – начало кристаллизации аустенита;
- CD – начало кристаллизации цементита Fe_3C .

Линия ANJECF – линия солидус – линия конца кристаллизации сплава и состоит она из нескольких частей:

- AN – конец кристаллизации δ - феррита;
- JE – конец кристаллизации аустенита;
- HJB - линия перитектического превращения:



- ECF – линия эвтектического превращения:



Остальные линии соответствуют превращениям в твердом состоянии:

- NH и NJ (A_4) – линии начала и конца полиморфного превращения $Fe_{\delta} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$;

- GS (A_3) и GP – линии начала и конца полиморфного превращения $Fe_{\gamma} \leftrightarrow Fe_{\alpha}$;

- ES($A_{ст}$) – линия выделения вторичного цементита из аустенита (Fe_3C_{II}) за счет изменения растворимости углерода в γ -железе. Эта линия называется линия сольвус;

- PQ – линия выделения третичного цементита (Fe_3C_{III}) за счет изменения растворимости углерода в α - железе;

- PSK (A_1) – линия эвтектоидного превращения во всех сплавах независимо от содержания углерода:



- KD – линия существования химического соединения Fe_3C (цементит);

- MO (A_2) – $768^{\circ}C$ - линия магнитного превращения феррита (потеря магнитных свойств железа).

Физический смысл точек диаграммы:

- А – температура плавления и кристаллизации чистого железа;
- В – перитектическая точка;

- С – эвтектическая точка;
- D – температура плавления и кристаллизации цементита;
- N и G – температуры полиморфных превращений чистого железа;
- H – предельная растворимость углерода в δ - железе;
- E – предельная растворимость углерода в γ - железе;
- S – эвтектоидная точка;
- P и Q – точки предельной растворимости углерода в α - железе;
- M – точка магнитного превращения железа (точка Кюри).

A_1, A_2, A_3, A_4 – принятые условные обозначения фазовых превращений.

Диаграмма Fe – Fe₃C позволяет:

- определить температуры фазовых превращений (плавления, кристаллизации, полиморфных превращений, температуры растворимости фаз);
- определить температурные интервалы термической обработки, горячей и холодной обработки металлов давлением.

Сплавы железа с углеродом делятся на две группы:

Сталь – сплав железа с углеродом, содержащие до 2,14% С, кристаллизация которых заканчивается образованием аустенита. Стали обладают высокой пластичностью, хорошо деформируются.

Чугун – сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % С и кристаллизация которых заканчивается образованием эвтектики (ледебурита). Чугуны менее пластичны, обладают хорошими литейными свойствами.

Производство железуглеродистых сплавов

Чугун относится к хрупким малопластичным сплавам в виду максимального содержания углерода в связанном или свободном состоянии. Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся:

- магнитный железняк (Fe_3O_4) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);
- красный железняк (Fe_2O_3) с содержанием железа 55...60 % , месторождения – Кривой Рог, КМА;
- бурый железняк (гидраты оксидов железа $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) с содержанием железа 37...55 % – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82% Mn), а также перделельных чугунов,

содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ и др.

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO , MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

- а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;
- б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;
- в) магнитная сепарация – измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: агломерацию и окатывание.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат.

Агломерат — окучкованный рудный концентрат, полученный в процессе агломерации. Спекшаяся в куски мелкая (часто пылевидная) руда размерами 5—100мм с незначительным содержанием мелочи.

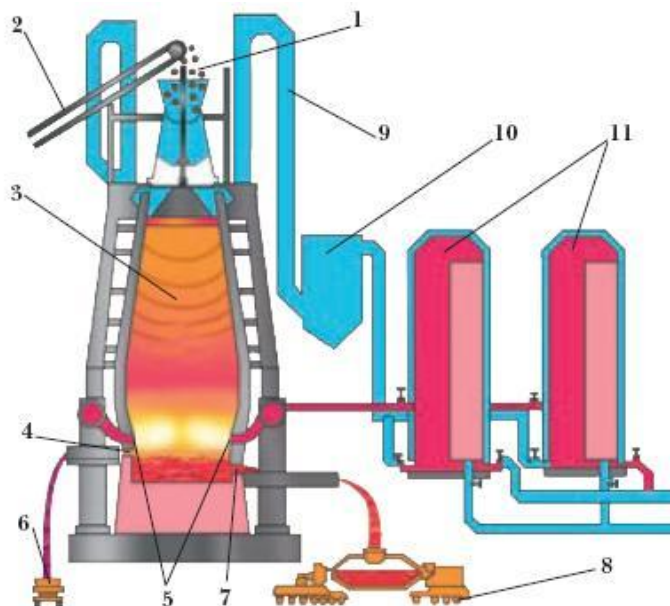
При окатывании шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350⁰С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса— известняка в доменную печь при плавке.

Выплавка чугуна

Чугун выплавляют в печах шахтного типа — **доменных печах** (рис.1.45).

Доменная печь является одним из наиболее эффективных материалосберегающих агрегатов; коэффициент извлечения железа для чугуна составляет 99.5—99.8 %.



Ри.1.45 Конструкция доменной печи

- 1 – загрузочная воронка; 2 – загрузочный конвейер; 3 – шахта; 4 – шлаковая лётка;
5 –фурма; 6 – шлаковоз; 7 – чугунная лётка; 8 – чугуновоз; 9 – отходящий газ;
10 – газоочистка; 11 – воздухонагреватели

Доменная печь занимает головное положение в структуре металлургического предприятия. Качество производимого в доменной печи чугуна определяет параметры последующего сталеплавильного передела, доменный газ служит основой энергетического хозяйства предприятия, в доменной печи утилизируется (через агломерационное производство) большая часть собственных отходов металлургического производства.

Доменное производство является практически безотходным, так как доменный шлак представляет собой самостоятельную готовую продукцию, пользующуюся спросом не меньшим, чем чугун, а доменные шламы и пыли являются постоянными компонентами шихты агломерационного процесса.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

- Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
- Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

1) Восстановление железа в доменной печи: закономерности восстановления железа выявлены академиком Байковым А.А.

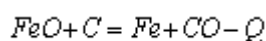
Восстановление железа происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте и повышения температуры от высшего оксида к низшему, в несколько стадий:



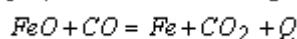
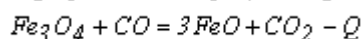
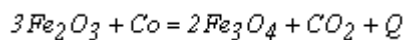
Температура определяет характер протекания химических реакций.

Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород.

Восстановление твердым углеродом (коксом) называется *прямым восстановлением*, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Восстановление газами (CO и H_2) называется *косвенным восстановлением*, протекает в верхней части печи при сравнительно низких температурах, по реакциям:



За счет CO и H_2 восстанавливаются все высшие оксиды железа до низшего и 40...60 % металлического железа.

При температуре 1000...1100⁰С восстановленное из руды твёрдое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно растворяет углерод. При насыщении углеродом температура плавления понижается и на уровне распара и заплечиков железо расплавляется (при температуре около 1300⁰С).

Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4%), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1200⁰С восстанавливаются из руды, и серой, содержащейся в коксе.

2) В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. Шлаки содержат $Al_2O_3, CaO, MgO, SiO_2, MnO, FeO, CaS$. Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

Основным продуктом доменной плавки является передельный чугун. Передельный чугун предназначен для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90 % общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит 3,8...4,4 % углерода, 0,3...1,2 % кремния, 0,2...1 % марганца, 0,15...0,20 % фосфора, 0,03...0,07 % серы.

Литейный чугун применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют ферросплавы.

Ферросплавы – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления и легирования стали.

Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак* и *доменный газ*.

Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, удобрения (стараясь получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды).

Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

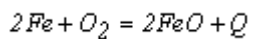
Производство стали

Стали получили широкое применение в основном содержащие до 1,5% углерода, при большем его содержании значительно увеличиваются твердость и хрупкость сталей и они не находят широкого применения.

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап).

Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне. Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Железо окисляется в первую очередь при взаимодействии чугуна с кислородом в сталеплавильных печах:



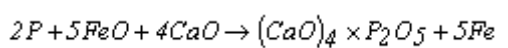
Одновременно с железом окисляются кремний, фосфор, марганец и углерод. Образующийся оксид железа при высоких температурах отдаёт свой кислород более активным примесям в чугуне, окисляя их.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла.

Температура металла сравнительно невысокая, интенсивно происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора.

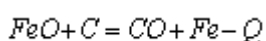
Наиболее важная задача этапа – удаление фосфора. Для этого желательно проведение плавки в основной печи, где шлак содержит CaO . Фосфорный ангидрид P_2O_5 образует с оксидом железа нестойкое соединение $(FeO)_3 \times P_2O_5$. Оксид кальция CaO – более сильное основание, чем оксид железа, поэтому при невысоких температурах связывает P_2O_5 и переводит его в шлак:



Для удаления фосфора необходимы невысокие температура ванны металла и шлака, достаточное содержание в шлаке FeO . Для повышения содержания FeO в шлаке и ускорения окисления примесей в печь добавляют железную руду и окалину, наводя железистый шлак. По мере удаления фосфора из металла в шлак, содержание фосфора в шлаке увеличивается. Поэтому необходимо убрать этот шлак с зеркала металла и заменить его новым со свежими добавками CaO .

Второй этап – кипение металлической ванны – начинается по мере прогрева до более высоких температур.

При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты:

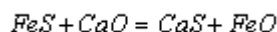


Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород.

При реакции оксида железа с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение ванны». При «кипении» уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объёму ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO , а также газы, проникающие в пузырьки CO . Такой процесс способствует повышению качества металла. Следовательно, этот этап – основной в процессе выплавки стали.

Также создаются условия для удаления серы. Сера в стали находится в виде сульфида (FeS), который растворяется также в основном шлаке. Чем

выше температура, тем большее количество сульфида железа FeS растворяется в шлаке и взаимодействует с оксидом кальция CaO :



Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке, но не растворяется в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап – раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворённого в жидком металле.

При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах.

Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным.

Осаждающее раскисление осуществляется введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо.

В результате раскисления восстанавливается железо и образуются оксиды: MnO, SiO_2, Al_2O_3 , которые имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

Диффузионное раскисление осуществляется раскислением шлака. Ферромарганец, ферросилиций и алюминий в измельчённом виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. Следовательно, оксид железа, растворённый в стали переходит в шлак. Образующиеся при этом процессе оксиды остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, при этом в стали снижается содержание неметаллических включений и повышается ее качество.

В зависимости от степени раскисления выплавляют стали:

- а) *спокойные*,
- б) *кипящие*,
- в) *полуспокойные*.

Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше.

Кипящая сталь раскислена в печи не полностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при затвердевании слитка, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода.

Образующийся оксид углерода CO выделяется из стали, способствуя удалению из стали азота и водорода, газы выделяются в виде пузырьков, вызывая её кипение. Кипящая сталь не содержит неметаллических включений, поэтому обладает хорошей пластичностью.

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскисленность между спокойной и кипящей. Частично она раскисляется в печи и в ковше, а

частично – в изложнице, благодаря взаимодействию оксида железа и углерода, содержащихся в стали.

Легирование стали осуществляется введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду меньше, чем у железа (Ni, Co, Mo, Cu), при плавке и разливке не окисляются, поэтому их вводят в любое время плавки. Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti), вводят в металл после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда в ковш.

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах: мартеновских печах, кислородных конвертерах, электрических печах.

I. Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до семидесятых годов являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т (рис.1.46). Способ позволяет получать качественную сталь.

Мартеновская печь по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью, где топливом служит газ или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов.

Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавков.

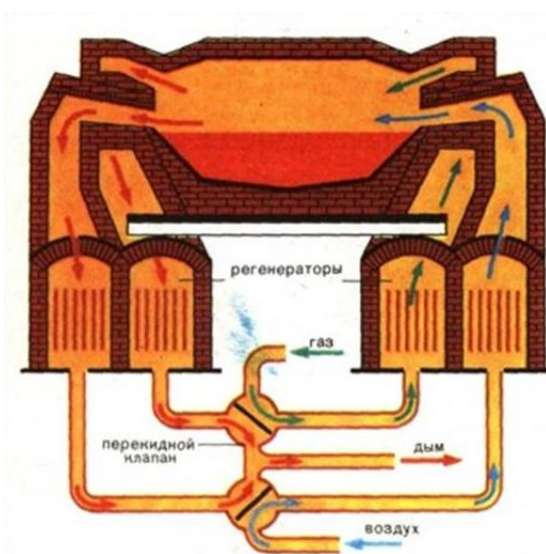


Рис.1.46 Конструкция мартеновской печи

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

– скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового передельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома.

– скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали, в шлаке преобладают основные оксиды, то процесс называют *основным* мартеновским процессом, а если кислые – *кислым*.

Наибольшее количество стали производят скрап-рудным процессом в мартеновских печах с основной футеровкой.

В печь загружают железную руду и известняк, а после подогрева подают скрап. После разогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун. В период плавления за счет оксидов руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна: кремний, фосфор, марганец и, частично, углерод. Оксиды образуют шлак с высоким содержанием оксидов железа и марганца (железистый шлак). После этого проводят период «кипения» ванны: в печь загружают железную руду и продувают ванну подаваемым по трубам 3 кислородом. В это время отключают подачу в печь топлива и воздуха и удаляют шлак.

Для удаления серы наводят новый шлак, подавая на зеркало металла известь с добавлением боксита для уменьшения вязкости шлака. Содержание $S_{ж\text{О}}$ в шлаке возрастает, а $P_{ж\text{О}}$ уменьшается.

В период «кипения» углерод интенсивно окисляется, поэтому шихта должна содержать избыток углерода. На данном этапе металл доводится до заданного химического состава, из него удаляются газы и неметаллические включения.

Затем проводят раскисление металла в два этапа. Сначала раскисление идет путем окисления углерода металла, при одновременной подаче в ванну раскислителей – ферромарганца, ферросилиция, алюминия. Окончательное раскисление алюминием и ферросилицием осуществляется в ковше, при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб сталь выпускают в ковш.

В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах.

В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора.

Стали содержат меньше водорода и кислорода, неметаллических включений. Следовательно, кислая сталь имеет более высокие механические свойства, особенно ударную вязкость и пластичность, её используют для особо ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников.

Основными технико-экономическими показателями производства стали в мартеновских печах являются:

- производительность печи – съём стали с 1 м^2 площади пода в сутки (т/м^2 в сутки), в среднем составляет 10 т/м^2 ; р
- расход топлива на 1 т выплавляемой стали, в среднем составляет 80 кг/т .

С укрупнением печей увеличивается их экономическая эффективность.

II. Производство стали в кислородных конвертерах: Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму (рис.1.47).

В промышленных масштабах – в 1952-1953 на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название ЛД-процесс. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали.

Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом.

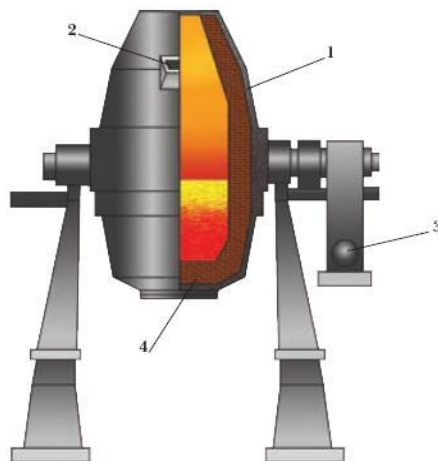


Рис.1.47 Устройство электропечи

Вместимость конвертера – $130\text{...}350\text{ т}$ жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий перелдельный чугун, стальной лом (не более 30%), известь

для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака.

Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рисунке 1.48.

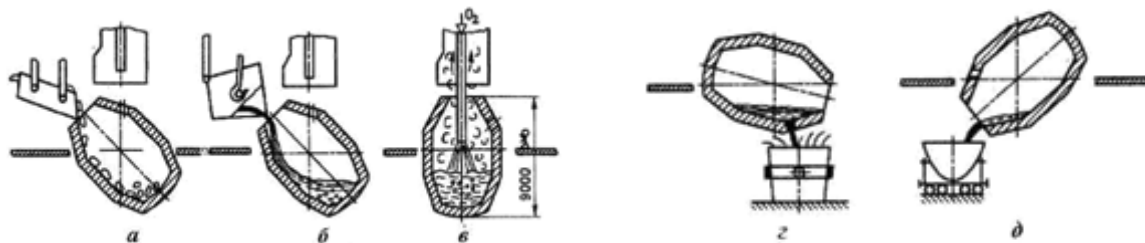


Рис.1.48 Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют.

Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап (рис.1.48, а), заливают чугун при температуре $1250...1400^{\circ}C$ (рис.1.48, б).

После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис.1.48, в), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением $0,9...1,4$ МПа. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Под фурмой развивается температура $2400^{\circ}C$. В зоне контакта кислородной струи с металлом окисляется железо. Оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный кислород окисляет кремний, марганец, углерод в металле, и их содержание падает. Происходит разогрев металла теплотой, выделяющейся при окислении.

Фосфор удаляется в начале продувки ванны кислородом, когда ее температура невысока (содержание фосфора в чугуне не должно превышать $0,15$ %). При повышенном содержании фосфора для его удаления необходимо сливать шлак и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

Сера удаляется в течение всей плавки (содержание серы в чугуне должно быть до $0,07$ %).

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш (рис.1.48, г), где раскисляют осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием, затем сливают шлак (рис.1.48, д).

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали.

Плавка в конвертерах вместимостью 130...300 т заканчивается через 25...30 минут.

III. Производство стали в электропечах:

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру металла,
- в) возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей.

Различают дуговые и индукционные электропечи.

Схема дуговой печи показана на рис.1.49.

Дуговая печь питается трёхфазным переменным током. Имеет три цилиндрических электрода из графитизированной массы, закреплённых в электрододержателях, к которым подводится электрический ток по кабелям. Между электродом и металлической шихтой возникает электрическая дуга. Корпус печи имеет форму цилиндра. Снаружи он заключён в прочный стальной кожух, внутри футерован основным или кислым кирпичом. Плавильное пространство ограничено стенками, подиной и сводом. Съёмный свод имеет отверстия для электродов. В стенке корпуса рабочее окно (для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб), закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через сливное отверстие со сливным желобом. Печь опирается на секторы и имеет привод для наклона в сторону рабочего окна или желоба. Печь загружают при снятом своде.

Вместимость печей составляет 0,5...400 тонн. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

Вместимость печей составляет 0,5...400 тонн. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

В основной дуговой печи осуществляется плавка двух видов:

- а) на шихте из легированных отходов (методом переплава),
- б) на углеродистой шихте (с окислением примесей).



Рис.1.49 Схема дуговой плавильной печи

Плавку на шихте из легированных отходов ведут без окисления примесей. После расплавления шихты из металла удаляют серу, наводя основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Проводят диффузионное раскисление, подавая на шлак измельченные ферросилиций, алюминий, молотый кокс. Так выплавляют легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте применяют для производства конструкционных сталей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый передельный чугун, электродный бой или кокс, для науглероживания металлов и известь. Опускают электроды, включают ток. Шихта под действием электродов плавится, металл накапливается в подине печи. Во время плавления шихты кислородом воздуха, оксидами шихты и окалины окисляются железо, кремний, фосфор, марганец, частично, углерод. Оксид кальция из извести и оксид железа образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла. После нагрева до 1500...1540⁰С загружают руду и известь, проводят период «кипения» металла, происходит дальнейшее окисление углерода. После прекращения кипения удаляют шлак. Затем приступают к удалению серы и раскислению металла заданного химического состава. Раскисление производят осаждением и диффузионным методом. Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости вводят в печь ферросплавы для получения заданного химического состава. Затем выполняют конечное раскисление алюминием и силикокальцием, выпускают сталь в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов.

В дуговых печах выплавляют высококачественные углеродистые стали: конструкционные, инструментальные, жаростойкие и жаропрочные.

Наиболее качественные коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали и сплавы выплавляют в индукционных тигельных плавильных печах (рис.1.50). Вместимость от десятков килограммов до 30 тонн.

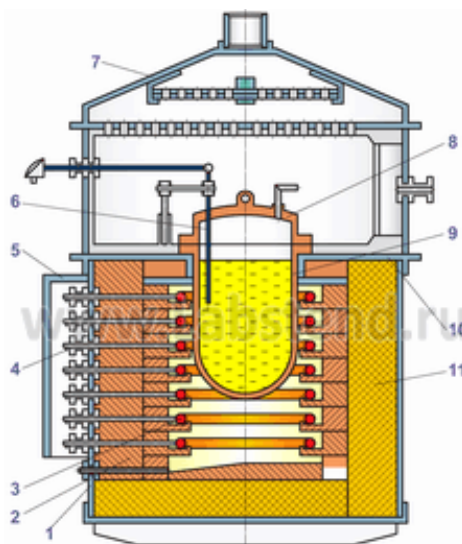


Рис.1.50 Схема индукционной тигельной электропечи сопротивления

1 – стальной кожух, 2 – футеровка, 3 – нагревательные элементы, 4 – клеймы, 5 – клейменная пробка, 6 – термомпара, 7 – кожух вентиляционный, 8 – крышка печи, 9 – тигель плавильный, 10 – опорная плита, 11 – теплоизоляционный слой

Печь состоит из тигля 9, состоящий из основных или кислых огнеупорных материалов, в нем загружена металлическая шихта. Через клеймы от генератора высокой частоты проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500...2000 Гц).

При пропускании тока через клеймы в металле, находящемся в тигле, индуцируются мощные вихревые токи, что обеспечивает нагрев и плавление металла. Для уменьшения потерь тепла, печь имеет съемный свод 8 (крышка печи).

Тигель изготавливают из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупоров. Для выпуска плавки печь наклоняют в сторону сливного желоба.

Под действием электромагнитного поля индуктора при плавке происходит интенсивная циркуляция жидкого металла, что способствует ускорению химических реакций, получению однородного по химическому составу металла, быстрому всплыванию неметаллических включений, выравниванию температуры.

В индукционных печах выплавляют сталь и сплавы из легированных отходов *методом переплава*, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов *методом сплавления*.

После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь для уменьшения тепловых потерь металла и уменьшения угара легирующих элементов, защиты его от насыщения газами.

При плавке в кислых печах, после расплавления и удаления плавильного шлака, наводят шлак из боя стекла (SiO_2). Для окончательного раскисления перед выпуском металла в ковш вводят ферросилиций, ферромарганец и алюминий.

В основных печах раскисление проводят смесью из порошкообразной извести, кокса, ферросилиция, ферромарганца и алюминия.

В основных печах выплавляют высококачественные легированные стали с высоким содержанием марганца, титана, никеля, алюминия, а в печах с кислой футеровкой – конструкционные, легированные другими элементами стали.

В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды.

При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разлива стали. Из ковша сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые подвергаются прокатке, ковке.

Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков.

Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями.

Слитки с квадратным сечением переделывают на сортовой прокат: двутавровые балки, швеллеры, уголки. Слитки прямоугольного сечения – на листы. Слитки круглого сечения используются для изготовления труб, колёс. Слитки с многогранным сечением применяют для изготовления поковок.

Спокойные и кипящие углеродистые стали разливают в слитки массой до 25 тонн, легированные и высококачественные стали – в слитки массой 0,5...7 тонн, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки до нескольких килограммов.

Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 1.51, а), снизу (сифоном) (рис. 1.51, б) и на машинах непрерывного литья (рис. 1.52).

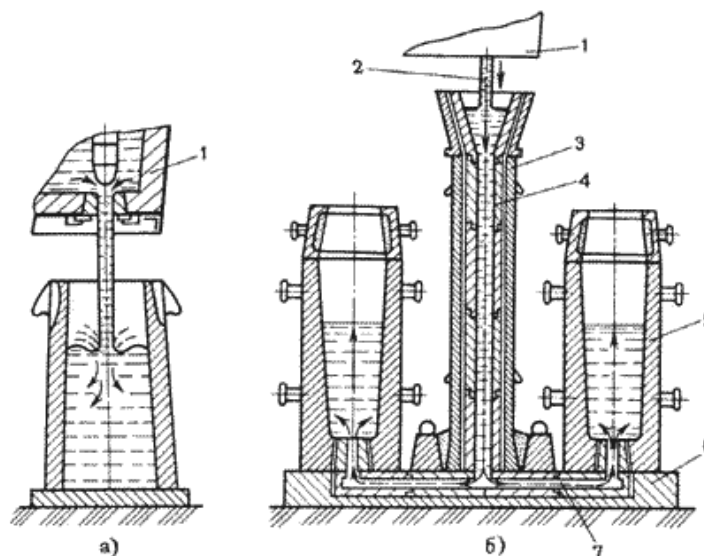


Рис.1.51 Разливка стали в изложницы
а – сверху; б – снизу (сифоном)

В изложницы сверху сталь разливают непосредственно из ковша *1*. При этом исключается расход металла на литники, упрощается подготовка оборудования к разливке. К недостаткам следует отнести менее качественную поверхность слитков, из-за наличия пленок оксидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы.

Применяется для разливки углеродистых сталей.

При *сифонной разливке* одновременно заполняются несколько изложниц (4...60). Изложницы устанавливаются на поддоне *б*, в центре которого располагается центральной литник *3*, футерованный огнеупорными трубками *4*, соединённый каналами *7* с изложницами. Жидкая сталь *2* из ковша *1* поступает в центральной литник и снизу плавно, без разбрызгивания наполняет изложницу *5*.

Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц.

Используют для легированных и высококачественных сталей.

Непрерывная разливка стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша через промежуточное разливочное устройство непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна – кристаллизатор, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку – стальную штангу со сменной головкой, имеющей паз в виде ласточкиного хвоста, которая в начале заливки служит дном кристаллизатора. Вследствие интенсивного охлаждения жидкий металл у стенок кристаллизатора и на затравке затвердевает, образуется корка, соединяющая металл с затравкой. Затравка движется вниз при помощи тяговых роликов, постепенно вытягивая затвердевающий слиток из кристаллизатора. После прохождения тяговых

роликов б, затравку отделяют. Скорость вытягивания составляет в среднем м/мин. Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из брызгал. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком, на куски заданной длины. Слитки имеют плотное строение и мелкозернистую структуру, отсутствуют усадочные раковины.

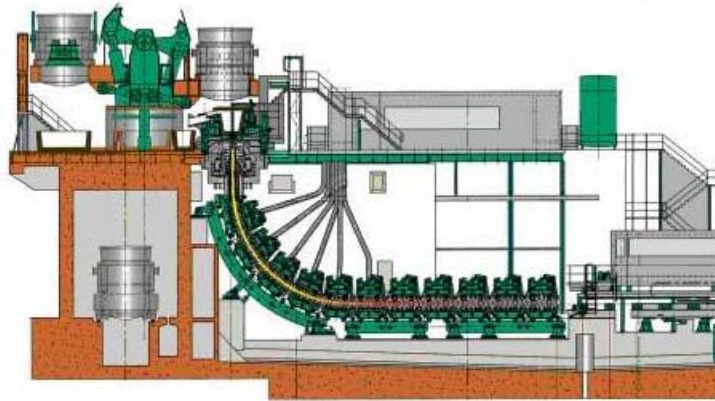


Рис.1.52 Схема непрерывной разливки стали

Улучшить качество металла можно уменьшением в нём вредных примесей, газов, неметаллических включений. Для повышения качества металла используют: обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-дуговых и плазменных печах и т. д.

Вакуумная дегазация проводится для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений.

Вакуумирование стали проводят в ковше, при переливе из ковша в ковш, при заливке в изложницу.

Для вакуумирования в ковше ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами создают разрежение до остаточного давления 0,267...0,667 кПа. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Улучшаются прочность и пластичность стали.

Электрошлаковый переплав (ЭШП) применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочны сталей.

Переплаву подвергается выплавленный в дуговой печи и прокатанный на пруток металл. Источником теплоты является шлаковая ванна, нагреваемая электрическим током. Содержание кислорода в стали при таком

турбин, двигателей, авиационных конструкций. Масса слитков достигает 50 тонн.

Контрольные вопросы и задания

1. Начертите диаграмму состояния железо-цементит и проведите ее анализ.
2. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит, ледебурит?
3. Постройте кривую охлаждения для стали с 0,8% С и для чугуна с 4,3% С.
4. Какова структура технического железа, сталей и чугунов с различным содержанием углерода в равновесном состоянии?
5. В каких условиях выделяется первичный, вторичный и третичный цементит?
6. Опишите процесс производства чугуна в доменных печах.
7. Дайте описание производства стали в электропечах с указанием преимуществ данного метода.
8. Дайте описание производства стали в мартеновских печах с указанием преимуществ данного метода.
9. Объясните суть электрошлакового производства стали и в чем состоит его особенность по сравнению с другими методами производства стали.

РАЗДЕЛ II
ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО – ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА СПЛАВОВ

Лекция 5

Термическая обработка металлов и сплавов

План лекции

1. Общие сведения.
2. Классификация видов термической обработки металлов и сплавов.
3. Оборудование для термической обработки.
4. Выбор режимов термической обработки.
5. Отжиг I и II рода.
6. Нормализация.
7. Закалка с полиморфным и безполиморфного превращений.

Общие сведения

Свойства сплава зависят от его структуры. Основным способом, позволяющим изменять структуру, а, следовательно, и свойства является термическая обработка.

Основы термической обработки разработал Чернов Д.К.. В дальнейшем они развивались в работах Бочвара А.А., Курдюмова Г.В., Гуляева А.П.

Термическая обработка – это совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время (рис.2.1).

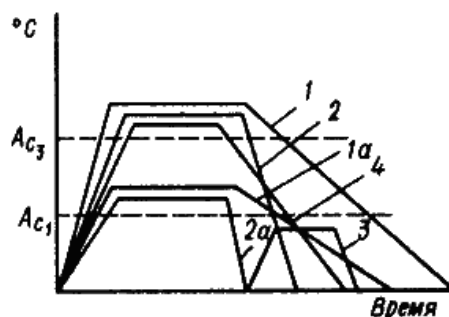


Рис.2.1 Графики различных видов термообработки: отжига (1, 1a), закалки (2, 2a), отпуска (3), нормализации (4)

Термическую обработку металлических изделий проводят в тех случаях. Когда необходимо либо повысить прочность, твердость, износостойчивость или упругость детали или инструмента, либо, наоборот, сделать металл или сплав более мягким, легче поддающимся механической обработке. Кроме того, некоторые виды термической обработки проводят с целью устранения структурных неравновесных состояний, возникших в металле в результате литья, сварки или деформации.

Классификация видов термической обработки металлов и сплавов

Термическая обработка представляет собой большой спектр различных видов тепловых обработок с последующим охлаждением в различных средах или сочетания высоких температур с воздействием химических элементов, либо с применением деформации. Таким образом, термическая обработка подразделяется на 3 больших группы:

- Термическая обработка металлов и сплавов;
- Химико – термическая обработка сплавов;
- Термо – механическая обработка металлов и сплавов.

Наиболее значимой группой температурной обработки для большинства металлов и сплавов является термическая обработка.

Различают следующие виды термической обработки:

1. **Отжиг 1 рода** – возможен для любых металлов и сплавов.

Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии.

Нагрев, при отжиге первого рода, повышая подвижность атомов, частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутреннее напряжения.

Основное значение имеет температура нагрева и время выдержки. Характерным является медленное охлаждение

Разновидностями отжига первого рода являются:

- диффузионный;
- рекристаллизационный;
- отжиг для снятия напряжения послековки, сварки, литья.

2. **Отжиг II рода** – отжиг металлов и сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении.

Проводится для сплавов, в которых имеются полиморфные или эвтектоидные превращения, а также переменная растворимость компонентов в твердом состоянии.

Проводят отжиг второго рода с целью получения более равновесной структуры и подготовки ее к дальнейшей обработке. В результате отжига измельчается зерно, повышаются пластичность и вязкость, снижаются прочность и твердость, улучшается обрабатываемость резанием.

Характеризуется нагревом до температур выше критических и очень медленным охлаждением, как правило, вместе с печью (рис. 2.1 (1, 1а)).

3. **Закалка** – проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышения твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит).

Характеризуется нагревом до температур выше критических и высокими скоростями охлаждения (рис. 2.1 (2, 2а)).

4. **Отпуск** – проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей.

Характеризуется нагревом до температуры ниже критической A_1 (рис.2.1 (3)). Скорость охлаждения роли не играет. Происходят превращения, уменьшающие степень неравновесности структуры закаленной стали.

5. **Старение** - термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора. В результате старения происходит изменение свойств закаленных сплавов. В отличие от отпуска, после старения увеличиваются прочность и твердость, и уменьшается пластичность.

Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

Термическую обработку подразделяют на *предварительную, промежуточную и окончательную*.

Предварительная ТО – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием).

Промежуточная ТО – применяется в процессе холодной пластической деформации материала для восстановления исходных пластических свойств. Данный вид ТО часто применяют для алюминиевых сплавов в процессе прокатки полос.

Окончательная ТО – формирует свойство готового изделия.

Оборудование для термической обработки

К основному оборудованию для проведения термической обработки металлов и сплавов относят печи, которые делятся по назначению, конструкции и температурным режимам.

Печи бывают камерными, с выкатным подом, шахтные, туннельные, индукционные электропечи, вакуумные печи, печи с газовыми или защитными атмосферами.

Печи предназначены для отжига, закалки, отпуска, старения и химико – термической обработки.

В зависимости от температуры печи подразделяют на низкотемпературные, среднетемпературные и высокотемпературные.

При закалке металлов и сплавов также используют закалочные ванны.

Закалочные ванны предназначены для охлаждения стали под закалку в жидких полимерных, масляных средах или в воде. Закалка в полимерных жидких средах это новая, современная технология охлаждения сталей.

Ванна представляет собой прямоугольную емкость (бак), сваренную из листовой стали. Для обеспечения эффективной циркуляции потока закалочной жидкости в ванне установлены мешалка и направляющие для эффективного перемешивания закалочной жидкости внутри ванны.

Внутри ванны установлена сетчатая корзина, предназначенная для извлечения деталей при их высыпании непосредственно в бак или просыпании из загрузочной корзины.

Для предварительного подогрева и охлаждения закалочной жидкости ванна оснащена системой автоматического поддержания температуры закалочной среды. Предварительный нагрев закалочной жидкости производится нагревателями типа ТЭН.

После термической обработки металлы и сплавы отправляют в отдел технического контроля, где устанавливают соответствие структуры и свойств материала с требованиями. Для исследования структуры проводят микроструктурный анализ на оптических или электронных микроскопах, определение соотношения фаз в структуре сплава ведут на дифрактометрах. В литейных цехах проводят спектральный анализ на специальных приборах – спектрометрах.

Исследование механических свойств проводят методом растяжения, кручения или изгиба на растяжных машинах, твердость определяют на твердомерах по методам Бринелля, Роквелла или Виккерса. Ударную вязкость материалов определяют на образцах на маятниковых капрах.

Выбор режимов термической обработки

Механические свойства стали определяются не только её составом, но зависят и от её строения (структуры). Поэтому целью термической обработки является получение необходимой структуры, обеспечивающей требуемый комплекс свойств сплава. Различают предварительную и окончательную термическую обработки. Предварительной термической обработке подвергают отливки, поковки, штамповки, сортовой прокат и другие

полуфабрикаты. Она проводится для снятия остаточных напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, исправления крупнозернистой структуры, подготовки структуры стали к окончательной термической обработке и т.п. Если предварительная термическая обработка обеспечивает требуемый уровень механических свойств, то окончательная термическая обработка может и не проводиться.

При выборе упрочняющей обработки, особенно в условиях массового производства, предпочтение следует отдавать наиболее экономичным и производительным технологическим процессам, например, поверхностной закалке при глубинном индукционном нагреве, газовой цементации, нитроцементации и т.д.

При разработке технологии термической обработки необходимо установить:

- режим нагрева детали или заготовки, в который входят температура нагрева, допустимые скорость и время нагрева;
- характер среды, где должен идти нагрев;
- условия охлаждения (выбор охлаждающей среды);
- производительность труда при термообработке;
- экономичность выбранного процесса.

Вид термической обработки зависит от требований, предъявляемым к металлической детали/изделия.

Отжиг I и II рода

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет:

- улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием;
- исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литые стали;
- подготовить структуру к последующей термической обработке.

Характерно медленное охлаждение со скоростью $30...100^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

Отжиг первого рода:

В зависимости от температуры обработки и ее цели, например, устранить остаточные напряжения, снять наклеп в металле или восстановить пластические свойства после деформации, отжиг I рода подразделяют на 3 подгруппы:

- Диффузионный (высокотемпературный) отжиг;
- Рекристаллизационный (среднетемпературный) отжиг;
- Отжиг на снятие внутренних напряжений (низкотемпературный).

1. *Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг*: применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава.

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

Температура нагрева зависит от температуры плавления, $T_H = 0,8 T_{пл.}$, К.

Продолжительность выдержки: $\tau = 8...20$ часов.

2. *Рекристаллизационный отжиг* проводится для снятия напряжений и устранения наклепа после холодной пластической деформации.

Температура нагрева связана с температурой плавления: $T_H = 0,4 T_{пл.}$, К.

Продолжительность зависит от габаритов изделия.

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

Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения, находится в широком диапазоне: $T_H = 160...700^{\circ}C$ для сталей и от 100 до $500^{\circ}C$ для цветных сплавов.

Продолжительность зависит от габаритов изделия.

Детали прецизионных станков (ходовые винты, высоконагруженные зубчатые колеса, червяки) отжигают после основной механической обработки при температуре $570...600^{\circ}C$ в течение 2...3 часов, а после окончательной механической обработки, для снятия шлифовочных напряжений – при температуре $160...180^{\circ}C$ в течение 2...2,5 часов.

Отжиг второго рода:

Данный отжиг предназначен для изменения фазового состава, поэтому может применяться только для сплавов с различными типами кристаллических решеток., например, для стали.

Температура нагрева и время выдержки обеспечивают нужные структурные превращения. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения.

Является подготовительной операцией, которой подвергают отливки, поковки, прокат. Отжиг снижает твердость и прочность, улучшает обрабатываемость резанием средне - и высокоуглеродистых сталей. Измельчая зерно, снижая внутренние напряжения и уменьшая структурную неоднородность способствует повышению пластичности и вязкости.

В зависимости от температуры нагрева различают отжиг:

- **полный**, с температурой нагрева на $30...50^{\circ}C$ выше критической температуры A_3

$$T_n = A_3 + (30...50)^{\circ}C$$

Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры.

При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый, и после охлаждения сталь имеет также мелкозернистую структуру.

- **неполный**, с температурой нагрева на $30...50^{\circ}\text{C}$ выше критической температуры A_1

$$T_x = A_1 + (30...50)^{\circ}\text{C}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. При таком нагреве в структуре сохраняется цементит вторичный, в результате отжига цементит приобретает сферическую форму (сфероидизация). Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой дробится цементитная сетка. Структура с зернистым цементитом лучше обрабатывается и имеет лучшую структуру после закалки. Неполный отжиг является обязательным для инструментальных сталей.

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

Нормализация

Нормализация – вид термической обработки сплава, заключающийся в нагреве её выше верхней критической точки, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении на спокойном воздухе с целью придания металлу однородной мелкозернистой структуры (не достигнутой при предыдущих процессах — литьё, ковке или прокатке) и как следствие — повышение его механических свойств (пластичности и ударной вязкости). Нормализация является разновидностью отжига.

Нормализация относится к группе предварительной термической обработки сплавов, позволяющая достигать высоких прочностных свойств материала по сравнению с отожженным состоянием, но меньше, чем после закалки с последующим отпуском, при этом сохраняется довольно высокий уровень пластических характеристик и в процессе последующей деформации или эксплуатации при знакопеременных нагрузках сохранять стойкость к образованию трещин.

Закалка с полиморфным и безполлиморфного превращений

Закалка — вид термической обработки материалов (металлы, их сплавы, стекло), заключающийся в их нагреве выше *критической температуры* (температуры изменения типа кристаллической решетки, т. е. полиморфного превращения, либо температуры, при которой в матрице растворяются фазы, существующие при низкой температуре), с последующим быстрым охлаждением.

Чаще всего охлаждение осуществляется в воде или масле, но существуют и другие способы охлаждения: в псевдокипящем слое твердого теплоносителя, струей сжатого воздуха, водяным туманом, в жидкую полимерную закалочную среду.

Различают закалку с полиморфным превращением, для сталей, и закалку без полиморфного превращения, для большинства цветных металлов.

Материал, подвергшийся закалке, приобретает большую твердость, но становится хрупким, менее пластичным и вязким, если сделать большее количество повторов нагревание-охлаждение. Для снижения хрупкости и увеличения пластичности и вязкости, после закалки с полиморфным превращением применяют отпуск. После закалки без полиморфного превращения применяют старение.

Закалка с полиморфным превращением - нагрев выше температуры полиморфного превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением для получения структурно-неустойчивого состояния (в пределе - фиксирования устойчивого состояния при высокой температуре).

Закалка без полиморфного превращения заключается в нагреве до температур, вызывающих структурные изменения (чаще всего для растворения избыточной фазы) с последующим быстрым охлаждением для получения структурно-неустойчивого состояния - пересыщенного твердого раствора.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое термическая обработка? С какой целью ее проводят?
2. то называется отжигом, нормализацией, закалкой и отпуском?
3. Каким образом классифицируются виды термической обработки и от чего это зависит?
4. Опишите методику выбора режима термической обработки металлов и сплавов.
5. Что такое отжиг I рода? В каких случаях его проводят?
6. Что такое отжиг II рода? Для каких сплавов его проводят?
7. Дайте определение понятию закалки и окончательной термической обработки. В чем их сходство и различие?
8. Какое оборудование используется для проведения термической обработки металлов и сплавов?

Лекция №6

Химико-термическая и термо-механическая обработка сплавов

План лекции

1. Химико – термическая обработка сплавов.
2. Цементация.
3. Азотирование.
4. Силицирование.
5. Диффузионная металлизация.
6. Оборудование для ХТО
7. Термо – механическая обработка металлов и сплавов.
8. Низкотемпературная ТМО.
9. Высокотемпературная ТМО.
10. Предварительная ТМО.

Химико – термическая обработка сплавов

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя детали.

Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате их взаимодействия с окружающей средой (твердой, жидкой, газообразной, плазменной), в которой осуществляется нагрев.

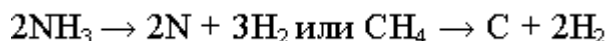
В результате изменения химического состава поверхностного слоя изменяются его фазовый состав и микроструктура,

Основными параметрами химико-термической обработки являются температура нагрева и продолжительность выдержки.

В основе любой разновидности химико-термической обработки лежат процессы *диссоциации, адсорбции, диффузии*.

Диссоциация – получение насыщающего элемента в активированном атомарном состоянии в результате химических реакций, а также испарения.

Например,



Адсорбция – захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента.

Адсорбция – всегда экзотермический процесс, приводящий к уменьшению свободной энергии.

Диффузия – перемещение адсорбированных атомов вглубь изделия.

Для осуществления процессов адсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения.

Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей.

Основными разновидностями химико-термической обработки являются:

- цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом);
- азотирование (насыщение поверхностного слоя азотом);
- нитроцементация или цианирование (насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом);
- диффузионная металлизация (насыщение поверхностного слоя различными металлами).

Цементация

Цементация – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры $900...950^{\circ}\text{C}$.

Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25%).

Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод. Подобранный режим обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины.

Глубина цементации (h) – расстояние от поверхности изделия до середины зоны, где в структуре имеются одинаковые объемы феррита и перлита ($h = 1...2$ мм).

Степень цементации – среднее содержание углерода в поверхностном слое (обычно, не более 1,2 %).

Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость.

На практике применяют цементацию в твердом и газовом карбюризаторе (науглероживающей среде).

Участки деталей, которые не подвергаются цементации, предварительно покрываются медью (электролитическим способом) или глиняной смесью. Цементации подвергают только железо-углеродистые стали.

Азотирование

Азотирование – это технологический процесс химико-термической обработки, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. Поверхностный слой

изделия, насыщенный азотом, имеет в своём составе растворённые нитриды и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвёрдость. По микротвёрдости азотирование уступает только борированию, в то же время превосходя цементацию и нитроцементацию (незначительно).

Азотированию подвергают различные виды металлов и сплавов: углеродистые и легированные, конструкционные и инструментальные стали, высокохромистые чугуны, высокохромистые износостойчивые сплавы, хром, титан и его сплавы, бериллий, вольфрам, ниобиевые сплавы и порошковые материалы.

Азотирование проводят с целью повышения коррозионной стойкости и упрочнения поверхности, повышения усталостной прочности.

Азотирование проводят несколькими методами: газовое азотирование, каталитическое газовое, ионно – плазменное и азотирование из растворов электролитов.

Газовое азотирование производят в среде диссоциированного аммиака. Газовое азотирование проводят в двух- или трехступенчатых температурных режимах насыщения разбавленным диссоциированным аммиаком.

Каталитическое газовое азотирование - это последняя модификация технологии газового азотирования. Средой для насыщения является аммиак, диссоциированный при температуре 400—600°C на катализаторе в рабочем пространстве печи и основано на перенаправлении потенциала насыщения поверхности металла.

Ионно – плазменное азотирование производят в азотосодержащем вакууме в котором возбуждается тлеющий электрический разряд. Анодом служат стенки камеры нагрева, а катодом — обрабатываемые изделия. Для управления структурой слоя и механическими свойствами слоя применяют (в разные стадии процесса): 1) изменение плотности тока; 2) изменение расхода азота; 3) изменение степени разряжения; 4) добавки к азоту особо чистых технологических газов (H_2 , Ar, CH_4 , O_2).

Азотирование из растворов электролита относится к одному из видов электрохимико - термической обработки. Используется в качестве анодного эффекта для диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности азотом в многокомпонентных растворах электролитов, (анодный электролитный нагрев) малогабаритных изделий. Анод-деталь при наложении постоянного напряжения в диапазоне от 150 до 300 При высоких температурах обработки обеспечивается сплошная и устойчивая парогазовая оболочка, отделяющая анод от электролита. Для обеспечения азотирования в электролит кроме электропроводящего компонента вводят вещества-доноры, обычно нитраты.

При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость.

Силицирование

Силицирование – это поверхностное или объемное насыщение материала кремнием. Производится обработкой материала в парах кремния, образующихся при высокой температуре над кремниевой засыпкой, или в газовой среде, содержащей хлорсиланы, восстанавливающиеся водородом (например, по реакции $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 4\text{HCl}$). Применяется преимущественно как средство защиты тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Ti и др.) от окисления. Стойкость к окислению обуславливается образованием плотных диффузионных «самозалечивающихся» силицидных покрытий (WSi_2 , MoSi_2 и др.). Широкое применение находит силицированный графит.

Применяют газовое, жидкое и порошковое силицирование.

Газовое силицирование – это силицирование, при котором поверхность насыщается из газовой среды, содержащей Si.

Жидкое силицирование — силицирование с электролизом или без него в расплавах силикатов щелочных металлов при 900— 1100°C. При электролизном с. к расплавам силикатов щелочных металлов часто добавляют хлориды и фториды щелочных и щелочноземельных металлов (для повышения жид-котекучести силикатов), а при без электролизном силицировании – кристаллический кремний, Fe-Si, SiC и другие активные восстановители.

Силицирование в порошках — это силицирование, при котором насыщение кремнием поверхности металла или сплава идет из порошка, включая кремнийсодержащие вещества (Si, Fe-Si, SiC и др.), а также 80-90 % «инертных» добавок: Al_2O_3 , MgO, измельченного шамота и др. Активаторами служат галогениды (0,5-5,0 %): NH_4Cl , NH_4I , NH_4F , NaF, KF и др. Тугоплавкие, легко окисляемые металлы часто подвергают с. в вакууме с засыпкой Si-порошком при температуре 1200°C.

Силицирование — процесс насыщения поверхности изделий кремнием при высоких температурах. Изделия из углеродистой стали и чугуна после силицирования приобретают свойства, присущие свойствам железокремнистых сплавов. Повышается их сопротивление окислению при температурах до 850°C, повышается коррозионная стойкость в среде азотной, соляной и других кислот.

Силицированию подвергают изделия из углеродистой стали для кислотопроводов; насосов, перекачивающих кислоты; различной аппаратуры, применяемой в нефтяной, химической, бумажной и других отраслях промышленности, работающих в агрессивных средах.

Силицирование подразделяется на твердое и газовое. Технологический процесс твердого силицирования аналогичен процессу алитирования в порошке.

Диффузионная металлизация

Диффузионное насыщение металлами — это поверхностное насыщение стали алюминием, хромом, цинком, кремнием и другими элементами. Один из методов упрочнения материалов.

Изделия, обогащённые этими элементами, приобретают ценные свойства к числу которых относятся высокая жаростойкость, коррозионная стойкость, повышенная износостойкость и твердость. Различают твердую, жидкую и газовую диффузионную металлизацию.

Твердая диффузионная металлизация: металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl_2 образуются летучие соединения хлора с металлом (AlCl_3 , CrCl_2 , SiCl_4 и так далее), которое в результате контакта с металлической поверхностью диссоциирует с образованием свободных атомов.

Жидкая диффузионная металлизация: данный вид металлизации проводят погружением детали в расплавленный металл, если диффундирующий металл имеет низкую температуру плавления.

Газовая диффузионная металлизация: проводят в газовых средах, состоящих из галогенных соединений диффундирующего элемента.

Достоинством диффузионно-металлизированной детали является высокая жаростойкость поверхности, поэтому жаростойкие изделия изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием, силицированием. Исключительно высокой твердостью (до HV 2000) обладают и высоким сопротивлением абразивному износу обладают борированные слои, вследствие образования на поверхности высокотвёрдых боридов железа - FeB и Fe_2B ; однако борированный слой очень хрупкий.

Недостатком таких процессов является низкая скорость диффузии хрома, алюминия и других металлов, по сравнению с углеродом и азотом, потому что последние образуют с железом растворы внедрения, а металлы - растворы замещения. При одинаковых температурных и временных условиях диффузионные слои при металлизации в десятки, а то и в сотни раз более тонкие, чем при цементации. Такая малая скорость диффузии препятствует широкому распространению процессов диффузионного насыщения в промышленности, так как процесс является дорогостоящим и его проводят при высоких температурах (1000-1200°C) длительное время. Только особые свойства слоя и возможность экономии легирующих элементов при использовании процессов диффузионной металлизации обусловили некоторое их применение в промышленности.

Оборудование для ХТО

ХТО сталей и сплавов проводят в специальных печах, контейнерах. Главной установкой в таком оборудовании являются тип печи, способ ХТО (печная среда), марка сплава и назначение.

Одним из важнейших устройств печи является нагревательный элемент, который должен выдерживать длительные температурные нагрузки, особенно при твердой цементации.

В качестве печей применяют такие установки, как:

- Безмуфельные печи;
- Печи шахтного типа;
- Соляные ванны;
- Камерные печи.

Более подробное описание возможного применения печей при различных видах ХТО представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Традиционное оборудование для ХТО стали

Назначение	Тип оборудования	Среда
Отжиг, нормализация, нагрев под закалку углеродистых и легированных сталей	Камерные и шахтные печи типа СШЗ и СНЗ	Эндогаз, инертные газы, азот
Химико-термическая обработка: цементация, нитроцементация, азотирование, карбонитрирование, нитрок-процесс и т.п.	Соляные ванны типа СВС, рабочая температура до 950°C	Различные соотношения цианатов, поташа и углекислого натрия Различные составы цианистого натрия NaCN (от 10 до 50%) и неактивных солей
	Камерные и шахтные печи типа США, СШЦМ и СНЦ	Эндогаз, углеводородные газы, жидкие карбюризаторы, аммиак
Окончательный нагрев под закалку быстрорежущих сталей	Соляные ванны типа СВС, рабочая температура до 1300°C	Составы на основе BaCl ₂ (92-100%) с небольшими добавками до 8% NaCl, SiO ₂ и др.
Окончательный нагрев под закалку высоколегированных сталей	Камерные и шахтные безмуфельные печи с температурой до 1150°C	Богатая экзотермическая атмосфера с очисткой и осушкой, эндогаз

Термо – механическая обработка сплавов

Одним из технологических процессов упрочняющей обработки является термомеханическая обработка (ТМО).

Термомеханическая обработка относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов.

При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка.

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же марки сплава после закалки с последующей термической обработкой.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Схема режимов ТМО представлена на рис. 2.2.

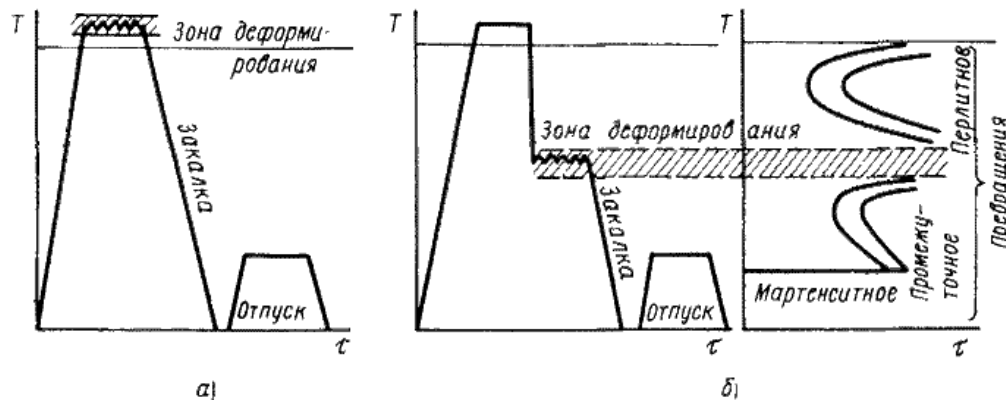


Рис.2.2 Схема режимов низкотемпературной термомеханической обработки стали:

а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО); б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)

Низкотемпературная ТМО

Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) включает в себя последовательно проводимые закалку, холодное деформирование, старение. НТМО проводят с целью повысить прочностные свойства стареющих сплавов. Повышение предела текучести в результате холодной деформации закаленного сплава перед старением в сравнении с обычной термообработкой по схеме закалка старение объясняется тем, что при НТМО в металле перед старением создается большее количество дефектов, а сам

процесс старения проходит более интенсивно. Обычно посредством НТМО удается повысить прочность металла на 20 - 25 % в сравнении с обычной термообработкой.

Высокотемпературная ТМО

Использование выкотемпературной термо-механической обработки (ВТМО), заключающейся в совмещении горячей пластической деформации с закалкой, исключающей развитие рекристаллизационных процессов, позволяет повысить кратковременную и длительную прочность многих дисперсионно-твердеющих жаропрочных сплавов на основе железа и никеля.

ВТМО повышает ударную вязкость сплавов, понижает температурный порог хладоломкости, повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

Предварительная ТМО

Сущность ПТМО заключается в том, что полуфабрикат, полученный после горячей деформации в нерекристаллизованном состоянии, сохраняет нерекристаллизованную структуру и при нагреве под закалку. ПТМО отличается от ВТМО тем, что операции горячей деформации и нагрева под закалку разделены.

ТМО широко применяют в технологии производства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Особенно ПТОМ подходит для обработки таких сплавов как дуралюминий и авиаль, которые с нерекристаллизованной структурой обладают повышенной прочностью.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность и особенности термомеханической обработки?
2. В чем сущность процессов цементации и азотирования, их назначение.
3. Назовите основные способы поверхностного упрочнения деталей машин.
4. Дайте определение и классификацию видам ХТО.
5. Укажите отличия ХТО от ТМО.
6. Какое оборудование используется для ХТО?
7. В каком случае прибегают к необходимости проведения ПТМО?

Лекция № 7

Термическая обработка сталей

План лекции

1. Критические точки на диаграмме состояния «железо-цементит».
2. Превращение в сталях при нагреве и охлаждении.
3. Полный отжиг конструкционных сталей.
4. Нормализация инструментальных сталей.
5. Закалка конструкционных и инструментальных сталей.
6. Специальные виды закалки.
7. Отпуск стали.
8. Отпускная хрупкость.
9. Цементация стали.
10. Азотирование стали.
11. Низкотемпературная ТМО стали.
12. Высокотемпературная ТМО стали.

Критические точки на диаграмме состояния

«Железо-цементит»

Критическими точками в сталях, называют точки, соответствующие температурам в сталях относительно которых назначают тот или иной вид термической обработки. Эти точки ещё называются точками Чернова.

Точки Чернова — критические температуры, при которых происходит изменение фазового состояния и структуры стали при нагреве и охлаждении её в твёрдом виде. Установлены Черновым Дмитрием Константиновичем в 1868 году.

Критические точки A_1 лежат на линии PSK (727°C). Критические точки A_2 находятся на линии MO (768°C). Критические точки A_3 лежат на линии GS, а критические точки A_{cm} — на линии SE.

Вследствие теплового гистерезиса превращения при нагреве и охлаждении проходят при разных температурах. Поэтому для обозначения критических точек при нагреве и охлаждении используют дополнительные индексы: буквы «с» в случае нагрева и «г» в случае охлаждения. Например, A_{C1} , A_{C3} , A_{r1} , A_{r3} .

Критические точки, отвечающие за структурные превращения в стали соответствуют линиям на диаграмме состояния железо – цементит (рис.2.3).

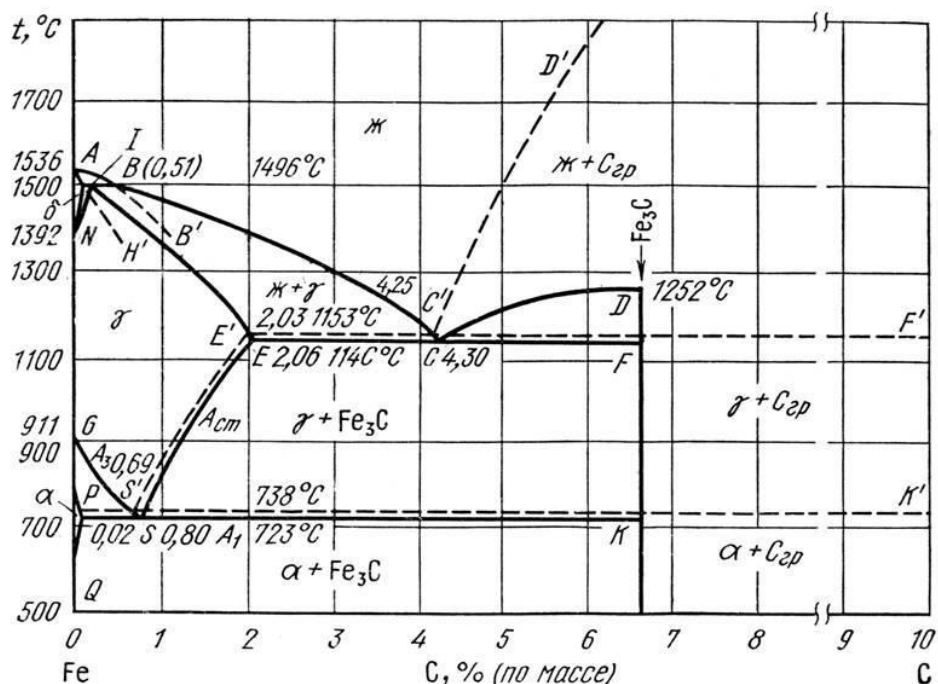


Рис.2.3 Фазовая диаграмма железо – цементит с точками Чернова

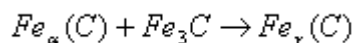
Точка A_1 соответствует температуре эвтектоидного превращения стали. Точка A_3 показывает температуру при которой оканчивается растворение феррита в аустените. Точка M_n известна как температура мартенситного превращения при закалке.

Условия нагрева определяются видом нагревательного устройства, к которым относятся нагревательные печи (топливные или электрические), соляные ванны или ванны с расплавленным металлом, установки индукционного нагрева токами промышленной частоты или токами высокой частоты.

Превращение в сталях при нагреве и охлаждении

Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии (рис.2.4).

1. Превращение перлита в аустенит ($P \rightarrow A$), происходит при нагреве выше критической температуры A_1 , минимальной свободной энергией обладает аустенит.



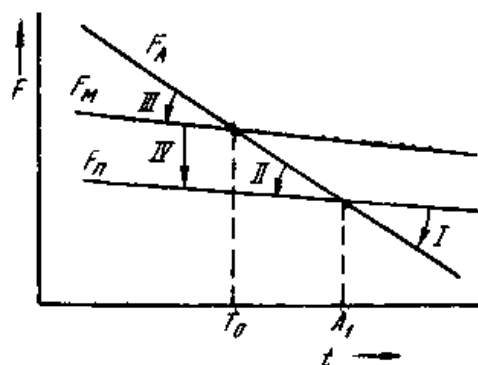
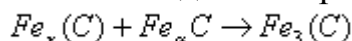
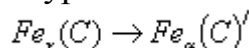


Рис.2.4 Зависимость свободной энергии структурных составляющих сталей от температуры: аустенита (F_A), мартенсита (F_M), перлита (F_{Π})

2. Превращение аустенита в перлит ($A \rightarrow \Pi$), происходит при охлаждении ниже A_1 , минимальной свободной энергией обладает перлит:



3. Превращение аустенита в мартенсит ($A \rightarrow M$), происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия



4. Превращение мартенсита в перлит ($M \rightarrow \Pi$); – происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита.

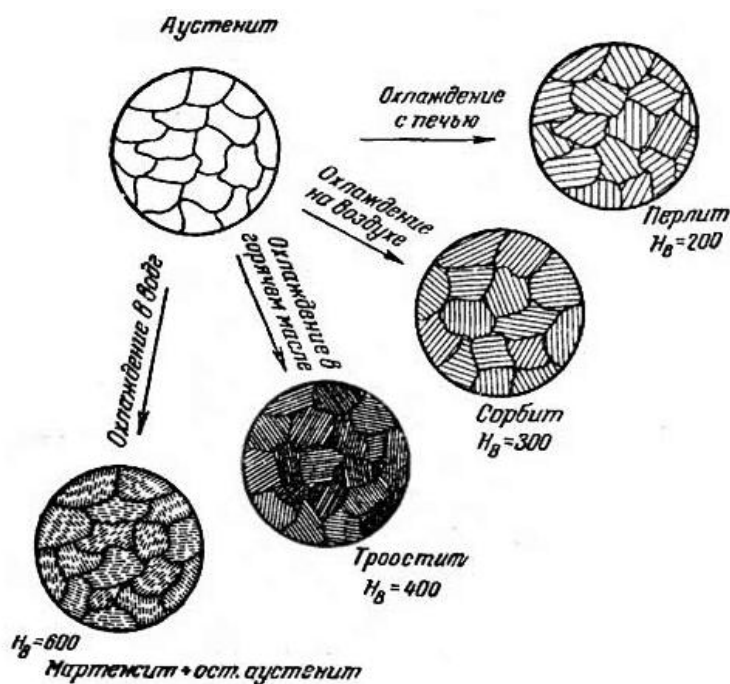
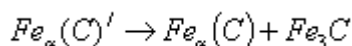


Рис.2.5 Схема структурных превращений аустенита в стали при охлаждении с различными скоростями

1. Превращение перлита в аустенит:

Превращение основано на диффузии углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$, а так же растворением цементита в аустените.

Для исследования процессов строят диаграммы изотермического образования аустенита (рис.2.6). Для этого образцы нагревают до температуры выше A_1 и выдерживают, фиксируя начало и конец превращения.

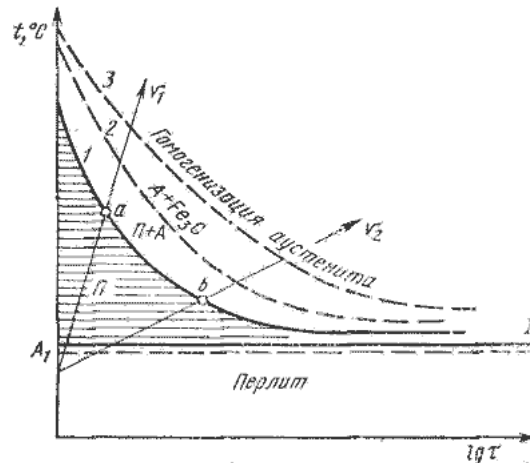


Рис.2.6 Диаграмма изотермического образования аустенита:
1 - начало образования аустенита; 2 - конец преобразования перлита в аустенит; 3 - полное растворение цементита

С увеличением перегрева и скорости нагрева продолжительность превращения сокращается.

Механизм превращения представлен на рисунке 2.7.

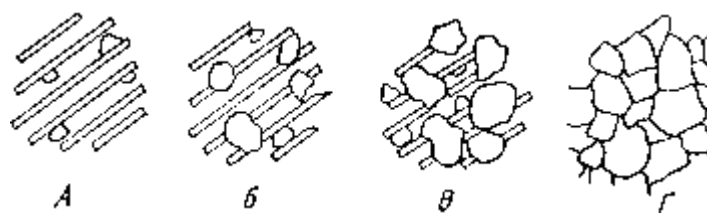


Рис.2.7 Механизм превращения перлита в аустенит

Превращение начинаются с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка Fe_{α} перестраивается в решетку Fe_{γ} .

Время превращения зависит от температуры, так как с увеличением степени перегрева уменьшается размер критического зародыша аустенита, увеличиваются скорость возникновения зародышей и скорость их роста

Образующиеся зерна аустенита имеют вначале такую же концентрацию углерода, как и феррит. Затем в аустените начинает растворяться вторая фаза перлита – цементит, следовательно, концентрация углерода увеличивается. Превращение Fe_3C в Fe идет быстрее. После того, как весь цементит растворится, аустенит неоднороден по химическому составу: там, где находились пластинки цементита концентрация углерода более высокая. Для завершения процесса перераспределения углерода в аустените требуется дополнительный нагрев или выдержка.

Величина образовавшегося зерна аустенита оказывает влияние на свойства стали.

Рост зерна аустенита. Образующиеся зерна аустенита получают мелкими (начальное зерно). При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. Движущей силой роста является разность свободных энергий мелкозернистой (большая энергия) и крупнозернистой (малая энергия) структуры аустенита.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита. Если зерно аустенита начинает быстро расти даже при незначительном нагреве выше температуры A_1 , то сталь наследственно крупнозернистая. Если зерно растет только при большом перегреве, то сталь наследственно мелкозернистая.

Склонность к росту аустенитного зерна является плавочной характеристикой. Стали одной марки, но разных плавок могут различаться, так как содержат неодинаковое количество неметаллических включений, которые затрудняют рост аустенитного зерна.

Ванадий, титан, молибден, вольфрам, алюминий – уменьшают склонность к росту зерна аустенита, а марганец и фосфор – увеличивают ее.

Заэвтектоидные стали менее склонны к росту зерна.

При последующем охлаждении зерна аустенита не измельчаются. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства. Крупное зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладоломкости.

Различают величину зерна *наследственного* и *действительного*.

Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до $930^\circ C$ и затем определяют размер зерна.

Действительная величина зерна – размер зерна при обычных температурах, полученный после той или иной термической обработки.

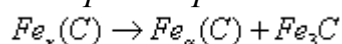
Неправильный режим нагрева может привести либо к *перегреву*, либо к *пережогу* стали.

Перегрев: Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры A_3 приводит к интенсивному росту зерна аустенита. При охлаждении феррит выделяется в виде пластинчатых или игольчатых кристаллов. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами. Перегрев можно

исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог: имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный. Пережог – неисправимый брак.

2. Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении:



Превращение связано с диффузией углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$, выделением углерода из аустенита в виде цементита, разрастанием образовавшегося цементита.

В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения. Вначале, с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, а затем убывает. При температуре $727^\circ C$ и ниже $200^\circ C$ скорость равна нулю. При температуре $200^\circ C$ равна нулю скорость диффузии углерода.

В начале наблюдается инкубационный подготовительный период, время, в течение которого сохраняется переохлажденный аустенит. Превращение протекает с различной скоростью и достигает максимума при образовании 50 % продуктов распада.

При малых степенях переохлаждения, в области температур $727...550^\circ C$, сущность превращения заключается в том, что в результате превращения аустенита образуется механическая смесь феррита и цементита, состав которой отличается от состава исходного аустенита. Аустенит содержит 0,8 % углерода, а образующиеся фазы: феррит – 0,02 %, цементит – 6,67 % углерода.

Время устойчивости аустенита и скорость его превращения зависят от степени переохлаждения.

Максимальная скорость превращения соответствует переохлаждению ниже температуры A_1 на $150...200^\circ C$, то есть соответствует минимальной устойчивости аустенита. Механизм превращения представлен на рис.2.5.

При образовании перлита из аустенита ведущей фазой является цементит. Зарождение центров кристаллизации цементита облегчено на границе аустенитных зерен. Образовавшаяся пластинка цементита растет, удлиняется и обедняет соседние области углеродом. Рядом с ней образуются пластинки феррита. Эти пластинки растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с кристаллами перлита, растущими из других центров.

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада.

Толщина соседних пластинок феррита и цементита определяет дисперсность структуры и обозначается Δ_0 . Она зависит от температуры превращения. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют различное название.

$$\Delta_0 \approx (0,5...0,7)10^{-3} \text{ мм} - \text{перлит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 650...700^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 30...60^\circ\text{C/ч}$. Твердость составляет $180...250$ НВ.

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{сорбит}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 600...650^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 60^\circ\text{C/с}$. Твердость составляет $250...350$ НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, достаточной вязкостью и прочностью.

$$\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{троостит.}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 550...600^\circ\text{C}$, или при скорости охлаждения $V_{охл} = 150^\circ\text{C/с}$. Твердость составляет $350...450$ НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, малой вязкостью и пластичностью.

Твердость ферритно-цементитной смеси прямо пропорциональна площади поверхности раздела между ферритом и цементитом.

Если температура нагрева незначительно превышала температуру A_1 и полученный аустенит неоднороден по составу, то при малой степени переохлаждения образуется зернистый перлит.

3. Промежуточное превращение:

При температуре ниже 550°C самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью.

Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом превращаются в цементит.

Превращение обедненного углеродом аустенита в феррит происходит по сдвиговому механизму, путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом кристаллы имеют игольчатую форму.

Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется **бейнитом**. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите ($0,1...0,2\%$).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

При температуре $550^{\circ}\text{C} - \Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм – верхний бейнит. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких значениях относительного удлинения (δ) и ударной вязкости (α_n).

При температуре $300^{\circ}\text{C} - \Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$ – нижний бейнит. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

4. Превращение аустенита в мартенсит при высоких скоростях охлаждения:

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением Fe_{γ} в Fe_{α} .

При охлаждении стали со скоростью, большей критической ($V > V_k$), превращение начинается при температуре начала мартенситного превращения (M_n) и заканчивается при температуре окончания мартенситного превращения (M_k). В результате такого превращения аустенита образуется продукт закалки – *мартенсит*.

Минимальная скорость охлаждения V_k , при которой весь аустенит переохлаждается до температуры $t.M_n$ и превращается, называется **критической скоростью закалки**.

Так как процесс диффузии не происходит, то весь углерод аустенита остается в решетке Fe_{α} и располагается либо в центрах тетраэдров, либо в середине длинных ребер решетки.

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Fe_{α} .

При образовании мартенсита кубическая решетка Fe_{α} сильно искажается, превращаясь в тетрагональную.

Механизм мартенситного превращения имеет ряд особенностей.

1. Бездиффузионный характер: превращение осуществляется по сдвиговому механизму. В начале превращения имеется непрерывный переход от решетки аустенита к решетке мартенсита (когерентная связь). При превращении гранцентрированной кубической решетки в объемно-центрированную кубическую атомы смещаются на расстояния меньше межатомных, т.е. нет необходимости в самодиффузии атомов железа.

2. Ориентированность кристаллов мартенсита: кристаллы имеют форму пластин, сужающихся к концу, под микроскопом такая структура выглядит как игольчатая. Образуюсь мгновенно пластины растут либо до границы зерна аустенита, либо до дефекта. Следующие пластины расположены к первым под углами 60° или 120° , их размеры ограничены участками между первыми пластинами (рис. 2.8).

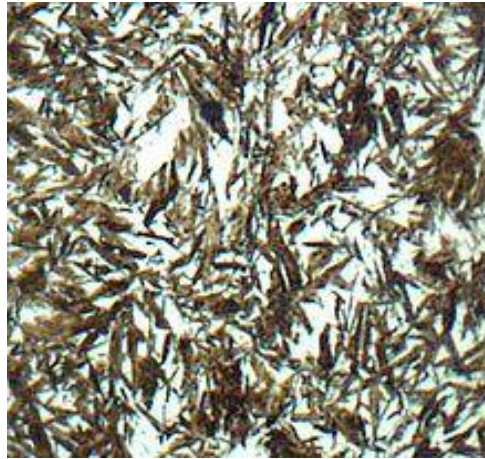


Рис.2.8 Ориентированность кристаллов мартенсита

Ориентированный (когерентный) рост кристаллов мартенсита обеспечивает минимальную поверхностную энергию. При когерентном росте, из-за различия объемов аустенита и мартенсита, возникают большие напряжения. При достижении определенной величины кристаллов мартенсита, эти напряжения становятся равными пределу текучести аустенита. В результате этого нарушается когерентность и происходит отрыв решетки мартенсита от решетки аустенита. Рост кристаллов прекращается.

3. Очень высокая скорость роста кристалла, до 1000 м/с .

4. Мартенситное превращение происходит только при непрерывном охлаждении. Для каждой стали начинается и заканчивается при определенной температуре, независимо от скорости охлаждения. Температуру начала мартенситного превращения называют мартенситной точкой M_H , а температуру окончания превращения – M_K . Температуры M_H и M_K зависят от содержания углерода и не зависят от скорости охлаждения. Для сталей с содержанием углерода выше $0,6 \%$ M_K уходит в область отрицательных температур.

Мартенситное превращение чувствительно к напряжениям, и деформация аустенита может вызвать превращение даже при температурах выше M_H .

В сталях с M_K ниже 20°C присутствует аустенит остаточный, его количество тем больше, чем ниже M_H и M_K . (при содержании углерода $0,6...1,0 \%$ количество аустенита остаточного – 10% , при содержании углерода $1,5 \%$ - до 50%). В микроструктуре наблюдается в виде светлых полей между иглами мартенсита.

5. Превращение необратимое. Получить аустенит из мартенсита невозможно.

Свойства мартенсита обусловлены особенностями его образования. Он характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью, что обуславливает хрупкость.

Твердость составляет до 65 HRC. Высокая твердость вызвана влиянием внедренных атомов углерода в решетку α -фазы, что вызывает ее искажение и возникновение напряжений. С повышением содержания углерода в стали возрастает склонность к хрупкому разрушению.

5. Превращение мартенсита в перлит:

Имеет место при нагреве закаленных сталей. Превращение связано с диффузией углерода.

Мартенсит закалки неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. Для получения равновесной структуры изделия подвергают отпуску.

При нагреве закаленной стали происходят следующие процессы.

При нагреве до 200°C происходит перераспределение углерода в мартенсите. Образуются пластинки ϵ -карбидов толщиной несколько атомных диаметров. На образование карбидов углерод расходуется только из участков мартенсита, окружающих кристаллы выделившихся карбидов. Концентрация углерода на этих участках резко падает, тогда как удаленные участки сохраняют концентрацию углерода. В стали присутствуют карбиды и два α -твердых раствора мартенсита (с высокой и низкой концентрацией углерода. Такой тип распада мартенсита называется прерывистым. Скорость диффузии мала, карбиды не увеличиваются, распад мартенсита сопровождается зарождением новых карбидных частиц. Таким образом, имеем структуру с неравномерным распределением углерода – это *мартенсит отпуска*. При этом несколько снижается тетрагональность решетки.

При нагреве до 300°C идет рост образовавшихся карбидов. Карбиды выделяются из мартенсита и он обедняется углеродом. Диффузия углерода увеличивается и карбиды растут в результате притока углерода из областей твердого раствора с высокой его концентрацией. Кристаллическая решетка карбидов когерентно связана с решеткой мартенсита.

В высокоуглеродистых сталях аустенит остаточный превращается в мартенсит отпуска. Наблюдается снижение тетрагональности решетки и внутренних напряжений. Структура – *мартенсит отпуска*:

При нагреве до 400°C весь избыточный углерод выделяется из Fe_{α} . Карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение цементита, и начинают расти. Форма карбидных частиц приближается к сферической.

Высокодисперсная смесь феррита и цементита называется *троостит отпуска*;

При нагреве выше 400°C изменение фазового состава не происходит, изменяется только микроструктура. Имеет место рост и сфероидизация

цементита. Наблюдается растворение мелких и рост крупных карбидных частиц.

При температуре $550...600^{\circ}\text{C}$ имеем *сорбит отпуска*. Карбиды имеют зернистое строение. Улучшаются свойства стали.

При температуре $650...700^{\circ}\text{C}$ получают более грубую ферритно-цементитную смесь – *перлит отпуска* (зернистый перлит).

Полный отжиг конструкционных сталей

При полном отжиге доэвтектоидная сталь нагревается выше A_{C3} на $30-50^{\circ}\text{C}$, выдерживается при этой температуре до полного прогрева и медленно охлаждается. В этом случае ферритно-перлитная структура переходит при нагреве в аустенитную, а затем при медленном охлаждении превращается обратно в феррит и перлит. Происходит полная перекристаллизация.

Основные цели полного отжига: устранение пороков структуры, возникших при предыдущей обработке металла (литье, горячей деформации, сварке и термообработке), смягчение стали перед обработкой резанием и снятие внутренних напряжений.

Для конструкционных сталей отжиг проводится при температуре $880-900^{\circ}\text{C}$.

Полный отжиг производится преимущественно для конструкционной доэвтектоидной стали.

Для инструментальной заэвтектоидной стали полный отжиг неприменим, так как образующаяся при этом сетка цемента сообщает стали хрупкость.

К отжигу II рода относят: циклический и изотермический отжиг:

- **циклический или маятниковый отжиг** применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A_1 следует охлаждение до 680°C , затем снова нагрев до температуры $750...760^{\circ}\text{C}$ и охлаждение. В результате получают зернистый цементит.

- **изотермический отжиг**: после нагрева до требуемой температуры, изделие быстро охлаждают до температуры на $50...100^{\circ}\text{C}$ ниже критической температуры A_1 и выдерживают до полного превращения аустенита в перлит, затем охлаждают на спокойном воздухе (рис.2.9). Температура изотермической выдержки близка к температуре минимальной устойчивости аустенита.

В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.

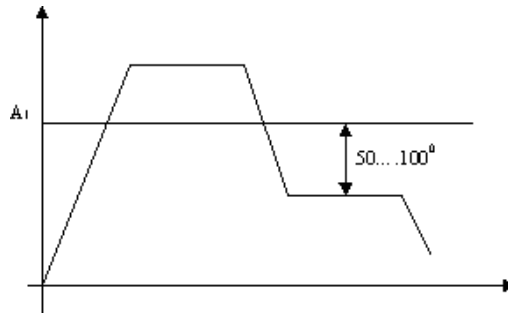


Рис. 2.9 Режимы изотермического отжига

Нормализация инструментальных сталей

Нормализацию применяют для измельчения зерна перегретой стали и для получения небольших параметров шероховатости поверхности при обработке резанием в тех случаях, когда сталь в отожженном состоянии имеет твердость меньше НВ 1830 МПа, Продолжительность выдержки при нагреве в печах 20—30 мин после прогрева всей садки; при нагреве в соляных ваннах — равняется расчетной выдержке для нагрева под закалку.

Нормализацию применяют для измельчения зерна перегретой стали и для получения небольших параметров шероховатости поверхности при обработке резанием в тех случаях, когда сталь в отожженном состоянии имеет твердость меньше НВ 1830 МПа. Продолжительность выдержки при нагреве в печах 20—30 мин после прогрева всей садки; при нагреве в соляных ваннах — равняется расчетной выдержке для нагрева под закалку.

Для высокоуглеродистой (заэвтектоидной) стали нормализацию применяют для устранения цементитной сетки, которая может возникать при медленном охлаждении в интервале $A_{сг}$ — $A_{г}$.

При нормализации изделие нагревают до аустенитного состояния, на $30...50^{\circ}C$ выше A_3 или $A_{сг}$ с последующим охлаждением на воздухе.

$$T_{н} = A_3 + (30...50)^{\circ}C$$

или

$$T_{н} = A_{сг} + (30...50)^{\circ}C$$

В результате нормализации получают более тонкое строение эвтектоида (тонкий перлит или сорбит), уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки, полученные в процессе предшествующей обработки. Твердость и прочность несколько выше, чем после отжига.

В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет грубую сетку вторичного цементита.

Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Иногда проводят как окончательную обработку, например, при изготовлении сортового проката.

Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига.

Для среднеуглеродистых сталей нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки с высоким отпуском. В этом случае механические свойства несколько ниже, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

Закалка конструкционных и инструментальных сталей

Конструкционные стали подвергают закалке и отпуску для повышения прочности и твердости, получения высокой пластичности, вязкости и высокой износостойкости, а инструментальные – для повышения твердости и износостойкости.

Верхний предел температур нагрева для заэвтектоидных сталей ограничивается, так как приводит к росту зерна, что снижает прочность и сопротивление хрупкому разрушению.

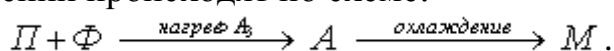
Основными параметрами являются температура нагрева и скорость охлаждения. Продолжительность нагрева зависит от нагревательного устройства, по опытным данным на 1 мм сечения затрачивается: в электрической печи – 1,5...2 мин.; в пламенной печи – 1 мин.; в соляной ванне – 0,5 мин.; в свинцовой ванне – 0,1...0,15 мин.

По температуре нагрева различают виды закалки:

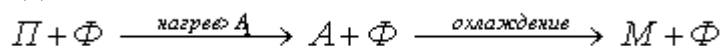
– **полная закалка**, с температурой нагрева на 30...50⁰С выше критической температуры A_3

$$T_{\text{н}} = A_3 + (30...50)^0 \text{С} .$$

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



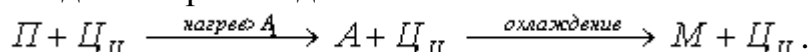
Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



– **неполная закалка** с температурой нагрева на 30...50 °С выше критической температуры A_1

$$T_{\text{н}} = A_1 + (30...50)^0 \text{С}$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После охлаждения в структуре остается вторичный цементит, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента.

После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубо игольчатого мартенсита.

Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

После нагрева и выдержки стальной детали проводят быстрое охлаждение с целью фиксации высоких прочностных свойств и структуры материала.

Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали.

Режим охлаждения должен исключить возникновение больших закалочных напряжений. При высоких скоростях охлаждения при закалке возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению и растрескиванию.

Внутренние напряжения, уравниваемые в пределах макроскопических частей тела, называются напряжениями I рода. Они ответственны за искажение формы (коробление) и образование трещин при термообработке. Причинами возникновения напряжений являются:

- различие температуры по сечению изделия при охлаждении;
- разновременное протекание фазовых превращений в разных участках изделия.

Для предупреждения образования трещин необходимо избегать растягивающих напряжений в поверхностных слоях изделия. На характер распределения напряжений при закалке, помимо режима охлаждения, оказывает влияние и температура нагрева под закалку. Перегрев содействует образованию закалочных трещин, увеличивает деформации.

Режим охлаждения должен также обеспечить необходимую глубину закаленного слоя.

Оптимальный режим охлаждения: максимальная скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M_H$, для предотвращения распада переохлажденного аустенита в области перлитного превращения, и минимальная скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения $M_H - M_K$, с целью снижения остаточных напряжений и возможности образования трещин. Очень медленное охлаждение может привести к частичному отпуску мартенсита и увеличению количества аустенита остаточного, а следовательно, к снижению твердости.

В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду при различных температурах, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы.

Вода имеет существенный недостаток: высокая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения приводит к образованию закалочных

дефектов. С повышением температуры воды ухудшается ее закалочная способность.

Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8...12 %-ные водные растворы $NaCl$ и $NaOH$. Они мгновенно разрушают паровую рубашку и охлаждение происходит более равномерно и на стадии пузырькового кипения.

Увеличения охлаждающей способности достигают при использовании струйного или душевого охлаждения, например, при поверхностной закалке.

Для легированных сталей с высокой устойчивостью аустенита используют минеральное масло (нефтяное). Обеспечивающее небольшую скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения и постоянство закаливающей способности. Недостатками минеральных масел являются повышенная воспламеняемость, низкая охлаждающая способность в интервале температур перлитного превращения, высокая стоимость.

При выборе охлаждающей среды необходимо учитывать *закаливаемость* и *прокаливаемость* стали.

Закаливаемость – способность стали приобретать высокую твердость при закалке.

Закаливаемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закаливаются.

Прокаливаемость – способность получать закаленный слой с мартенситной и троосто-мартенситной структурой, обладающей высокой твердостью, на определенную глубину.

За глубину закаленной зоны принимают расстояние от поверхности до середины слоя, где в структуре одинаковые объемы мартенсита и троостита.

Чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. Укрупнение зерен повышает прокаливаемость.

Если скорость охлаждения в сердцевине изделия превышает критическую то сталь имеет сквозную прокаливаемость.

Нерастворимые частицы и неоднородность аустенита уменьшают прокаливаемость.

Характеристикой прокаливаемости является *критический диаметр*.

Критический диаметр – максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия.

С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость увеличиваются (особенно молибден и бор, кобальт – наоборот).

Специальные виды закалки стали

В зависимости от формы изделия, марки стали и нужного комплекса свойств применяют различные способы охлаждения (рис.2.10).

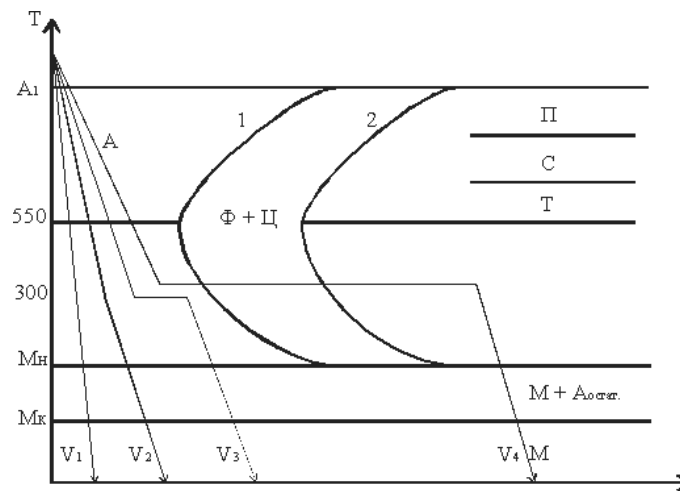


Рис.2.10 Режимы закалки

1. Закалка в одном охладителе (V_1):

Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют:

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

Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

2. Закалка в двух сферах или прерывистая (V_2):

Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^{\circ}\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло).

Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения.

Применяется в основном для закалки инструментов.

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

3. Ступенчатая закалка (V_3):

Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ выше точки M_n и выдерживают в течении времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению. Время изотермической выдержки не превышает периода устойчивости аустенита при заданной температуре.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью.

Способ используется для мелких и средних изделий.

4. Изотермическая закалка (V_4):

Отличается от ступенчатой закалки продолжительностью выдержки при температуре выше M_H , в области промежуточного превращения. Изотермическая выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. При промежуточном превращении легированных сталей кроме бейнита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Образовавшаяся структура характеризуется сочетанием высокой прочности, пластичности и вязкости. Вместе с этим снижается деформация из-за закалочных напряжений, уменьшаются и фазовые напряжения.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи.

Применяются для легированных сталей.

5. Закалка с самоотпуском:

Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения. После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск. Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: молотки, зубила).

Конструкционная прочность часто зависит от состояния материала в поверхностных слоях детали. Одним из способов поверхностного упрочнения стальных деталей является *поверхностная закалка*.

В результате поверхностной закалки увеличивается твердость поверхностных слоев изделия с одновременным повышением сопротивления истиранию и предела выносливости.

Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева.

Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газовой-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем.

6. Закалка токами высокой частоты:

Метод разработан советским ученым Вологдиным В.П.

Основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

Обычно используются машинные генераторы с частотой 50...15000 Гц и ламповые генераторы с частотой больше 10^6 Гц. Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

Индукторы изготавливаются из медных трубок, внутри которых циркулирует вода, благодаря чему они не нагреваются. Форма индуктора соответствует внешней форме изделия, при этом необходимо постоянство зазора между индуктором и поверхностью изделия.

Схема технологического процесса закалки ТВЧ представлена на рис.2.11.

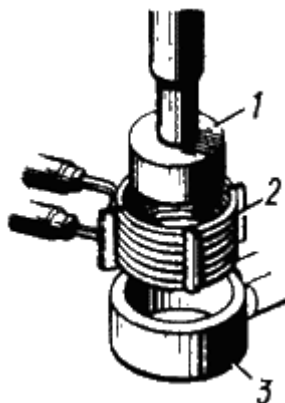


Рис.2.11 Схема технологического процесса закалки ТВЧ

После нагрева в течение 3...5 с индуктора 2 деталь 1 быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер 3, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость.

Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве.

При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоигольчатого мартенсита. Твердость повышается на 2...4 HRC по сравнению с обычной закалкой, возрастает износостойкость и предел выносливости.

Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации, а после закалки низкому отпуску при температуре 150...200⁰С (самоотпуск).

Наиболее целесообразно использовать этот метод для изделий из сталей с содержанием углерода более 0,4 %.

Преимущества метода:

- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- более высокие механические свойства;
- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;

- возможность автоматизации процесса;
- использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешёвые углеродистые;
- позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов.

Целесообразно использовать в серийном и массовом производстве.

7. Газопламенная закалка:

Нагрев осуществляется ацетиленокислородным, газокислородным или керосинокислородным пламенем с температурой 3000...3200°C.

Структура поверхностного слоя после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, твердость 50...56 HRC.

Метод применяется для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугунных прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах.

При нагреве крупных изделий горелки и охлаждающие устройства перемещаются вдоль изделия, или – наоборот.

Недостатки метода:

- невысокая производительность;
- сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

Отпуск стали

Отпуск является окончательной термической обработкой.

Целью отпуска является повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей.

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

Различают три вида отпуска:

1. *Низкий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 150...300^{\circ}\text{C}$.

В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – *мартенсит отпуска*.

Проводят для инструментальных сталей; после закалки токами высокой частоты; после цементации.

2. *Средний отпуск* с температурой нагрева $T_n = 300...450^{\circ}\text{C}$.

Получают структуру – *троостит отпуска*, сочетающую высокую твердость 40...45HRC с хорошей упругостью и вязкостью.

Используется для изделий типа пружин, рессор.

3. *Высокий отпуск* с температурой нагрева $T_n = 450...650^{\circ}\text{C}$.

Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) – *сорбит отпуска*.

Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Комплекс термической обработки, включающий закалку и высокий отпуск, называется *термическим улучшением*.

Отпускная хрупкость

Обычно с повышением температуры отпуска ударная вязкость увеличивается, а скорость охлаждения не влияет на свойства. Но для некоторых сталей наблюдается снижение ударной вязкости. Этот дефект называется *отпускной хрупкостью* (рис.2.12).

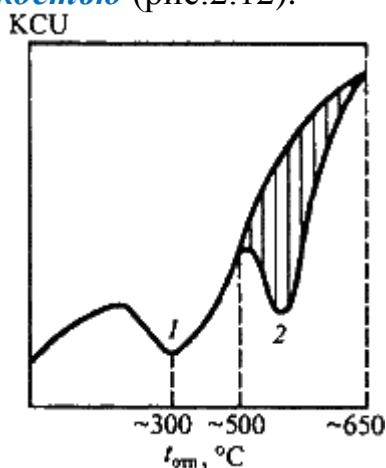


Рис.2.12 Зависимость ударной вязкости от температуры отпуска

Отпускная хрупкость I рода: наблюдается при отпуске в области температур около 300°C . Она не зависит от скорости охлаждения.

Это явление связано с неравномерностью превращения отпущенного мартенсита. Процесс протекает быстрее вблизи границ зерен по сравнению с объемами внутри зерна. У границ наблюдается концентрация напряжений, поэтому границы хрупкие.

Отпускная хрупкость I рода “необратима“, то есть при повторных нагревах тех же деталей не наблюдается.

Отпускная хрупкость II рода: наблюдается у легированных сталей при медленном охлаждении после отпуска в области $450...650^{\circ}\text{C}$.

При высоком отпуске по границам зерен происходит образование и выделение дисперсных включений карбидов. Приграничная зона обедняется

легирующими элементами. При последующем медленном охлаждении происходит диффузия фосфора к границам зерна. Приграничные зоны обогащаются фосфором, снижаются прочность и ударная вязкость. Этому дефекту способствуют хром, марганец и фосфор. Уменьшают склонность к отпускной хрупкости II рода молибден и вольфрам, а также быстрое охлаждение после отпуска.

Отпускная хрупкость II рода «обратима», то есть при повторных нагревах и медленном охлаждении тех же сталей в опасном интервале температур дефект может повториться.

Стали, склонные к отпускной хрупкости II рода, нельзя использовать для работы с нагревом до 650°C без последующего быстрого охлаждения.

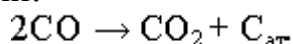
Цементация стали

Цементация проводится в твердом карбюризаторе в специальном ящике или газовая цементация – в специальных печах.

Цементация в твердом карбюризаторе:

Почти готовые изделия, с припуском под шлифование, укладывают в металлические ящики и пересыпают твердым карбюризатором. Используется древесный уголь с добавками углекислых солей BaCO_3 , Na_2CO_3 в количестве 10...40 %. Закрытые ящики укладывают в печь и выдерживают при температуре $930\text{...}950^{\circ}\text{C}$.

За счет кислорода воздуха происходит неполное сгорание угля с образованием окиси углерода (CO), которая разлагается с образованием атомарного углерода по реакции:



Образующиеся атомы углерода адсорбируются поверхностью изделий и диффундируют вглубь металла.

Недостатками данного способа являются:

- значительные затраты времени (для цементации на глубину 0,1 мм затрачивается 1 час);
- низкая производительность процесса;
- громоздкое оборудование;
- сложность автоматизации процесса.

Способ применяется в мелкосерийном производстве.

Газовая цементация:

Процесс осуществляется в печах с герметической камерой, наполненной газовым карбюризатором.

Атмосфера углеродосодержащих газов включает азот, водород, водяные пары, которые образуют газ-носитель, а также окись углерода, метан и другие углеводороды, которые являются активными газами.

Глубина цементации определяется температурой нагрева и временем выдержки.

Преимущества способа:

- возможность получения заданной концентрации углерода в слое (можно регулировать содержание углерода, изменяя соотношение составляющих атмосферу газов);
- сокращение длительности процесса за счет упрощения последующей термической обработки;
- возможность полной механизации и автоматизации процесса;
- экологичность процесса.

Недостатком газовой цементации является ее высокая стоимость, но учитывая серийное и массовое производство, в котором проводят данный вид обработки, затраты оправдываются в несколько раз. Еще одним недостатком является его высокая технологичность, что требует высококвалифицированного персонала.

Структура цементованного слоя представлена на рис.2.13.



Рис.2.13 Структура цементованного слоя

На поверхности изделия образуется слой заэвтектоидной стали, состоящий из перлита и цементита. По мере удаления от поверхности, содержание углерода снижается и следующая зона состоит только из перлита. Затем появляются зерна феррита, их количество, по мере удаления от поверхности увеличивается, и, наконец, структура становится отвечающей исходному составу.

В результате цементации достигается только выгодное распределение углерода по сечению. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая термообработка. Все изделия подвергают закалке с низким отпуском. После закалки цементованное изделие приобретает высокую твердость и износостойкость, повышается предел контактной выносливости и предел выносливости при изгибе, при сохранении вязкой сердцевины.

Комплекс термической обработки зависит от материала и назначения изделия.

Графики различных комплексов термической обработки представлены на рис.2.14.

Если сталь наследственно мелкозернистая или изделия неотвественного назначения, то проводят однократную закалку с температуры $820...850^{\circ}\text{C}$ (рис.2.14, б). При этом обеспечивается получение высокоуглеродистого мартенсита в цементованном слое, а также частичная перекристаллизация и измельчение зерна сердцевины.

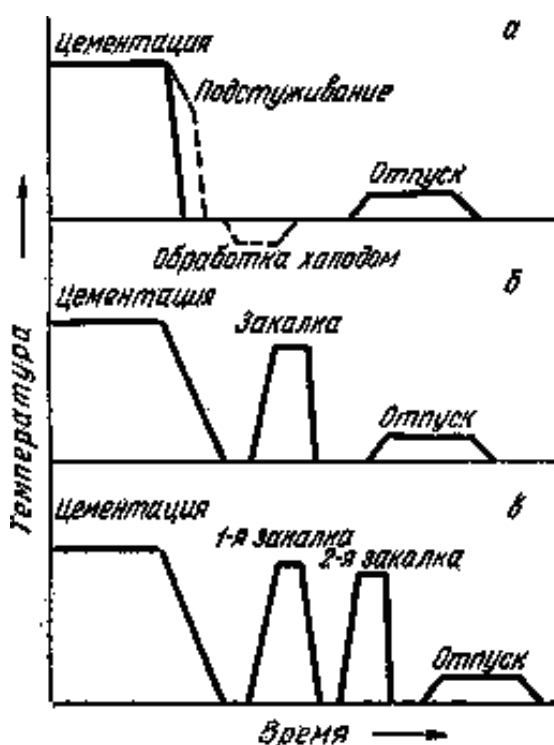


Рис.2.14 Режимы термической обработки цементованных изделий

При газовой цементации изделия по окончании процесса подстуживают до этих температур, а затем проводят закалку (не требуется повторный нагрев под закалку) (рис.2.14, а).

Для удовлетворения особо высоких требований, предъявляемых к механическим свойствам цементованных деталей, применяют двойную закалку (рис.2.14, в).

Первая закалка (или нормализация) проводится с температуры $880...900^{\circ}\text{C}$ для исправления структуры сердцевины.

Вторая закалка проводится с температуры $760...780^{\circ}\text{C}$ для получения мелко игольчатого мартенсита в поверхностном слое.

Завершающей операцией термической обработки всегда является низкий отпуск, проводимый при температуре $150...180^{\circ}\text{C}$. В результате отпуска в поверхностном слое получают структуру мартенсита отпуска, частично снимаются напряжения.

Цементации подвергают зубчатые колеса, поршневые кольца, червяки, оси, ролики.

Цементация в кипящем слое:

Цементация в слое мелких частиц (0,05-0,20 мм) корунда, через который проходит восходящий поток эндогаза с добавкой метана (кипящий слой). При прохождении газа частицы становятся подвижными и слой приобретает некоторые свойства жидкости (псевдооживленный слой).

В последние годы разработан процесс цементации в кипящем слое в атмосфере эндогаза с добавкой метана. Кипящий слой представляет собой гетерогенную систему, в которой за счет проходящего потока газа через слой мелких (0,05-0,20 мм) частиц (чаще корунда) создается их интенсивное перемешивание, что внешне напоминает кипящую жидкость. Частицы корунда располагаются на газораспределительной решетке печи. При определенной скорости прохождения восходящего потока газа (выше критической скорости) частицы становятся подвижными и слой приобретает некоторые свойства жидкости (псевдооживленный слой). В этом состоянии сцепление между частицами нарушено, они становятся подвижными и опираются не на решетку, а на поток газа. Достоинствами процесса цементации в кипящем слое являются: сокращение длительности процесса вследствие большой скорости нагрева и высокого коэффициента массоотдачи углерода; возможность регулирования углеродного потенциала атмосферы в рабочей зоне печи; уменьшение деформации и коробления обрабатываемых деталей за счет равномерного распределения температуры по всему объему печи. Процесс цементации в кипящем слое может быть использован на заводах мелкосерийного и единичного производства.

Цементация в растворах электролитов:

Использование анодного эффекта для диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности углеродом в многокомпонентных растворах электролитов, один из видов скоростной электрохимико-термической обработки (анодный электролитный нагрев) малогабаритных изделий. Анод-деталь при наложении постоянного напряжения в диапазоне от 150 до 300 В разогревается до температур 450–1050°C. Достижение таких температур обеспечивает сплошная и устойчивая парогазовая оболочка, отделяющая анод от электролита. Для обеспечения цементации в электролит кроме электропроводящего компонента вводят углеродсодержащие вещества-доноры (глицерин, ацетон, этиленгликоль, сахароза и другие).

Цементация в пастах:

Цементация с нанесением на науглероживаемую металлическую поверхность углеродосодержащих материалов в виде суспензии, обмазки или шликера, сушкой и последующим нагревом изделия ТВЧ или током

промышленной частоты. Толщина слоя пасты должна быть в 6-8 раз больше требуемой толщины цементованного слоя. Температуру цементации устанавливают 910-1050°C.

Азотирование стали

При азотировании изделия загружают в герметичные печи, куда поступает аммиак NH_3 с определенной скоростью. При нагреве аммиак диссоциирует по реакции: $2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2$. Атомарный азот поглощается поверхностью и диффундирует вглубь изделия.

Фазы, получающиеся в азотированном слое углеродистых сталей, не обеспечивают высокой твердости, и образующийся слой хрупкий.

Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан. Нитриды этих элементов дисперсны и обладают высокой твердостью и термической устойчивостью.

Типовые азотируемые стали: *38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ*.

Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от ряда факторов, из которых основными являются температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали (рис.2.15).

Из рис.2.15 видно, что белая полоска справа — слой так называемой эпсилон-фазы, наиболее насыщенной азотом. Это — самая ценная часть азотированного слоя. Иглы в зернах феррита — нитриды железа.

В зависимости от условий работы деталей различают азотирование:

- для повышения поверхностной твердости и износостойкости;
- для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное азотирование).

В первом случае процесс проводят при температуре 500...560°C в течение 24...90 часов, так как скорость азотирования составляет 0,01 мм/ч. Содержание азота в поверхностном слое составляет 10...12 %, толщина слоя (h) – 0,3...0,6 мм. На поверхности получают твердость около 1000 НВ. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака.

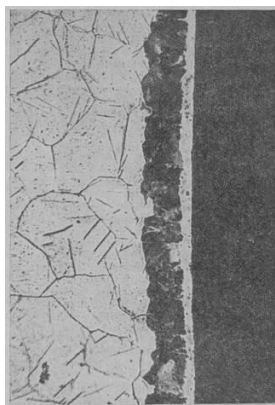


Рис.2.15 Структура азотированного слоя простого железа.

Значительное сокращение времени азотирования достигается при ионном азотировании, когда между катодом (деталью) и анодом (контейнерной установкой) возбуждается тлеющий разряд. Происходит ионизация азотосодержащего газа, и ионы бомбардируя поверхность катода, нагревают его до температуры насыщения. Катодное распыление осуществляется в течение 5...60 мин при напряжении 1100...1400 В и давлении 0,1...0,2 мм рт.ст., рабочее напряжение 400...1100 В, продолжительность процесса до 24 часов.

Антикоррозионное азотирование проводят и для легированных, и для углеродистых сталей. Температура проведения азотирования – 650...700⁰С, продолжительность процесса – 10 часов. На поверхности образуется слой ϵ — фазы толщиной 0,01...0,03 мм, который обладает высокой стойкостью против коррозии (ϵ – фаза – твердый раствор на основе нитрида железа Fe_3N , имеющий гексагональную решетку).

Азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную механическую и термическую обработку (закалка с высоким отпуском).

После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

Низкотемпературная ТМО стали

Дает более высокое упрочнение по сравнению с ВТМО, но не снижает склонности стали к отпускной хрупкости. Кроме того, она требует высоких степеней деформации (75...95 %), поэтому требуется мощное оборудование.

Низкотемпературную термомеханическую обработку применяют к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит, которые имеют вторичную стабильность аустенита (рис.2.16, б).

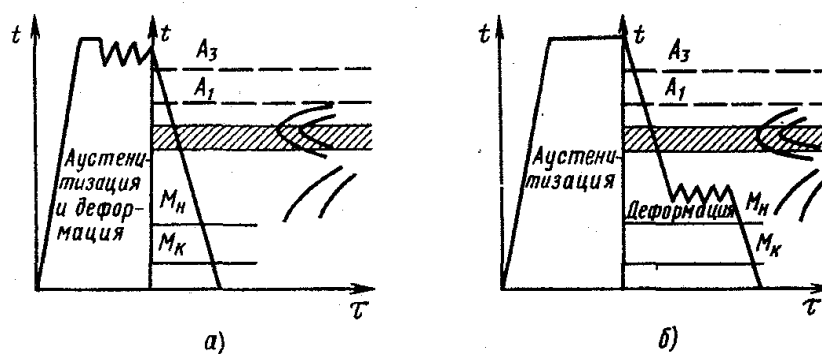


Рис.2.16 Схема термомеханической обработки стали:
а – ВТМО; б – НТМО (заштрихованная зона – интервал температур рекристаллизации)

Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два – четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения.

Высокотемпературная ТМО стали

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния выше A_3 (рис.2.16, а). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке.

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладоломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

Контрольные вопросы и задания

1. Какое превращение происходит в сплавах при температурах A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_m ?
2. Каков механизм образования аустенита при нагреве стали?
3. Как влияет на механические свойства стали рост зерна при термической обработке?
4. Каковы механизмы и температурные районы образования структур перлитного типа (перлита, сорбита, троостита) и бейнита?
5. В чем сущность и особенности мартенситного превращения?
6. В чем сущность превращений, происходящих при отпуске?
7. Что такое прокаливаемость стали и в чем ее технологическое значение?
8. В чем сущность и особенности термомеханической обработки стали?
9. Дайте краткую характеристику специальным видам закалки.
10. Что такое точки Чернова и как они располагаются на диаграмме состояния «железо-цементит»?

РАЗДЕЛ III

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лекция 8

Общие требования к конструкционным материалам.

Классификация конструкционных материалов.

План лекции

1. Классификация конструкционных материалов.
2. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам.
3. Конструкционные стали.
4. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей.
5. Маркировка конструкционных сталей.
6. Материалы с особыми технологическими свойствами.
7. Материалы с высокой твердостью поверхности.

Классификация конструкционных материалов

Конструкционными называют материалы, предназначенные для изготовления деталей машин, приборов, инженерных конструкций, подвергающихся механическим нагрузкам.

Перечень конструкционных материалов, применяемых в машино- и приборостроении, велик, и классифицировать их можно по разным признакам. Большинство из них, например, стали, чугуны, сплавы на основе меди и легких металлов, являются универсальными. Они обладают многочисленными достоинствами и используются в различных деталях и конструкциях.

Наряду с универсальными применяют конструкционные материалы определенного функционального назначения: жаропрочные, материалы с высокими упругими свойствами, износостойкие, коррозионно- и жаростойкие.

Конструкционные материалы соответственно классифицируют по свойствам, определяющим выбор материала для конкретных деталей и конструкций. Каждая группа материалов оценивается соответствующими критериями, обеспечивающими работоспособность в эксплуатации.

Универсальные материалы рассматриваются в нескольких группах, если возможность применения их определяется различными критериями.

Исходя из физической природы и свойств, материалы классифицируют на 7 основных групп:

- 1) Материалы, с особыми технологическими свойствами;
- 2) Износостойкие материалы;
- 3) Материалы с высокими упругими свойствами;
- 4) Материалы, обеспечивающие жесткость, статическую и циклическую прочность (стали).
- 5) Материалы с малой плотностью;
- 6) Материалы с высокой удельной прочностью;
- 7) Материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды.

Требования, предъявляемые к конструкционным материалам

Детали машин и приборов характеризуются большим разнообразием форм, размеров, условий эксплуатации. Они работают при статических, циклических и ударных нагрузках, при низких и высоких температурах, в контакте с различными средами. Эти факторы определяют требования к конструкционным материалам.

Выбор марки материала для изготовления деталей определяется:

- условиями работы;
- величиной и характером напряжений, возникающих в процессе эксплуатации;
- размерами и формой детали.

Выбранная марка материала должна удовлетворять эксплуатационным, технологическим и экономическим требованиям.

Эксплуатационные требования имеют первостепенное значение, так как должны обеспечить работоспособность, надежность и конструктивную прочность материала.

Конструктивная прочность - это определенный комплекс механических свойств, обеспечивающий длительную и надежную работу материала в условиях его эксплуатации.

Конструктивная прочность определяется четырьмя основными критериями: жесткостью, прочностью, сопротивлением хрупкому разрушению, надежностью.

Жесткость конструкции - структурно не чувствительная характеристика, зависящая только от природы материала (межатомных связей). Показателем жесткости является модуль продольной упругости (E) (модуль жесткости). Обычно в совокупности с E учитывают плотность (γ)

материала и используют критерий удельной жесткости (E/γ), что очень важно в самолетостроении.

Прочность - способность конструкции сопротивляться деформациям и разрушениям. Характеристики прочности определяют в результате статического испытания на растяжение (σ_B ; $\sigma_{0,2}$). Эти характеристики зависят от структуры сплава и термической обработки. Прочность изменяется в широких пределах от 100 до 3500 МПа. Как и в случае жесткости, обычно учитывают плотность материала и оперируют понятиями удельной прочности: σ_B / γ ; $\sigma_{0,2} / \gamma$.

По этим показателям высшие значения имеют титановые сплавы.

Модуль упругости E и предел текучести $\sigma_{0,2}$ являются расчетными характеристиками, определяющими допустимую нагрузку.

Надежность - свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки (в часах). Главный показатель надежности - запас вязкости материала.

Сопротивление материала хрупкому разрушению является важнейшей характеристикой, определяющей надежность.

Долговечность - свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния (невозможность дальнейшей эксплуатации). Долговечность зависит от условий эксплуатации и определяется:

- сопротивлением износу при трении;
- состоянием поверхности;
- коррозионной стойкостью материала.

Важным фактором при выборе марки материала являются также экономические требования, такие как невысокая стоимость. Для выполнения данного условия необходимо, прежде всего, рассматривать химический состав и механические свойства материала.

Таким образом, качественный конструкционный материал должен удовлетворять комплексу требований.

Конструкционные стали

Детали машин и приборов, передающих нагрузку, должны обладать жесткостью и прочностью, достаточными для ограничения упругой и пластической деформации, при гарантированной надежности и долговечности. Из многообразия материалов в наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют сплавы на основе железа – чугуны и особенно стали. Стали обладают высоким, наследуемым от железа, модулем упругости ($E = 210$ ГПа).

Высокую жесткость стали сочетают с достаточной статической и циклической прочностью, значение которой можно регулировать в широком

диапазоне изменением концентрации углерода, легирующих элементов и технологии термической и химико-термической обработки.

Конструкционные стали составляют большую группу сталей, предназначенных для изготовления строительных конструкций, деталей машин, узлов и агрегатов машин и т.п. Их можно разделить на несколько подгрупп: стали с высокой удельной прочностью, стали с высоким модулем упругости, стали с улучшенной обрабатываемостью резанием, жаростойкие и коррозионно-стойкие стали, износостойкие стали, стали общего назначения. Различное назначение сталей и их классификация зависит от наличия и количества легирующих элементов.

По структуре стали делят на: 1) доэвтектоидные (с избыточным ферритом), 2) эвтектоидные (перлитные), 3) аустенитные, 4) ферритные.

По назначению стали делят на: машиностроительные и строительные.

По количеству содержания серы и фосфора стали делят на: 1) качественные (содержание серы и фосфора в стали составляет не выше 0,035% каждого); 2) высококачественные (содержание серы и фосфора в стали составляет не выше 0,025% каждого); 3) особовысококачественные (содержание серы не должно превышать 0,015%, а фосфора не выше 0,025%).

Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей

Легирование - целенаправленное изменение состава материала путем введения легирующих элементов для изменения структуры и получения требуемых свойств.

Влияние углерода на свойства сталей показано на рис.3.1.

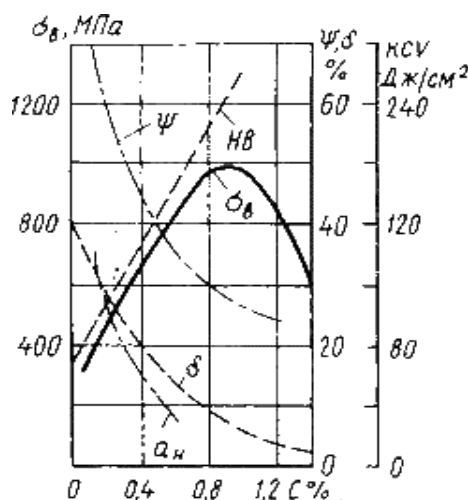


Рис.3.1 Влияние углерода на свойства сталей

С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита.

Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около 1%, а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода повышает порог хладноломкости и снижает ударную вязкость.

Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода ухудшает литейные свойства стали (используются стали с содержанием углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на 4 группы:

1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они являются технологическими примесями.

Содержание марганца не превышает 0,5...0,8 %. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа FeS , так как образует с серой соединение сульфид марганца MnS . Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает 0,35...0,4 %. Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка. Кремний растворяется в феррите и повышает прочность стали, особенно повышается предел текучести, $\sigma_{0,2}$. Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали 0,025...0,045 %. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности σ_s и предел текучести $\sigma_{ж}$, но снижает пластичность и вязкость.

Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладноломкость, уменьшает работу распространения трещин. **Хладноломкость** - повышение хрупкости при пониженных температурах. Повышение содержания фосфора на каждую 0,01 % повышает порог хладноломкости на 20...25°C.

Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость.

Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до 0,10...0,15 %, для улучшения обрабатываемости резанием.

S – уменьшается пластичность, свариваемость и коррозионная стойкость. *P*–искажает кристаллическую решетку.

Содержание серы в сталях составляет $0,025...0,06$ %. Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы FeS , которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления $988^{\circ}C$. При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление *красноломкости*.

Красноломкость – повышение хрупкости при высоких температурах.

Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость α_k и пластичность (δ и ψ), а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* - газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов (FeO , SiO_2 , Al_2O_3) нитридов (Fe_2N), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот *N*, кислород *O*) повышают порог хладноломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катаных заготовках и поковках *флокенов*.

Флокены – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета.

Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при $150...180^{\circ}$, лучше в вакууме $\sim 10^{-2}...10^{-3}$ мм рт. ст.

Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали – легированные сталями.

4. *Случайные примеси*.

Основным легирующим элементом является хром ($0,8...1,2$)%. Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладноломкости хромистых сталей – $(0...-100)^{\circ}C$.

Дополнительные легирующие элементы.

Бор - 0.003%. Увеличивает прокаливаемость, а также повышает порог хладноломкости (+20...-60)°C.

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладноломкости до (+40...-60)°C.

Титан (~0,1%) вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена (0,15...0,46%) в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снижает порог хладноломкости до -20...-120°C. Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве (0.1...0.3) % в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладноломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль (20ХГС, 30ХГСА). Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием. Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в Fe_α происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти атомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода.

Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а также кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее доступную d – электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение d – электронной полосы атома металла, тогда как у металла валентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более 0,59 образуются типичные химические соединения: Fe_3C , Mn_3C , $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_3W_3C – имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее 0,59 образуются фазы внедрения: Mo_2C , WC , VC , TiC , TaC , W_2C . Данные фазы имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

Все элементы, которые растворяются в железе, влияют на температурный интервал существования его аллотропических модификаций, т.е. сдвигают точки A_3 и A_4 по температурной шкале (рис.1.51).

Элементы, которые только растворяются в феррите или цементите, не образуя специальных карбидов, оказывают лишь количественное влияние на процессы превращения. Карбидообразующие элементы вносят не только количественные, но и качественные изменения в кинетику изотермического превращения.

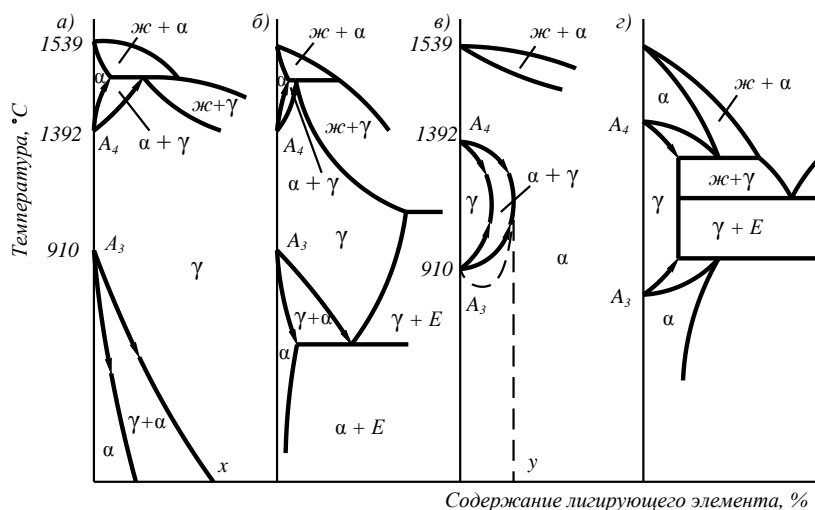


Рис.3.2 Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа:
 а – Ni, Mn (аустенитные); б – Mn; в – V, Si, Al, Cr, W, Mo (ферритные); г – B, Zn, Nb

Легирующие элементы оказывают большое влияние на положение точек S (0,8 % C) и E (2,14 % C) диаграммы «железо-цементит» (рис.3.2):

Ni, Co, W, Cr, Mn снижают, а V, Ti, Nb повышают.

Легирующие элементы в стали могут быть в твердом растворе, карбидной фазе или в виде интерметаллических соединений и влияют на свойства феррита и аустенита по мере увеличения их содержания в сталях

При высоком содержании легирующих элементов часто образуются интерметаллические соединения: Fe_7Mo_6 , Fe_2Mo_6 , Fe_2W , Fe_7W_6 ; силициды: $FeSi$, Fe_3Si , Fe_5Si_3 (η - фаза), $FeCr$ (σ - фаза).

По отношению к углероду легирующие элементы делятся на три группы:

- графитизирующие - Si, Ni, Си, Al;
- нейтральные - Co;
- карбидообразующие (по возрастающей степени сродства к углероду и устойчивости карбидных фаз располагаются в следующем порядке: Fe → Mn → Cr → Mo → W → Nb → V → Zn → Ti).

При малом содержании Mn, Cr, W, Mo карбидообразующие растворяются в цементите и образуют легированный карбид типа $(FeMn)_3C$; $(FeCr)_3C$. Более сильные карбидообразующие - Ti, Zn, V, Nb - образуют специальные карбиды (TiC, NbC, ZnC, VC).

Карбиды в легированных сталях можно разделить на две группы: карбиды типа (M - металл) - M_3C_2 , M_7C_3 , $M_{23}C_6$ и M_6C (M_4C), которые легко растворяются в аустените при нагреве и карбиды типа MC (TiC, NbC, ZnC), W_2C и Mo_2C , являющиеся фазами внедрения и которые в реальных условиях не растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой температурой плавления и высокой твердостью. Чем дисперснее карбиды, тем выше прочность и твердость.

Маркировка конструкционных сталей

К конструкционным сталям относят следующие группы сталей:

- стали общего назначения обыкновенного качества;
- качественные углеродистые стали;
- марганцовистые стали;
- литейные стали;
- легированные стали;
- автоматные стали;
- шарикоподшипниковые стали;
- рессорно – пружинные стали;
- специальные стали (жаропрочные, жаростойкие и коррозионно-стойкие стали).

Многие стали из перечисленных групп относятся к материалам с особыми свойствами, например, автоматные и литейные стали относят к материалам с особыми технологическими свойствами, шарикоподшипниковые стали к материалам с высокими упругими свойствами.

В черной металлургии 80% от общего объема всех сталей применяют углеродистые стали. Они дешевы, обладают удовлетворительными механическими свойствами с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением. Однако они менее технологичны при термической обработке. Из-за высокой критической скорости закалки их охлаждают только в воде, что вызывает значительные деформации и коробления деталей.

Маркируются конструкционные стали набором цифр и букв, указывающих на содержание основных легирующих элементов.

1) Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380):

Стали содержат повышенное количество серы и фосфора. Стали данной группы предназначены для изготовления различных конструкций, слабонагруженных деталей машин и приборов. Этим сталям отдают предпочтение в тех случаях, когда работоспособность деталей и конструкций определяется жесткостью. Для них геометрические размеры часто оказываются такими, что их прочность заведомо обеспечивается. Поэтому на выбор стали большое влияние оказывает не столько механические, сколько технологические свойства.

Примеры: сварные рамы, фермы и др. строительные металлоконструкции. Специализированное назначение: котло-, мосто-судостроение. Сельскохозяйственное машиностроение: валки, оси, рычаги, детали, изготавливаемые холодной штамповкой и т.д.

Ст5, Ст6 – обладающие большей прочностью, предназначены для рельсов, железнодорожных колес, а также валов, шкивов, шестерен и других деталей грузоподъемных и сельскохозяйственных машин.

Маркируются Ст2, Ст.2кп, БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали.

Цифры от **0** до **6** - это условный номер марки стали. С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали.

По гарантиям при поставке существует три группы сталей: **А**, **Б** и **В**. Для сталей группы А при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей группы Б гарантируется химический состав. Для сталей группы В при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Индексы **кп**, **пс**, **сп** указывают степень раскисленности стали: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная.

2) Качественные углеродистые стали:

Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

Стали, содержащие углерода до 0,25%, называют низкоуглеродистыми. Стали с содержанием $C \leq 0,1\%$ малопрочные, высокопластичные; из-за способности к глубокой вытяжке их применяют для холодной штамповки, изготавливают шайбы, прокладки, кожа и т.д.

Стали с содержанием углерода в интервале 0,15 – 0,25% называют также цементуемыми. Они предназначены для деталей небольшого размера, например, кулачки, толкатели, малонагруженные шестерни и т.д. Сердцевина сталей из-за низкой прокаливаемости упрочняется слабо. Углеродистые стали хорошо штампуются и свариваются, из них изготавливают крепежные детали, втулки, штуцера и т.п., а также детали для котло-, турбостроения – трубы перегревателей, змеевики, работающие при $T = -40$ до 425°C .

Стали с содержанием углерода 0,30 – 0,55 % называются среднеуглеродистыми, обладающие большой прочностью, но меньшей пластичности. Стали данной группы подвергают термическому улучшению, поэтому их еще называют улучшаемыми, структура которых после такой термической обработки состоит из сорбита. Полеченной структуре соответствует малая чувствительность к концентраторам напряжения. В результате нормализации и поверхностной закалки (с твердостью на поверхности 40-58 HRC) из-за низкой прокаливаемости стали (до 12 мм) из них изготавливают детали небольших размеров, от которых требуется однородность свойств по всему сечению, то есть, сквозная прокаливаемость – шатуны, зубчатые колеса, маховики, оси и т.п. Для валов, осей и прочих деталей, испытывающих главным образом напряжения изгиба и кручения, толщина упрочненного слоя должна быть не менее половины радиуса детали (до 30 мм), поэтому для сталей рекомендуют проводить закалку ТВЧ.

Для изготовления более крупных деталей (кулачки, шейки коленчатых валов, распределительных валиков, зубья шестерён, длинных валов, ходовых винтов и т.п.), работающих при невысоких циклических и контактных нагрузках, используют стали 40,45,50.

Конструкционные качественные углеродистые стали маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной. Также в конце марки могут указываться легирующие элементы заглавными буквами, например, **08Ю**. Количество легирующих элементов не высокое.

Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45.

Содержание углерода, соответственно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

Качественные стали поставляются в виде проката, поковок и других полуфабрикатов с гарантированными химическим составом и механическими свойствами (после нормализации).

3) Марганцовистые стали:

Марганцовистые стали относят к низколегированным сталям, которые по содержанию углерода делятся на низкоуглеродистые и среднеуглеродистые. Низкоуглеродистые стали содержат до 0,22% углерода и до 3-4% легирующих элементов, главным из которых является марганец. Она используется в виде листов, сортового фасонного проката в строительстве и машиностроении, хорошо сваривается. Марочный состав сталей данной подгруппы насчитывает 28 марок, например, 09Г2, 12ГС, 15ГФ и пр.

Среднеуглеродистая марганцовистая сталь содержит до 0,45% углерода и количество легирующих элементов не должно превышать 5%.

Маркировка марганцовистых сталей осуществляют по такому же принципу, что и маркировку углеродистых сталей. Буква **Г** в марке стали после численного содержания углерода в сотых долях процента указывает на повышенное содержание марганца.

4) Легированные стали:

В соответствии с ГОСТ 4543-71 наименования таких сталей состоят из цифр и букв. Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь (см. таблицу 2).

Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа, при содержании легирующего элемента до 1,5% цифра за соответствующей буквой не указывается. Например, сталь состава С 0.09 - 0.15%, Cr 0.4 - 0.7%, Ni 0.5 - 0.8% называется 12ХН, а сталь состава С 0.27 - 0.34%, Cr 2.3 - 2.7%, Mo 0.2 - 0.3%, V 0.06 - 0.12% - 30ХЗМФ. Для того, чтобы показать, что в стали ограничено содержание серы и фосфора ($S < 0.03\%$, $P < 0.03\%$) и сталь относится к группе высококачественных в конце ее обозначения ставят букву А.

Их применяют после закалки и высокого отпуска (улучшения), поскольку в отожженном состоянии они по механическим свойствам практически не отличаются от углеродистых.

Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов. Стали, легированные Si, Mn, Ni имеют высокую твердость феррита. Упрочняя феррит и мало влияя на пластичность, большинство л.э. снижают КСЧ, МДж/м², особенно если их концентрация выше 1%. Исключение составляет Ni.

Легированные стали производят:

- качественными;
- высококачественными;
- особо высококачественными.

Прокаливаемость легированных сталей является важнейшим фактором, способствующим повышению конструкционной прочности.

Наибольший эффект упрочнения достигается комплексным легированием Cr + Mo, Cr + Ni, Cr + Mo + Ni. Возможность менее резкого охлаждения при закалке таких деталей уменьшает в них внутренние напряжения и опасность образования трещин.

Большинство легирующих элементов в сталях измельчают зерно, что способствует повышению работоспособности развития трещины и снижению порога хладноломкости. Наиболее сильно понижает порог хладноломкости и увеличивает сопротивление распространению трещины Ni. Остальные легирующие элементы, за исключением небольших добавок Cr, Mn, Mo, повышают порог хладноломкости.

Таким образом, для обеспечения высокой конструкционной прочности количество легирующих элементов в стали должно быть рациональным. После достижения необходимой прокаливаемости избыточное легирование (за исключением никеля) снижает трещиностойкость и облегчает хрупкое разрушение.

Легированные стали делятся на улучшаемые, цементуемые, для азотирования, для поверхностной закалки и ряд других.

Улучшаемые стали содержат 0,3...0,5 % углерода, до 1 % хрома и до 5 % других легирующих элементов, которые должны обеспечивать сквозную прокаливаемость изделий и заданный уровень свойств по всему сечению, так как все улучшаемые стали подвергаются закалке и высокотемпературному отпуску. Для измельчения зерна вводятся по 0,1 % титана, ванадия, ниобия, циркония. Для уменьшения хрупкости, стали легируются молибденом или вольфрамом. Для изготовления деталей сложных конфигураций в стали вводится никель.

Цементуемые стали содержат углерода 0,1...0,3 %. Для повышения твердости цементованного слоя и увеличения глубины прокаливаемости в стали вводятся хром и бор, а для изделий с большими сечениями дополнительно легируются хромом и никелем. Для уменьшения стоимости цементуемых сталей никель иногда заменяется марганцем.

Для поверхностной закалки применяются стали с содержанием 0,4...0,5 % углерода и 1,5...2 % хрома.

Азотированию подвергаются стали с наличием 0,3...0,4 % углерода легированные хромом и молибденом (1,7...2,1 % каждого). Кроме этих элементов, в стали зачастую вводятся дополнительно алюминий или титан,

которые образуют в насыщенном азотом слое очень твердые и химически прочные нитриды.

Особовысококачественные стали, которые подвергались специальному переплаву, обеспечивающему эффективную очистку от сульфидов и оксидов, обозначаются добавлением в конце наименования через тире буквы: Ш – электрошлаковый переплав, Эл – электронно-лучевой переплав, ВД – вакуумно-дуговой переплав, ПД – пламенно-дуговой переплав, ВИ – вакуумно-индукционная плавка, ШД – электрошлаковый и вакуумно-дуговой переплав, ШЛ – электронно-лучевой и электрошлаковый переплав.

Таблица 2 - Обозначения легирующих элементов

Легирующий элемент	Обозначение элемента	Легирующий элемент	Обозначение элемента
Хром	Х	Никель	Н
Марганец	Г	Кобальт	К
Вольфрам	В	Бор	Р
Кремний	С	Ниобий	Б
Алюминий	Ю	Цирконий	Ц
Медь	Д	Фосфор	П
Титан	Т	Селен	Е
Ванадий	Ф	Редкоземельные металлы	Ч
Молибден	М	Азот	А (если находится в середине наименования)

Конструкционная легированная сталь используется для изготовления различных улучшаемых деталей; втулок, шестерней, обойм, гильз, дисков плунжеры, других деталей, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости.

Материалы с особыми технологическими свойствами

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуют их способность поддаваться различным методам горячей и холодной обработки для получения определённой формы, размеров и свойств.

К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся литейные свойства, ковкость, свариваемость, обрабатываемость режущими инструментами, прокаливаемость.

1) Сталь с улучшенной обрабатываемостью резанием:

Обрабатываемость сталей зависит от их структуры и химического состава. Крупнозернистая сталь из-за пониженной вязкости лучше обрабатывается резанием, чем мелкозернистая. Обрабатываемость углеродистых сталей ухудшается с увеличением содержания в них углерода.

Для улучшения обрабатываемости сталей в них допускается повышенное содержание серы, а также вводится свинец, селен, другие элементы.

Особое значение свойств обрабатываемости резанием у стали имеет для массового производства, где широко применяют автоматические линии.

Обрабатываемость оценивается:

1. интенсивностью изнашивания режущего инструмента;
2. максимально допустимой скоростью резания, соответствующей определённой величине износа или заданной стойкости инструмента;
3. чистотой поверхности резания (налипание стружки);
4. формой стружки и лёгкостью её отвода.

Обрабатываемость стали зависит от её механических свойств, теплопроводности, микроструктуры и химического состава.

Особенно плохой обрабатываемостью отличаются аустенитные стали, которые кроме высокой пластичности и вязкости имеют пониженную теплопроводность. Выделяющая при их обработке теплота концентрируется в зоне резания, снижая стойкость инструмента.

Повышение обрабатываемости резанием достигается технологическими и металлургическими приёмами.

Технологические приемы заключаются в проведении термической обработки стали - нормализация с высоких температур, укрупняют зерно. Низкоуглеродистые стали подвергаю холодной пластической деформации.

Металлургические приемы предусматривают введение в конструкционную сталь серы, фосфора, селена (Е), кальция (Ц), свинца (С), которые образуют различные включения. А последние создают как бы внутреннюю смазку, которая в зоне резания снижает трение между инструментом и стружкой, а также облегчает её измельчение.

Такие стали называют *автоматными* и маркируют буквой А, затем стоит цифра, указывающая на содержание углерода в сотых долях процента. Автоматные стали могут быть углеродистыми и легированные, поэтому в маркировке стали могут присутствовать буквы С, Е, Г, Х, Н, М, которые показывают на содержание легирующих элементов, улучшающих обрабатываемость стали резанием (табл.2).

Автоматные сернистые А11, А12, А30, А35, А40Г – для снижения красноломкости в них увеличивают количество марганца (Г).

Недостатками автоматных сталей является понижение вязкости, пластичности и особенно сопротивления усталости в поперечном направлении прокатки, низкая коррозионная стойкость.

Применяют автоматные стали для изготовления крепёжных деталей, а также малонагруженных деталей сложной формы, к которым предъявляются требования высокой точности размеров и чистоты поверхности.

Автоматные свинцовосодержащие углеродистые АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2 и легированные АС12ХН, АС14ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС38ХГМ, АС40ХГНМ.

По обрабатываемости эти стали заметно превосходят сернистые. Введение свинца (С) повышает скорость резания на 30-40% и в 2-7 раз увеличивает стойкость инструмента при сохранении принятой скорости резания. Такие стали применяют на автозаводах для изготовления многих деталей двигателя.

Автоматные селеносодержащие (Е) стали марок А35Е, А45Е (содержание 0,04 – 0,10% Se и 0,06 – 0,12% S) отличаются высокой коррозионной стойкостью, по сравнению с сернистыми сталями. Эти стали в 2 раза снижают расход инструмента и до 30% повышают производительность обработки.

Автоматные кальцийсодержащие (Ц) (0,002 – 0,008% Ca) АЦ20, АЦ30, АЦ40Х, АЦ30ХН предназначены для изготовления термически упроченных деталей, обрабатываемых твердосплавным инструментом при высоких (100 м/мин) скоростях резания.

2) Литейные конструкционные стали:

Во всех литейных сталях условием для обеспечения хорошей раскисленности, а следовательно, и отсутствия газовых раковин является повышенное содержание в них основных раскисляющих элементов марганца и кремния. За счет высокой скорости кристаллизации слитка первичное зерно в литых заготовках очень мелкое, но его можно уменьшить путем модификации стали.

В соответствии с ГОСТ 977-88 литейные стали маркируются по тем же правилам, что и качественные и легированные стали. Отличие заключается лишь в том, что в конце наименований литейных сталей приводится буква Л, например, 15Л, 20Г1ФЛ, 35 ХГЛ и др. Данная группа сталей применяется для изготовления отливок. Использование литейных сталей в условиях климатического холода экономически целесообразно при обеспечении надежности и долговечности отливок. Качество литого металла по сравнению с прокатом или поковками ниже из-за ликвации, более крупного зерна, а также разнородности в различных частях отливки, наличия пор и

раковин. При отрицательных температурах вредное влияние этих факторов усиливается.

3) Чугуны (железоуглеродистые сплавы):

Чугуны, в зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в сплавах, различают белые, серые, высокопрочные и ковкие. Высокопрочные чугуны являются разновидностью серых, но из-за повышенных механических свойств их выделяют в особую группу.

Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны, фазовые превращения которых протекают согласно диаграмме состояния Fe – Fe₃C, подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды (4500-5500 НВ), хрупки и для изготовления деталей машин мало используются. Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны – отливки из серого чугуна со слоем белого чугуна в виде твердой корки на поверхности. Из них изготавливают прокатные валки, лемехи плугов, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа.

В промышленности широко применяют серые, высокопрочные и ковкие чугуны, в которых весь углерод или часть его находится в виде графита. Графит обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, а также высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения. Вместе с тем включения графита снижают прочность и пластичность, так как нарушают сплошность металлической основы сплава. Серые, высокопрочные и ковкие чугуны различаются условиями образования графитных включений и их формой, что отражается на механических свойствах отливок.

Серыми называют чугуны с пластинчатой формой графита.

По химическому составу серые чугуны разделяют на обычные (нелегированные) и легированные. Обычные серые чугуны – сплавы сложного состава, содержащие основные элементы: Fe-C-Si и постоянные примеси: Mn, P, S. В небольших количествах в обычных чугунах может содержаться Cr, Ni и Cu, которые попадают из руды. Почти все эти элементы влияют на условия графитизации, количество графитных включений, структуру металлической основы и, как следствие, свойства чугуна.

Углерод оказывает определяющее влияние на качество чугуна, изменяя количество графита и литейные свойства. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита в чугуне и тем ниже его механические свойства.

Кремний обладает сильным графитизирующим действием; способствует выделению графита в процессе затвердевания чугуна и разложению выделившегося цементита.

Марганец затрудняет графитизацию чугуна, несколько улучшает его механические свойства, особенно в тонкостенных отливках.

Сера – вредная примесь. Она ухудшает механические и литейные свойства чугунов: понижает жидкотекучесть, увеличивает усадку и повышает склонность к образованию трещин.

Фосфор в количестве до 0,3 % растворяется в феррите. При большей концентрации он образует с железом и углеродом тройную «фосфидную» эвтектику. Она имеет низкую температуру плавления (950°C), что увеличивает жидкотекучесть чугуна, но дает высокую твердость и хрупкость.

Таким образом, степень графитизации в чугуне возрастает с увеличением содержания углерода и кремния.

Кроме химического состава, структура чугуна и его свойства зависят от технологических факторов, главным из которых является скорость охлаждения. С уменьшением скорости охлаждения увеличивается количество графита, с увеличением – количество химически связанного углерода.

Ухудшая механические свойства, графит в то же время придает чугуну ряд ценных свойств. Он измельчает стружку при обработке резанием, оказывает смазывающее действие и, следовательно, повышает износостойкость чугуна, придает ему демпфирующую способность. Кроме того, пластинчатый графит обеспечивает малую чувствительность чугуна к дефектам поверхности. Благодаря этому сопротивление усталости деталей из чугуна соизмеримо со стальными деталями.

В чугунах с высоким содержанием кремния при медленном охлаждении отливки первичная кристаллизация происходит в соответствии со стабильной диаграммой Fe – C (рис. 1.44); в этом случае графит появляется непосредственно из жидкой фазы. С увеличением скорости охлаждения создаются условия для первичной кристаллизации в соответствии с метастабильной диаграммой Fe – Fe₃C (рис. 1.44); из жидкой фазы выделяется цементит, а графит образуется вследствие его распада при дальнейшем охлаждении.

Чем крупнее и прямолинейнее форма графитовых включений, тем ниже сопротивление серого чугуна разрыву. И, наоборот, чем мельче и разобоченнее графитовые включения, тем меньше их отрицательное влияние.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида.

Серый перлитный со структурой (рис.3.3, а) перлит + графит. В этом чугуне количество связанного углерода составляет $\approx 0,8\%$.

Серый ферритно-перлитный со структурой (рис.3.3, б) феррит + перлит + графит. Количество связанного углерода в нем менее 0,8 %.

Серый ферритный со структурой (рис.3.3, в) феррит + графит. В этом чугуне весь углерод находится в виде графита.

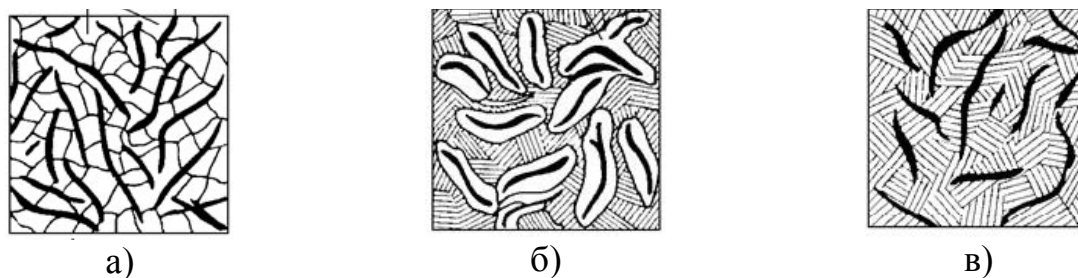


Рис.3.3 Микроструктуры серых чугунов: а – перлитного; б – ферритно-перлитного; в – ферритного

Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической основы и, главным образом, количества, формы и размеров графитных включений. Прочность, твердость и износостойкость чугунов растут с увеличением количества перлита в металлической основе, которая по строению аналогична сталям. Решающее значение графита обусловлено тем, что его пластинки, прочность которых ничтожно мала, действуют как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую основу и ослабляющие ее.

Номенклатура отливок из серого чугуна и их масса разнообразны: от деталей в несколько граммов (например, поршневые кольца двигателей) до отливок в 100 т и более (станины станков). Выбор марки чугунов для конкретных условий работы определяется совокупностью технологических и механических свойств (см.таблицу 3).

Таблица3 - Механические свойства некоторых марок серых чугунов (ГОСТ 1412-85)

Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Структура металлической основы
СЧ 15	150	-	1630-2290	Феррит
СЧ 25	250	-	1800-2500	Феррит + перлит
СЧ 40	400	-	2070-2850	Перлит
СЧ 45	450	-	2290-2890	Перлит

Марка серого чугуна состоит из букв СЧ (серый чугун) и цифры, показывающей значение временного сопротивления при растяжении в кгс/см².

Высокопрочными чугунами называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08 %. Ввиду того, что модифицирование чугунов чистым магнием сопровождается сильным

пироэффектом, чистый магний заменяют лигатурами (например, сплавом магния и никеля).

По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным (рис.3.4).

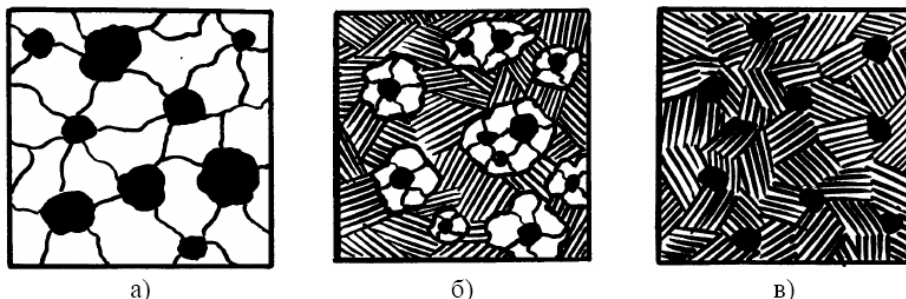


Рис.3.4 Микроструктура высокопрочного чугуна, (х 300): а – ферритный; б - ферритно-перлитный; в – перлитный

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый графит, и поэтому меньше снижает механические свойства основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Маркируют высокопрочные чугуны по пределу прочности и относительному удлинению (см.таблицу 4).

Высокопрочные чугуны применяют в различных отраслях техники, эффективно заменяя сталь во многих изделиях и конструкциях. Из них изготавливают оборудование прокатных станов (прокатные валки массой 12 т), кузнечно-прессовое оборудование (траверса прессы, шабот ковочного молота), в турбостроении – корпус паровой турбины, лопатки направляющего аппарата, в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и условиях изнашивания.

Таблица 4 - Механические свойства некоторых высокопрочных чугунов (ГОСТ 7293-85)

Чугун	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Структура металлической основы
ВЧ 38-17	380	17	1400-1700	Феррит с небольшим количеством перлита
ВЧ 42-12	420	12	1400-2000	
ВЧ 50-7	500	7	1710-2410	
ВЧ 60-2	600	2	2000-2800	Перлит с небольшим количеством феррита
ВЧ 80-2	800	2	2500-3300	
ВЧ 120-2	1200	2	3020-3800	

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. По этой причине графит ковких чугунов называют углеродом отжига. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкий чугун по сравнению с серым обладает более высокой прочностью и пластичностью.

Отливки из белого чугуна, подвергаемые отжигу на ковкий чугун, изготавливают тонкостенными. Они не должны иметь сечение более 50 мм, иначе в сердцевине при кристаллизации выделяется пластинчатый графит, чугун становится непригодным для отжига.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными (рис.3.5).

Принцип их маркировки тот же, что и высокопрочных чугунов : КЧ σ_B - δ (см.таблицу 5).

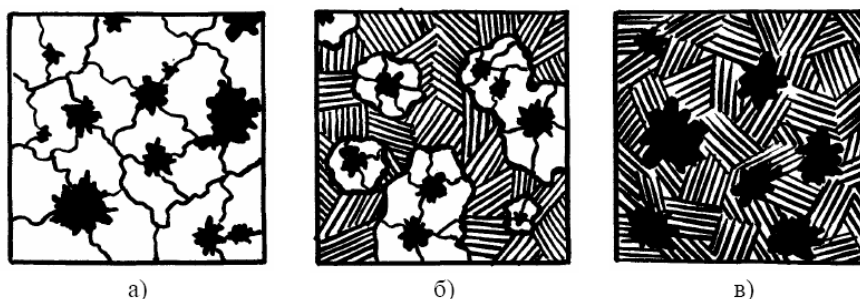


Рис.3.5 Микроструктура ковких чугунов, (x 300): а – ферритный; б – ферритно – перлитный; в – перлитный

Таблица 5 - Механические свойства некоторых марок ковких чугунов (ГОСТ 1215-79)

Чугун	σ_B , МПа	δ , %	НВ	Структура металлической основы
КЧ 30-6	300	6	1000-1630	Феррит + (10-3 %) перлита
КЧ 35-10	350	10	1000-1630	
КЧ 37-12	370	12	1100-1630	
КЧ 45-7	450	7	1500-2070	Перлит + (20-0 %) феррита
КЧ 60-3	600	3	2000-2690	
КЧ 80-1,5	800	1,5	2700-3200	

Из таблицы видно, что ферритные чугуны имеют более высокую пластичность, а перлитные – более высокую прочность и твердость.

Ковкие чугуны нашли широкое применение в сельскохозяйственном, автомобильном и текстильном машиностроении, в судо-, котло-, вагоно- и дизелестроении. Из них изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и

знакопеременные нагрузки. Большая плотность отливок ковкого чугуна позволяет изготавливать детали водо- и газопроводных установок; хорошие литейные свойства исходного белого чугуна – отливки сложной формы.

Недостаток ковких чугунов – повышенная стоимость из-за продолжительного дорогостоящего отжига.

4) Медные сплавы:

Медь и ее сплавы находят широкое применение в электротехнической промышленности, электронике, приборостроении, плавильном производстве, двигателестроении. Основные сплавы, применяемые в конструкциях - латуни и бронзы.

Медь плавится при 1083°C, плотность 8,94 кг/дм³, ГЦК – решетка, диамагнитна, не имеет полиморфизма, отлично электро- и теплопроводна.

Вредные элементы в меди: Bi, Pb, O, H, Se, S, Te и др. придают красноломкость, хрупкость, хладноломкость, трещиностойкость.

Сплавы меди с цинком называются **латунями**. Они содержат до 45% Zn. Сплавы меди с другими элементами таблицы Менделеева (Ag, Al, Au, Cd, Fe, Ni, Pt, P, Sb, Sn, Zn, Be, Pb, Kd и др.) называются бронзами.

Латуни бывают деформируемые (ГОСТ 15527 – 70) и литейные (ГОСТ 17711 – 93).

Деформируемые латуни обозначаются буквой «Л» и цифрой, показывающей содержание меди (Л96, Л63).

Часто латуни легируют Pb, Sn, Fe, Al, Si, Mn, Ni и др. элементами с целью придания определенных свойств. В этом случае ставят после Л обозначение элемента соответственно О, Ж, А, С, Мц, Н и т.д. Числа показывают содержание меди и последующих легирующих элементов.

Например: ЛАНМц59 – 3 – 2 – 2 содержит Cu – 59%, Al – 3%, Ni – 2%, Mn – 2%, Zn – остальное – 34%.

Примечание - Н — сплав нагартованный, упрочненный со степенью пластической деформации 50% (Н) и 40% (Н*); О — отожженный при 600 °С после соответствующей степени деформации; 3 — закаленный, (3+С) — после закалки и старения; (3+Н+С) — закаленный, нагартованный и состаренный; П — литье в песчаные формы; К — литье в кокиль.

Литейные латуни обозначаются буквами ЛЦ с цифрой указывающей на содержание Zn.

Их так же легируют другими элементами, например, Лц23А6Ж2Мц2 содержат: 23% – Zn, 6% – Al, 2% – Fe, 2% – Mn. По сравнению с медью латуни обладают большей прочностью, твердостью, коррозионной стойкостью, жидкотекучестью, отлично обрабатываются давлением (а – латуни) на лист, сорт, трубы, специальный профиль.

Из литейных латуней изготавливают запорную арматуру, задвижки, подшипниковые вкладыши и многое другое.

Бронзы - сплав меди и олова, маркируют буквами **Бр**.

В деформируемых бронзах (ГОСТ 5017- 74,18185-78) после этих букв указывают легирующие элементы, а в конце их содержание.

Например, Бр0Ф6,5-04 содержит 6,5% Sn и 0,4% P, остальное медь. Литейные бронзы маркируются (ГОСТ 613 – 79, 493 – 79) с букв. Бр, затем легирующий элемент с цифрой и т.д. Например, Бр03Ц12С5 содержит Sn – 3%, Zn – 12%, Pb – 5%, основа Cu.

Бронзы оловянистые бывают одно – и двухфазные. С увеличением содержания олова прочность увеличивается в связи с появлением, кроме α – фазы, δ – фазы.

Оловянистые бронзы бывают деформируемые и литейные.

Деформируемые бронзы имеют однофазную α – структуру, их обычно легируют фосфором (до 0,4%). К ним относятся, например, БрОФ65 – 04, БрОЦ4 -3, БрОЦС4 – 4 – 25 и т.д. Для удешевления оловянистой бронзы в нее добавляют 5 – 10% Zn, 3 – 5% Pb, чтобы получать БрОЦС 5 – 5 – 5.

Литейные оловянистые бронзы Бр03Ц12С5, Бр03Ц7С5Н1, Бр05Ц5С5, Бр05С25, Бр010ФЛ и др. обычно имеют двухфазную структуру ($\alpha + \delta$). Они химстойки, антифрикционны. Из них изготавливают запорную арматуру, подшипники скольжения. Фосфор вводят для легирования и лучшего раскисления от CuO, SnO.

Применяют так же алюминиевые бронзы (БрА5), алюминиевожелезистые (БрА9Ж3), алюминиевомарганцовистые (БрАМц 9 – 2), алюминиевожелезоникелиевые БрАЖН10 – 4 – 4), кремнистые (БрК3), кремниймарганцевые (БрКМц3 – 1), бериллиевые (БрБ2), бериллиевоникельтитановые 19), хромовые (БрХ05), хромосеребряные (БрХAg05 – 05), циркониевые (БрЦр07) и т.д. Эти бронзы имеют большую твердость и упругость, особенно бериллиевые.

Алюминиевые бронзы применяются для изготовления втулок, фланцев, шестерен.

Бериллиевая бронза закаливается с 800°C и подвергается старению при 300 – 350°C. Получается твердость 350 – 400 НВ. Она используется для изготовления пружин, мембран, пружинящих контактов и т.д.

Отличным антифрикционным материалом является свинцовистая бронза (БрС30).

Из латуней, как конструкционных сплавов, изготавливают трубки, сильфоны, гибкие гофрированные шланги, мелкий сортовой прокат, лист и т.д.

Из оловянистых бронз изготавливают антифрикционные изделия, подпятники, подшипники скольжения, втулки, пояски поршневых колец.

Высокопрочные алюминиевые бронзы идут на изготовление шестерен, втулок, пружин, подшипников.

Из бериллиевой бронзы изготавливают упругие элементы манометров, приборов, пружины, мембраны.

Хромистые и циркониевые бронзы используются в двигателестроении.

Материалы с высокой твердостью поверхности

К материалам с высокой твердостью поверхности или износостойким материалам относят так называемые антифрикционные материалы на металлической и неметаллической основе, комбинированные материалы, минералы.

К данной группе относят антифрикционные материалы. Антифрикционные материалы могут быть металлическими, неметаллическими и комбинированными. Из неметаллических материалов для изготовления подшипников скольжения используются терморезистивные пластмассы и полимеры (термопластические пластмассы), фторопласты, полиамиды.

Антифрикционные сплавы применяют для изготовления деталей, работающих на истирание в подшипниках трения - скольжения (для их заливки, чтобы уменьшить трение, износ и нагревание пар трения) и втулок.

Антифрикционные сплавы должны обладать низким коэффициентом трения, высокой теплопроводностью, хорошей прирабатываемостью к валу, малой плотностью и хорошими технологическими свойствами. В эксплуатации эти сплавы не должны изнашиваться или вызывать сильный износ вала. В связи с этим строение антифрикционных сплавов должно быть разнородным с мягкой пластичной основой и равномерно распределенными мелкими твердыми частицами. Твердые частицы служат опорой вала и уменьшают трение, а мягкая пластичная основа обеспечивает прирабатываемость. Кроме того, в этой основе (изнашивающейся при трении) образуются мельчайшие каналы, по которым распределяется смазка.

К сплавам для подшипников трения - скольжения относятся: шарикоподшипниковые стали, антифрикционные бронзы, чугуны, сплавы на основе Zn; баббиты, а также металлокерамические материалы.

1) Металлокерамические материалы:

Из металлокерамических материалов изготавливают вкладыши для подшипников, но вследствие их пористости пропитываются маслом и могут длительное время работать без подвода смазки. Из неметаллических материалов для вкладышей применяют текстолит, капрон, нейлон, резину, дерево и др. Неметаллические материалы устойчивы против заедания, хорошо прирабатываются, могут работать без смазки или с водяной смазкой, что имеет существенное значение для подшипников гребных винтов, пищевых машин и т.п.

2) *Медные сплавы (бронзы):*

Медные сплавы с добавками свинца и алюминия (бронзы) также обладают высокими антифрикционными свойствами, что позволяет изготавливать из них подшипниковые вкладыши. Вследствие неоднородности структуры бронз (у оловянных мягкой основой является α -твердый раствор, а твердыми включениями - $\alpha + \delta$ -эвтектид) смазка хорошо удерживается на поверхности вкладыша и подшипники трения-скольжения эффективно смазываются. Более экономичными являются свинцовые бронзы (заменители оловянных бронз). В системе Cu-Pb медь и свинец не растворяются в твердом состоянии, а образуют механическую смесь мягких зерен Pb (мягкая основа) и более твердых зерен Cu (твердые включения). Однако относительно невысокая твердость зерен Cu позволяет достигать хорошей прирабатываемости вкладышей. Свинцовые бронзы типа БрС30 обладают склонностью к ликвации (из-за значительного различия плотности Pb и Cu). В результате легирования свинцовых бронз 2,5% Ni и эффективного охлаждения ликвация понижается и улучшается качества антифрикционных бронз (типа БрСН60-2,5). Благодаря высокой прочности антифрикционных бронз их применяют для изготовления вкладышей к подшипникам трения-скольжения, работающим в особо тяжелых условиях эксплуатации (значительные удельные давления и числа оборотов вала).

3) *Высококачественный серый чугун:*

Для менее ответственных вкладышей в машиностроении применяют высококачественный серый чугун АЧЦ-1 и АЧЦ-2, обладающий перлитной структурой и повышенным содержанием графита (рис.3.6). Графит создает эффект самосмазывающегося подшипника трения-скольжения, впитывает смазку и существенно снижает коэффициент трения. Иногда для вкладышей применяют ковкий или высокопрочный перлитный чугун.

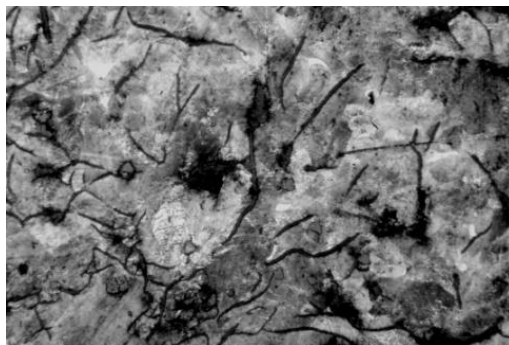


Рис.3.6 Микроструктура перлитного чугуна

Антифрикционные чугуны могут работать в условиях значительных удельных давлений, но при небольших числах оборотов вала вследствие высокого коэффициента трения пары сталь-чугун по сравнению с парами

бронза-сталь или баббит-сталь. Из антифрикционных чугунов изготавливают наиболее экономичные вкладыши.

4) Шарикоподшипниковая сталь:

Ее применяют главным образом для изготовления шариков, роликов и колец подшипников. Но номенклатура марок стали данного вида достаточно широка. Это объясняется разнообразием требований к эксплуатационным свойствам подшипников со стороны традиционных, а также новых отраслей промышленности и сельского хозяйства.

Подшипниковые стали обозначаются так же, как и легированные, только в начале ставится буква **Ш**, после которой обязательно в маркировке стоит буква **Х**, которая указывает на важный легирующий элемент для подшипниковых сталей – хром. Цифры в марке стали указывают на содержание углерода в десятых долях процента. Некоторые марки сталей данной подгруппы в маркировке имеют буквы **Г** и **С** – марганец и кремний. Для сталей, подвергнутых электрошлаковому переплаву, в конце обозначения через тире добавляется буква **Э**.

Наиболее распространённые подшипниковые высокоуглеродистые стали можно классифицировать следующим образом:

стали для подшипников, работающих в обычных условиях (хромистая, хромистая с добавкой молибдена, хромомарганцевокремнистая, хромомарганцевая с добавкой молибдена);

стали для подшипников, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре (коррозионно-стойкая, теплостойкая).

К первым относятся стали марок ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, ШХ4, ШХ6, ШХ9 и т.д. Названия аналогичных марок в других странах - 52100, 100С6, SKF-24, SUJ2 и т.д.

Ко вторым относят стали марок 95Х18-Ш (где буква "Ш" указывает на то, что сталь выплавлена методом электрошлакового переплава, а вакуумно-дуговой переплав стали электрошлакового переплава обозначается "ШД"), 11Х18М-ШД, ЭИ760, ЭИ347 (8Х4В9Ф2) и др.

Кроме перечисленных, широко применяют низкоуглеродистые цементируемые стали и ограниченно - сплавы с особыми физическими свойствами. Выбор стали для конкретного подшипника диктуется его размерами и условиями эксплуатации.

Из хромистой и хромомарганцевокремнистой сталей изготавливают подшипники, работающие в интервале температур 60...300°С. Эксплуатация подшипников при температуре, превышающей 100°С, требует специальной термической обработки деталей, обеспечивающей стабильность размеров, но сопровождающейся снижением твёрдости, а также сопротивления контактной усталости стали.

5) Баббиты:

Баббиты - это легкоплавкие сплавы на основе Pb, Sn, Zn, Al. Делятся на оловянные, свинцовые, кальциевые и алюминиевые. Марки баббитов обозначают буквой Б, справа от которой ставится цифра, показывающая % Sn, или буква, характеризующая специальный элемент, входящий в сплав.

Например, Б83, Б16 обозначают, что баббит содержит 83 и 16% Sn соответственно. БН – сплав содержит никель и т.д.

Таким образом, обозначение условно и не показывает полностью состав сплава. Для упрочнения Sn вводят элементы (например, Sb, Cu), образующие твердые включения. Sb растворяется в Sn с образованием твердого раствора, который имеет большую твердость и прочность, чем чистое Sn, почти при той же пластичности. Кроме того, Sb с Sn образуют химическое соединение $SbSn$ с высокой твердостью.

Медь также образует с Sn химическое соединение Cu_3Sn , т.е. создаются опорные включения высокой твердости. Структура оловянного баббита Б83 (83% Sn) представляет собой твердый раствор (темный), крупные светлые кристаллы $SbSn$ и мелкие светлые кристаллы Cu_3Sn . Sn – дорогой элемент и дефицитный, поэтому оловянный баббит применяют в особо ответственных случаях, например, для вкладышей подшипников сильно нагруженных машин (турбин, дизелей).

Для подшипников более широкого применения (в автомобильных двигателях, прокатных станах, металлообрабатывающих станках) в баббиты в значительных количествах вводят свинец и понижают содержание олова до 5-17%.

В сплавах БН, Б16, БС6 – (олова 5,5-6,5) основой служит уже свинец (рис.3.7). Для упрочнения Pb и создания твердых частиц кроме Sn вводят также Sb и Si. Никель улучшает форму включений и измельчает структуру.



Рис.3.7 Микроструктура свинцовых баббитов

Для подшипников железнодорожного транспорта широкое применение получили баббиты, состоящие почти из одного свинца, в которые вводят небольшое количество щелочноземельных элементов (БКА и БК2). В подобных баббитах основа (Pb) упрочняется натрием, т.к. образуется раствор натрия в свинце. Кальций дает твердое включение в виде химического соединения Pb_3Ca .

Контрольные вопросы и задания

1. В чем отличие серого чугуна от белого?
2. Назовите области применения различных чугунов.
3. Назовите материалы с особыми технологическими свойствами.
4. Что такое легирование и какова его цель?
5. Назовите группы конструкционных качественных сталей.
6. Расшифруйте марки сталей: 35, ВСт.4пс, 25Г, 20Л, АС40Е.
7. Опишите, каким образом маркируют чугуны.
8. Расшифруйте марки чугунов: СЧ 20, ВЧ 40-10, КЧ 30-5.
9. Что такое графит и как он влияет на свойства чугунов?
10. Какие материалы называют антифрикционными и почему? Дать классификацию материалов данной группы.
11. Какие требования предъявляют к конструкционным материалам?

Лекция 8

Конструкционные материалы с особыми свойствами

План лекции

1. Материалы с малой плотностью.
2. Материалы с высокими упругими свойствами.
3. Материалы с высокой удельной прочностью.

Материалы с малой плотностью

Материалы с малой плотностью (легкие материалы) широко применяют в авиации, ракетной и космической технике, а также в автомобилестроении, судостроении, строительстве и других отраслях промышленности. Применение легких материалов дает возможность снизить массу, увеличить грузоподъемность летательных аппаратов без снижения скорости и дальности полета, повысить скорость движения автомобилей, судов, железнодорожного транспорта.

К основным конструкционным легким металлам относятся пластмассы, цветные металлы Be, Al, Li и сплавы на их основе, а также композиционные материалы. Особенно перспективны материалы, которые дают возможность снизить массу конструкций при одновременном повышении их прочности и жесткости.

1) Сплавы на основе алюминия. Маркировка сплавов:

По технологическому признаку алюминиевые сплавы делятся на деформируемые и литейные (рис.3.8).

В свою очередь деформируемые сплавы делят на термически не упрочняемые и упрочняемые алюминиевые сплавы.

Как видно из рис.3.8 различные участки диаграммы соответствуют:

- 1 – сплавам, не упрочняемым термической обработкой;
- 2 – сплавам, упрочняемым термической обработкой;
- 3 – изменению пластичности;
- I – образованию рассеянных пор;
- II- образованию сконцентрированных пор.

К литейным алюминиевым сплавам относятся сплавы алюминия с кремнием (так называемые *силумины*), содержащие 4-13 % Si.

Силумины маркируют: *АЛ2*, *АЛ13* (порядковый номер). Применяют такие сплавы для изготовления литых деталей приборов, корпусов турбонасосов, тонкостенных отливок сложной формы.

В настоящее время вводится единая цифровая маркировка алюминиевых сплавов. Первая цифра обозначает основу всех сплавов (алюминию присвоена цифра 1); вторая – главный легирующий элемент или группа главных легирующих элементов; третья или третья со второй – соответствует старой маркировке; четвертая цифра – нечетная (включая 0) указывает, что сплав деформируемый, четная – что сплав литейный.

Например, сплав Д1 обозначают 1110, Д16 – 1160, АК4 1140, АМг5 – 1550, АК6- 1360 и т. д. Некоторые новые сплавы имеют только цифровую маркировку – 1915, 1925 и др.

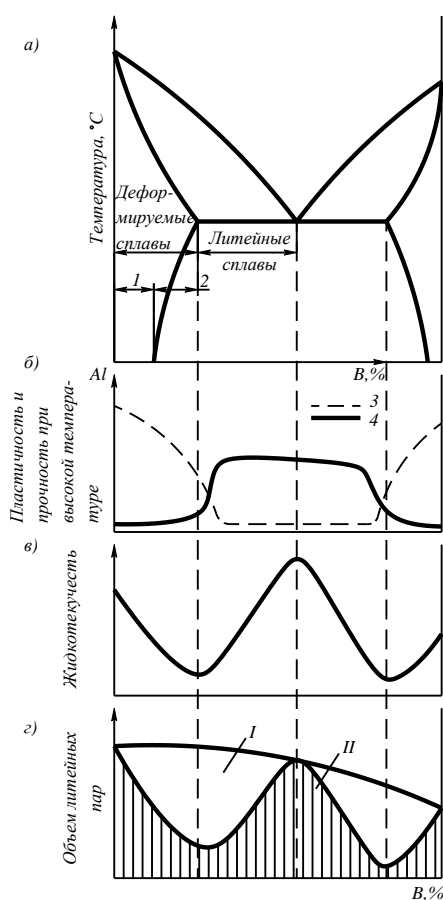


Рис.3.8 Классификация алюминиевых сплавов: по диаграмме состояния (а) и технологические свойства сплавов с ограниченной растворимостью (б – г)

К деформируемым алюминиевым сплавам относятся:

- сплавы *алюминия с марганцем АМц* (АМц3) и сплавы *алюминия с магнием АМг* (АМг6). Марганец и магний повышают прочность алюминия в три раза. Используют эти сплавы при изготовлении сварных емкостей для

горючего, азотной и других кислот, трубопроводов, средненагруженных деталей конструкций;

- **дюралюмины** - сплавы алюминия с медью (2,2-4,8 %), магнием (0,4-2,4 %), марганцем (0,4-0,8 %). Это термически упрочняемые сплавы. Обозначение дюралюминов: Д1, Д6, Д16 (номера условные).

Для защиты дюралюминов от коррозии используют так называемое **плакирование** - покрытие тонким защитным слоем из чистого алюминия;

- сплав **В95** - наиболее прочный алюминиевый сплав (2 % Си, 2,5 % Mg, 0,5 % Mn; 6 % Zn, 0,15 % Cr, 0,5 % Si, 0,5 % Fe) и используется он для изготовления элементов летательных аппаратов;

- **ковочные сплавы** (АК) для деталей, изготавливаемых ковкой и давлением. Обозначение: АК1, АК5 (номер условный).

Эти сплавы обладают способностью сохранять механические свойства при повышенных температурах.

2) **Магниево-алюминиевые сплавы:**

Основными его достоинствами являются сравнительно низкая плотность ($1,74 \text{ г/см}^3$), удовлетворительная устойчивость в воздухе и некоторых других средах, высокая активность в качестве восстановителя в химических процессах, а также хорошая способность сплавляться с другими металлами.

Чистый металлический магний используется в основном в качестве легирующей добавки в сплавах на основе алюминия, титана и некоторых других металлов. В черной металлургии магний довольно широко применяется для глубокой десульфурации чугуна и стали, а также для улучшения свойств чугуна путем сфероидизации графита. Кроме того, магний является незаменимым восстановителем, в первую очередь в производстве титановой губки.

Магниево-алюминиевые сплавы широко используются в современной технике, авиационной, в первую очередь, благодаря низкой плотности, что позволяет существенно снизить вес изделий и конструкций. Сплавы магния химически устойчивы в щелочах, минеральных маслах, фторсодержащих газовых средах. Из-за высокого электрического потенциала эти сплавы используются в качестве протекторов при электрохимической защите стальных конструкций от коррозии в морской воде и подземных сооружениях.

Магниево-алюминиевые сплавы - это сплавы магния с алюминием, марганцем, медью, кремнием, бериллием, цинком, цирконием и т.д.

Маркировка сплавов имеет буквенно-цифровую систему обозначения. Буквы указывают соответствующую группу, а цифры - порядковый номер сплава.

Магниево-алюминиевые сплавы подразделяют на две группы:

1. деформируемые (ГОСТ 14957-79);

2. литейные (ГОСТ 2856-79).

Марки деформируемых сплавов: МА1, МА2, ... МА20.

Например: МА20 означает, марка *МА* - магниевого деформируемого сплава с порядковым номером 20.

Марки литейных сплавов: МЛ3, МЛ4, ... МЛ 19.

Например: МЛ15 означает, марка *МЛ* - магниевого литейного сплава с порядковым номером 15.

Материалы с высокими упругими свойствами

Под действием нагрузки пружины и рессоры упруго деформируются, а после прекращения действия нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму и размеры. Особенностью работы является то, что при значительных статических и ударных нагрузках они должны испытывать только упругую деформацию, остаточная деформация не допускается. Основные требования к пружинным сталям – обеспечение высоких значений пределов упругости, текучести, выносливости, а также необходимой пластичности и сопротивления хрупкому разрушению, стойкости к релаксации напряжений.

Пружины работают в области упругих деформаций, когда между действующим напряжением и деформацией наблюдается пропорциональность. При длительной работе пропорциональность нарушается из-за перехода части энергии упругой деформации в энергию пластической деформации. Напряжения при этом снижаются.

Группа сталей, которая обладает высоким пределом упругости (текучести), называются рессорно-пружинными.

Для получения высоких упругих характеристик рессорно-пружинные стали подвергают закалке с последующим среднетемпературным отпуском для получения в структуре троостита. Для достижения более высоких эксплуатационных характеристик используют стали, легированные кремнием, хромом и ванадием.

Характерным признаком рессорно-пружинных сталей является наличие в них углерода в количестве 0,5...0,8 %. По составу эти стали могут быть как углеродистыми, так и легированными. Рессорно-пружинные стали, прежде всего, должны обладать высоким пределом текучести, что обеспечивает высокие упругие свойства. Это достигается закалкой с последующим средним отпуском. Температура отпуска должна выбираться в пределах 350–500°C (иногда, в зависимости от состава и назначения может достигать и до 600°C). Кроме того, они должны обладать высоким пределом выносливости и достаточно высоким пределом прочности. А вот пластичность этих сталей должна быть пониженной (5–10 % по относительному удлинению и 20–35 %

по относительному сужению). Это связано с тем, что в рессорах и пружинах не допускается пластическая деформация.

Чаще для изготовления рессор и пружин используются кремнистые стали с концентрацией кремния 2 % (50С2, 55С2 и 60С2). Кремний в таких сталях задерживает распад мартенсита при отпуске, что приводит к повышению предела текучести и, стало быть, к повышению упругих характеристик.

К недостаткам этих сталей следует отнести их склонность к обезуглероживанию и образованию поверхностных дефектов в процессе горячей обработки, приводящих к снижению предела выносливости. В целях предотвращения образования указанных дефектов, кремнистые стали дополнительно легируют хромом, марганцем, ванадием, никелем и вольфрамом.

К легированным пружинным сталям относят марки 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР. При одной и той же концентрации углерода, что и у кремнистых сталей, кремний в них заменяется следующими возможными сочетаниями легирующих элементов: хром + марганец, хром + ванадий, хром + марганец + ванадий, хром + марганец + бор. Например, 50ХГ, 50ХФ, 50ХГФ, 55ХГР. Эти стали обладают повышенной вязкостью и менее чувствительны к надрезу. Для повышения эксплуатационных характеристик, особенно для пружин, работающих при длительных знакопеременных нагрузках, назначают обдувку поверхности пружин дробью. Возникающие при этом в поверхностном слое напряжения сжатия приводят к повышению предела выносливости.

Материалы с высокой удельной прочностью

Материалы, применяемые в авиастроении, космонавтике, производстве гидросистем и прочих сложных, ответственных конструкций должны обладать высокими прочностными характеристиками, а именно, удельной прочностью. К материалам с высокой удельной прочностью относят сплавы на основе титана и бериллия, а также композиционные материалы.

1) Титан и сплавы на его основе:

Отличительными особенностями титана являются высокие механические свойства, небольшая плотность и поэтому высокая удельная прочность при 20—25°С и криогенных температурах, хорошая коррозионная стойкость.

Достоинством титановых сплавов по сравнению с титаном являются более высокие прочность и жаропрочность при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности.

По влиянию на полиморфизм титана все легирующие элементы подразделяются на три группы: α -стабилизаторы, β -стабилизаторы и нейтральные элементы.

α -стабилизаторы (Al, O, N) повышают температуру полиморфного превращения, расширяя область твердых растворов на основе Ti_α . Практическое значение для легирования титана имеет только алюминий, так как остальные вызывают снижение пластичности и вязкости титановых сплавов. Алюминий уменьшает плотность и склонность к водородной хрупкости, повышает прочность, жаропрочность, модуль упругости титановых сплавов.

β -стабилизаторы снижают температуру полиморфного превращения титана, расширяя область твердых растворов на основе Ti_β . Они образуют с титаном диаграммы состояния двух типов.

Изоморфные β -стабилизаторы Mo, V, Ta, Nb, имеющие, как и Ti, кристаллическую решетку объемно-центрированного куба, неограниченно растворяются в Ti. Cr, Mn, Fe, Ni, W, Si и другие образуют с титаном диаграммы состояния с эвтектоидным распадом. В некоторых сплавах (Ti—Mn, Ti—Cr, Ti—Fe) при охлаждении в условиях, отличающихся от равновесных, эвтектоидного распада не происходит, а превращение идет по штриховой линии.

Большинство β -стабилизаторов, особенно V, Mo, Mn, Cr, повышают прочность при 20—25°C и отрицательных температурах, жаропрочность и термическую стабильность титановых сплавов, несколько снижая их пластичность.

Нейтральные элементы (Sn, Zr, Hf) мало влияют на температуру полиморфного превращения. Наибольшее практическое значение имеют олово и цирконий. Олово упрочняет титановые сплавы без заметного снижения пластичности, повышает жаропрочность; цирконий увеличивает предел ползучести и длительную прочность.

По технологии изготовления титановые сплавы подразделяются на деформируемые, литейные и порошковые, по механическим свойствам — на сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные, повышенной пластичности. По способности упрочняться с помощью термической обработки они делятся на упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой; по структуре в отожженном состоянии они классифицируются на α -, псевдо- α , $\alpha + \beta$, псевдо- β и β -сплавы.

Для улучшения прочностных и пластических свойств титан легируется различными элементами, содержание которых, в общей сложности, не превышает 10–15 %. Легирующие элементы смещают температуру аллотропического превращения титана. Алюминий, кислород, азот, углерод стабилизируют α -фазу; железо, молибден, тантал, вольфрам, хром, марганец, никель стабилизируют β -фазу;

Титан имеет высокую коррозионную стойкость в большом количестве агрессивных сред, превосходя в этом отношении нержавеющую сталь. При нагреве до 500°C титан становится активным и поглощает из атмосферы газы (кислород, азот, водород), что сильно влияет на его механические свойства. Технический титан маркируется в зависимости от содержания примесей: ВТ1-00 (сумма примесей менее 0,398 %), ВТ1-0 (сумма примесей менее 0,55 %).

Титановые сплавы классифицируются:

- по технологии изготовления на деформируемые, литейные и изготовленные методами порошковой металлургии. Для маркировки деформируемых титановых сплавов используется буквенно-цифровой код:

- ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4 - сплавы, в которых основными легирующими добавками являются алюминий и марганец;

- ВТ5, ВТ5-1, ВТ3-1, ВТ6, ВТ9 и т.д. – сплавы, легированные алюминием или алюминием и вольфрамом.

Стоящие за буквами цифры являются условным порядковым номером.

Особенности маркировки литейных титановых сплавов – наличие буквы *Л* в конце обозначения марки: ВТ5Л, ВТ3-1Л и др.

Для изготовления деталей методом порошковой металлургии используют сплавы ВТ5, ВТ5-1, ОТ4 и др. Порошковые сплавы маркируются так же, как и деформируемые.

Литейные сплавы титана обладают более низкими механическими свойствами, чем соответствующие деформируемые;

- по способу упрочнения на термически упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой;

- по структуре на однофазные α – сплавы (не содержат β -стабилизаторов); псевдо- α - сплавы (коэффициент β -стабилизации не более 0,25); ($a + b$)-сплавы (коэффициент β -стабилизации от 0,3 до 0,9); псевдо- β -сплавы (коэффициент β -стабилизации от 1,4 до 4,4) и β -сплавы (коэффициент β -стабилизации $> 2,5$).

Преимуществом титановых сплавов, по сравнению с техническим титаном, являются следующие свойства:

- сочетание высокой прочности ($\sigma_b = 800-1500$ МПа) с хорошей пластичностью ($\delta = 18-25$ %);

- малая плотность и высокая удельная прочность (σ_b/γ до 40);

- хорошая жаропрочность (до 600-700°C);

- высокая коррозионная стойкость;

- низкая пластичность при комнатной температуре;

- высокая чувствительность к поверхностным дефектам.

Все титановые сплавы подвергаются термообработке, ХТО+ и ТМО и для повышения их износостойкости возможно применение цементации и азотирования.

Основными недостатками титана и его сплавов являются:

- высокая способность при повышенных температурах к взаимодействию со всеми газами, а также с материалами плавильных печей;
- невысокие антифрикционные свойства;
- плохая обрабатываемость резанием;
- невысокая жесткость конструкции из-за низкого значения модуля упругости.

Титановые сплавы используют в авиа- и ракетостроении (корпуса двигателей, баллоны для газов, сопла, диски, детали крепежа, фюзеляжа), в химической промышленности (компрессоры, клапаны, вентили), в изготовлении криогенной техники.

2) Бериллиевые сплавы:

По сравнению с другими легкими материалами бериллий обладает уникальным сочетанием физических и механических свойств. По удельной прочности и жесткости он превосходит все другие металлы. Благодаря высокому значению модуля упругости ($E = 300$ ГПа) и низкой плотности, бериллий, обладающий повышенной удельной жесткостью, сохраняет данные свойства до $500\text{--}600^\circ\text{C}$.

Бериллий плохо обрабатывается резанием и требует применения твердосплавного инструмента. Соединения бериллия получают пайкой и дуговой сваркой в аргоне или вакууме.

Механические свойства бериллия зависят от чистоты металла, технологии производства, размера зерна.

Также бериллий отличается высокой электро- и теплопроводностью, приближающейся к теплопроводности алюминия, а по удельной теплоемкости превосходит все остальные металлы. Бериллий также стоек к коррозии. Подобно алюминию, при взаимодействии бериллия с воздухом на поверхности его образуется тонкая оксидная пленка, защищающая металл от действия кислорода даже при высокой температуре. Лишь при температуре выше 700°C обнаруживаются заметные признаки коррозии, а при 1200°C металлический бериллий сгорает, превращаясь в белый порошок оксида бериллия.

Бериллий имеет высокие ядерные характеристики — самое низкое среди металлов эффективное поперечное сечение захвата тепловых нейтронов и самое высокое поперечное сечение их рассеяния.

Недостатками бериллия является высокая стоимость, обусловленная дефицитностью исходного сырья и сложностью его переработки, а также низкая хладостойкость.

Главная сложность при легировании бериллия состоит в малых размерах его атомов, в результате чего большинство элементов при растворении сильно искажают кристаллическую решетку, сообщая сплаву повышенную хрупкость. Легирование возможно лишь теми элементами,

которые образуют с бериллием механические смеси с минимальной взаимной растворимостью.

Главная сложность при легировании бериллия состоит в малых размерах его атомов, в результате чего большинство элементов при растворении сильно искажают кристаллическую решетку, сообщая сплаву повышенную хрупкость. Легирование возможно лишь теми элементами, которые образуют с бериллием механические смеси с минимальной взаимной растворимостью.

Серьезный недостаток бериллия, заключающийся в низкой ударной вязкости и хладноломкости, может быть преодолен использованием сплавов с алюминием. Данные элементы практически взаимно нерастворимы. В таких сплавах эвтектического типа твердые частицы бериллия равномерно распределены в пластичной алюминиевой матрице. Сплавы содержат 24–43 % алюминия, остальное — бериллий. Фирмой «Локхид» (США) разработан сплав, содержащий 62 % бериллия, названный локеллоем. Сплавы Ве—Al имеют структуру, состоящую из мягкой пластичной эвтектики и твердых хрупких включений первичного бериллия. Эти сплавы сочетают высокую жесткость, прочность и малую плотность, характерные для бериллия, с пластичностью алюминия. Благодаря пластичности матрицы снижается концентрация напряжений у частиц бериллиевой фазы и уменьшается опасность образования трещин, что позволяет использовать сплавы в условиях более сложного напряженного состояния.

Для получения бериллиево-алюминиевых сплавов также используют методы порошковой металлургии. Деформацию осуществляют выдавливанием с последующей ковкой и штамповкой в оболочках. Механические свойства труб из локеллоя (Ве + 38 % Al) при комнатной температуре составляют: $\sigma_b = 600$ МПа, $\sigma_{0,2} = 570$ МПа, $\delta = 1$ %.

Для увеличения прочности сплавы Ве—Al дополнительно легируют магнием и серебром — элементами, растворимыми в алюминиевой фазе. В этом случае матрица представляет собой более прочный и вязкий сплав Al—Mg или Al—Ag.

Пластичную матрицу можно получить, используя композицию Ве—Ag, содержащую до 60 % серебра. Сплавы с серебром дополнительно легируют литием и лантаном. За исключением сплавов с пластичной матрицей, легирование другими элементами не устраняет хладноломкость бериллия. Максимальную пластичность имеет бериллий высокой чистоты.

Широкое распространение получили сплавы меди с 2–5 % бериллия, так называемые бериллиевые бронзы. Эти сплавы дисперсионно-твердеющие и может упрочняться закалкой с последующим старением. Бериллиевые бронзы обладают высокими упругими свойствами. Их используют для изготовления пружин, сохраняющих упругость в широком интервале

температур, в том числе в криогенных условиях. Они хорошо сопротивляются усталости и коррозии.

Бериллиевые бронзы немагнитны и не искрят при ударе. Из них изготавливают инструменты для работы во взрывоопасных средах — шахтах, газовых заводах, где нельзя использовать обычные стали.

Литейные бериллиевые сплавы (ЛБС) используют для деталей корпусов оснований, рам, кронштейнов и др. Бериллиевые сплавы характеризуются высокими значениями теплоемкости, которые в 1,6 раза выше, чем у сплавов алюминия. Теплопроводность таких сплавов лишь незначительно уступает литейным алюминиевым сплавам. Совокупность теплофизических характеристик бериллиевых сплавов в целом выгодно отличает их от других материалов (например, силуминов) и определяет высокую размерную стабильность в условиях возникновения температурных градиентов при эксплуатации изделий.

Деформированные бериллиевые сплавы обладают высокой жесткостью и низкой плотностью. Эти сплавы являются перспективными для использования в некоторых элементах самолетных двигателей. Для повышения жаропрочных свойств бериллия используется сложное последовательное легирование.

Дальнейшее упрочнение осуществляется введением титана, образующего высокопрочные интерметаллиды $TiBe_{12}$.

На основе системы $Be-Ni$ разработан сплав, имеющий марку ВБД-1 при изготовлении из литой заготовки и ВБД-1П при изготовлении из порошков Ni, Ti , остальное — Be .

3) Композиционные материалы:

Композиционные материалы (композиты) — это новый класс легких и высокопрочных материалов с большим сопротивлением развитию трещины.

По удельной прочности и удельной жесткости композиты превосходят все обычные конструкционные материалы. Кроме того, они сохраняют высокую прочность при повышенных температурах, хорошо сопротивляются усталостному разрушению.

Композиты — сложные материалы, в состав которых входят сильно отличающиеся по свойствам, не растворимые друг в друге компоненты, разделенные ярко выраженной границей.

Свойства композиционных материалов (КМ) зависят от свойств компонентов и прочности связи между ними. Для создания композитов выбирают компоненты с дополняющими друг друга свойствами.

Композиционный материал состоит из основы, или матрицы (металлической или полимерной) и наполнителя, или армирующего компонента.

Матрица связывает материал в единое целое, придает ему форму. От свойств матрицы зависят технология получения материала, рабочая температура, удельная прочность σ_b/γ , предел усталости σ_{-1} .

Наполнитель равномерно распределяется в матрице в определенном порядке. Наполнитель воспринимает нагрузку, поэтому должен иметь высокие прочность, твердость, модуль упругости.

По форме наполнители могут быть нуль-мерными, одномерными и двумерными (см. рис.3.9).

Композиционные материалы, упрочненные мелкими частицами наполнителя, называют *дисперсно-упрочненными*. Композиты, содержащие волокна, – *волокнистыми*. Двумерные наполнители применяются, в основном, в полимерных композитах.

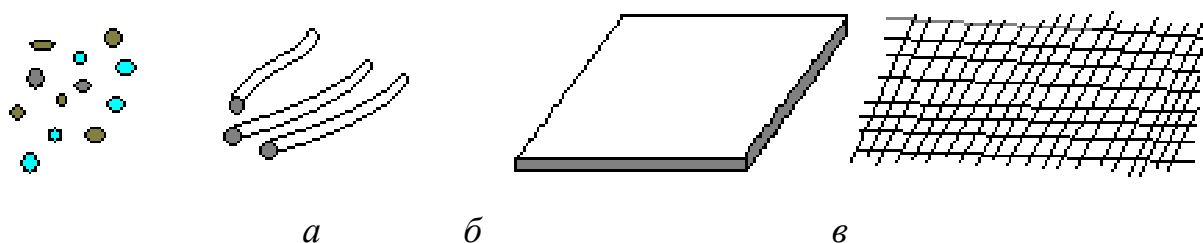


Рис.3.9 Форма наполнителей в композиционных материалах:

а – частицы; *б* – волокна; *в* – пластины, листы, ткань

Для матриц дисперсно-упрочненных *КМ* используют либо материалы с малой плотностью (алюминий, магний, титан и их сплавы), либо жаропрочные материалы (никель).

Получают дисперсно-упрочненные *КМ* прессованием и спеканием или введением наполнителя в жидкую матрицу перед разливкой.

Наилучшее сочетание механических свойств достигается при размере частиц 0,01–0,1 мкм и расстоянии между ними 0,05–0,5 мкм.

Примером является спеченная алюминиевая пудра (САП). Она имеет высокую жаропрочность и коррозионную стойкость. Состоит из алюминия и частиц Al_2O_3 в виде чешуек толщиной менее 1 мкм (рис.3.10). Чем больше в этом материале доля Al_2O_3 , тем выше прочность, твердость, жаропрочность, но ниже пластичность *КМ*.

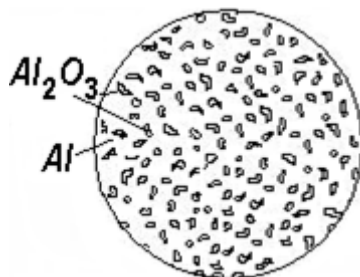


Рис.3.10 Структура спеченной алюминиевой пудры

Преимуществом такого материала по сравнению с обычными сплавами алюминия являются очень мелкие зерна, равномерное распределение упрочняющих частиц, отсутствие линейных дефектов.

Изделия из САП: листы, фольга, профили, трубы. Получают детали для работы при 300–500°C: лопатки компрессоров, лопасти турбин и вентиляторов.

Наполнителями в волокнистых *КМ* служат волокна или нитевидные кристаллы: углеродные, борные, из SiC, Al₂O₃, стекла, а также проволока из коррозионно-стойкой стали, молибдена, вольфрама, бериллия. Волокна являются элементами, воспринимающими нагрузку. Для матриц используются те же металлы, что и для предыдущей группы.

Для достижения максимальной прочности композиционного материала волокна должны быть расположены параллельно направлению действия напряжения. Поэтому расположение волокон может быть одноосным, двухосным или трехосным (рис.3.11).

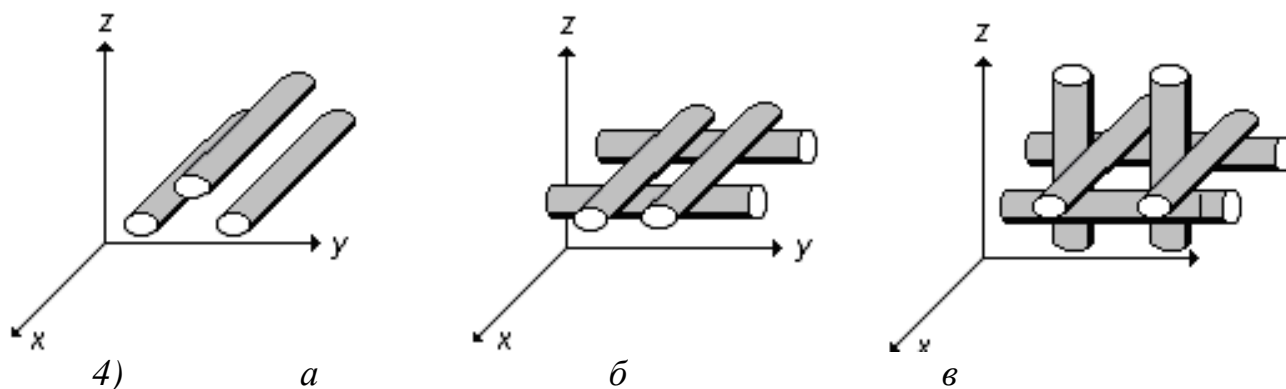


Рис. 3.11 Расположение армирующих волокон в композитах:

a – одноосное; *б* – двухосное; *в* – трехосное

При одноосном армировании проявляется анизотропия: в направлении волокон прочность выше, чем в поперечном (так как нагрузку воспринимает волокно, а матрица – передающая среда). При двухосном армировании анизотропии нет, но прочность вдоль оси волокон уменьшается примерно в 3 раза (рис.3.12).

1. Превращение перлита в аустенит ($P \rightarrow A$), происходит при нагреве выше критической температуры A_1 , минимальной свободной энергией обладает аустенит.

Чем тоньше и длиннее волокно, тем выше степень упрочнения.

Объемная доля волокна составляет от нескольких процентов до 80–90%. Увеличение доли наполнителя повышает прочность и другие характеристики.

Получают волокнистые композиты формованием волокон в порошке матрицы, пропиткой волокна жидким металлом матрицы, осаждением матрицы

Форма		Размер блока, мм		Ширина ячейки, мм
блока	ячейки	диаметр	длина	
	 	10–15	100–120	1–5
		20–50	100–120	1–5
	 	20–50	100–120	1–5
	 	20–50	100–120	1–5

Рис.3.13 Виды волокон в КМ

КМ на неметаллической основе несколько отличаются от КМ на металлической основе и более дешевые. В композитах на полимерной основе усилие от матрицы передается армирующему волокну за счет сил межмолекулярного взаимодействия адгезионного характера. Необходимо полное смачивание жидким связующим поверхности волокон.

Борные и углеродные волокна лучше смачиваются эпоксидной смолой. Так получают боропластики и углепластики.

Стекловолокниты имеют максимальную прочность и удельную прочность.

Соединяют композиты точечной сваркой, склеиванием, клееболтовыми и клеезаклепочными соединениями.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите группы материалов, обладающие малой плотностью.
2. Назовите группы материалов, обладающие малой удельной прочностью.
3. Какие сплавы называются силуминами? Какова их особенность.
4. Назовите группы алюминиевых сплавов, которые не подвергаются упрочняющей термообработкой.
5. Расшифруйте марки сплавов: Д16, АМг5, АК4-1, ВТ20, ОТ4.
6. Какой сплав называют бронзами? Укажите принцип их маркировки.
7. Назовите 3-5 марок магниевых сплавов. Укажите их области применения.
8. Дайте определение понятию композиционные материалы. Укажите их значимость, особенности упаковки.

Лекция 10

Материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды

План лекции

1. Общие требования и классификация материалов.
2. Коррозионно-стойкие материалы.
3. Коррозионно-стойкие покрытия.
4. Жаростойкие материалы.
5. Жаропрочные материалы.

Общие требования и классификация материалов

При выборе материала для тяжело нагруженных деталей ответственного назначения для конкретной области применения в качестве существенного фактора следует учитывать устойчивость материалов к воздействию рабочей среды. Чтобы правильно подобрать материал детали нужно учитывать не только основные эксплуатационные режимы, очень важно также знать концентрацию, температуру и степень загрязнения рабочей среды.

К материалам, устойчивым к воздействию температуры и рабочей среде относят специальные стали: коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные; жаропрочные сплавы на основе никеля, радиационно – стойкие материалы.

Коррозионно-стойкие материалы

Коррозионная стойкость металлов - это способность металла или сплава сопротивляться коррозионному воздействию среды. Коррозионная стойкость определяется скоростью коррозии в данных условиях. Скорость коррозии характеризуется качественными и количественными показателями. Количественными показателями служат множество факторов, например, время до появления первого коррозионного очага или число коррозионных очагов за определённый промежуток времени; уменьшение толщины металла, отнесённое к единице времени; изменение массы металла, отнесённое к единице поверхности и единице времени; и т.п.

Коррозионная стойкость может быть повышена, если содержание углерода свести до минимума, если ввести легирующий элемент, образующий с железом твердые растворы в таком количестве, при котором скачкообразно повысится электродный потенциал сплава.

Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются *нержавеющие стали* с повышенным содержанием хрома: хромистые и хромоникелевые.

Хромистые стали: содержат хрома в не менее 13% (13...18%).

Коррозионная стойкость объясняется образованием на поверхности защитной пленки оксида Cr_2O_3 .

Углерод в нержавеющей сталях является нежелательным, так как он обедняет раствор хромом, связывая его в карбиды, и способствует получению двухфазного состояния. Чем ниже содержание углерода, тем выше коррозионная стойкость нержавеющей сталей.

Различают стали ферритного класса 08X13, 12X17, 08X25Т, 15X28. Стали с повышенным содержанием хрома не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не могут быть подвергнуты закалке. Значительным недостатком ферритных хромистых сталей является повышенная хрупкость из-за крупнокристаллической структуры. Эти стали склонны к межкристаллитной коррозии (по границам зерен) из-за обеднения хромом границ зерен. Для избежания этого вводят небольшое количество титана. Межкристаллитная коррозия обусловлена тем, что часть хрома около границ зерна взаимодействует с углеродом и образует карбиды. Концентрация хрома в твердом растворе у границ становится меньше 13% и сталь приобретает отрицательный потенциал.

Из ферритных сталей изготавливают оборудование азотно-кислотных заводов (емкости, трубы).

Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей в них добавляют 2...3 % никеля. Стали 10X13НЗ, 12X17Н2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах.

К сталям аустенитного класса относятся высоколегированные хромоникелевые стали.

Никель – аустенитообразующий элемент, сильно понижающий критические точки $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. После охлаждения на воздухе до комнатной температуры имеет структуру аустенита. Нержавеющие стали аустенитного класса 04X18Н10, 12X18Н9Т имеют более высокую коррозионную стойкость, лучшие технологические свойства по сравнению с хромистыми нержавеющей сталями, лучше свариваются. Они сохраняют прочность до более высоких температур, менее склонны к росту зерна при нагреве и не теряют пластичности при низких температурах.

Хромоникелевые стали коррозионноустойчивы в окислительных средах. Основным элементом является хром, никель только повышает коррозионную стойкость.

К коррозионно – стойким материалам относятся также медные сплавы легированные никелем.

Легирование меди никелем значительно повышает ее механические свойства, коррозионную стойкость, термоэлектрические характеристики. Промышленные медно-никелевые сплавы можно условно разделить на две группы: конструкционные и электротехнические. К конструкционным относятся коррозионно-стойкие и высокопрочные сплавы типа мельхиор, нейзильбер и куняль. В качестве дополнительных легирующих элементов в них добавляют Mn, Zn, Fe, Co, Al, Pb, Cr, Se, Mg, Li.

Мельхиоры (МНЖМц30-1-1, МН 19) имеют высокую коррозионную стойкость в различных средах: в пресной и морской воде, в органических кислотах, растворах солей, атмосферных условиях. Добавки железа и марганца увеличивают стойкость медно-никелевых сплавов против ударной коррозии. Являясь твердыми растворами, мельхиоры обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии.

Мельхиор марки МНЖМц30-1-1 обладает большой стойкостью в среде парового конденсата. По устойчивости против действия ударной (турбулентной) коррозии он превосходит практически все другие известные сплавы. Благодаря этим свойствам мельхиор (марки МНЖМц30-1-1) применяется для конденсаторных труб морских судов, работающих в особо тяжелых условиях.

Мельхиор марки МН19 применяется для изготовления монеты, деталей точной механики, медицинского инструмента, сеток, столовой посуды и др.

Нейзильберами называются сплавы на основе меди, в которых основными легирующими элементами являются никель и цинк (МНЦ15-20, МНЦС16-29-1,8). Представляют собой твердые растворы никеля и цинка в меди. Легирование цинком приводит к повышению механических свойств медно-никелевых сплавов, приданию им красивого серебристого цвета и удешевлению. Нейзильберы отличаются высокой коррозионной стойкостью – не окисляются на воздухе, сравнительно устойчивы в органических кислотах и растворах солей. Применяются для изготовления медицинского инструмента, технической посуды, телефонной аппаратуры, паровой и водяной арматуры, изделий санитарной техники, точной механики, бытовой посуды и художественных изделий.

Кунялями называются сплавы на основе тройной системы Cu – Ni – Al (МНА13-3, МНА6-1,5). Эти сплавы отличаются высокими механическими и упругими свойствами, коррозионной стойкостью, устойчивостью при низких температурах.

Коррозионно-стойкие покрытия

К коррозионно – стойким покрытиям относятся изолирующие неметаллические покрытия. Эффективность покрытий этого типа зависит от того, насколько хорошо они связаны с поверхностью. Поскольку прочность сцепления сильно зависит от состояния металлической поверхности, в

инженерной практике защиты металлов от коррозии при помощи изолирующих покрытий большое внимание уделяется подготовке поверхности защищаемого изделия под покрытие. При этом при помощи механических или химических методов покрываемую часть поверхности тщательно очищают от загрязнений и продуктов коррозии, а для улучшения её сцепления с покрытием дополнительно подвергают специальной химической или электрохимической обработке.

Другой важнейшей характеристикой покрытий, защищающих металл только при помощи его изоляции от агрессивной среды, является их сплошность, а, следовательно, и устойчивость к механическим воздействиям. Покрытия, имеющие дефекты, а таковых большинство, очень часто используются в комбинации с катодной защитой или ингибиторами коррозии.

Все используемые изолирующие покрытия по своему составу могут быть отнесены к неорганическим или органическим покрытиям. И те, и другие применяются преимущественно для защиты от атмосферной или почвенной коррозии.

• **Органические покрытия:** самый распространенный метод защиты от коррозии. Существует весьма широкий ассортимент изолирующих материалов этого типа: лакокрасочные и пластмассовые покрытия, а также покрытия, составленные на основе каменноугольных песков и битумов, полиэтиленовые или эпоксидные покрытия. Лакокрасочные покрытия используются обычно для защиты от атмосферной коррозии.

Лакокрасочные материалы представляют собой очень тонкую смесь пигмента и жидкого лака, которые после нанесения на поверхность формируются в твёрдое однородное покрытие. Как правило, используются трёхслойные покрытия: первым наносят грунтовочный слой, состав которого подбирается таким образом, чтобы обеспечить максимальную адгезию покрытия с металлом. В качестве пигментов этот слой содержит также вещества, обладающие ингибирующими свойствами, например свинцовый сурик или хромат цинка. На грунтовочный наносят основной слой, за счёт которого покрытие доводят до требуемой толщины. Завершающий или отделочный слой наносят для того, чтобы обеспечить всему покрытию устойчивость к погодным воздействиям, придать ему нужную окраску и текстуру. Как правило, конечная толщина покрытия должна быть не менее 75 мкм, однако, для многих применений этот минимум оказывается недостаточным.

Срок службы лакокрасочных покрытий при прочих равных условиях определяется природой полимерной составляющей материала. Последние десятилетия характеризуются не только быстрыми темпами увеличения количества производимых лакокрасочных материалов, но и непрерывным возрастанием удельного веса синтетических материалов, применение

которых вместо натуральных масел позволяет увеличить срок службы покрытия от 3 до 5 раз.

• **Неорганические покрытия:** один класс этого вида покрытий – стекловидные эмали, получаемые нагревом защищаемой поверхности с нанесением на неё слоем стекловидного шлака до температуры плавления стекловидного шлака. Такие покрытия используются преимущественно для защиты стали и чугуна от агрессивного воздействия атмосферы и некоторых других сред.

К числу таких покрытий относятся оксидирование, фосфатирование, анодирование, химическое никелирование и др.

а) Оксидирование: сущность различных методов оксидирования заключается в создании на поверхности металлов слоя окислов, которые обладают значительно большей коррозионной стойкостью, чем основной металл. Химическому оксидированию подвергают стали, сплавы алюминия, магния.

Электрохимический способ оксидирования алюминия носит название анодирования. Анодирование даёт возможность получать на алюминии плёнку толщиной 5–20мкм, а иногда до 100–200мкм.

б) Фосфатирование: чаще всего применяется для защиты стали, цинка, магния. **Фосфатирование** – процесс получения на поверхности плёнки фосфорнокислой соли железа и марганца. Фосфатные плёнки обладают невысокой коррозионной стойкостью вследствие пористости.

Химическое никелирование: осуществляется без приложения тока извне за счёт восстановления ионов никеля из кислых или щелочных растворов его солей гипофосфитом натрия или кальция. Химическое никелирование проводится при температуре 90-95°C. После термообработки при 400-600°C твёрдость покрытия приближается к твёрдости хрома. При толщине 25-30мкм плёнка практически беспориста. Антикоррозионные свойства покрытия при этом высокие.

в) Металлические покрытия - включают в себя большую группу различных покрытий. По механизму защиты различают анодные и катодные металлические покрытия.

• Металл анодных покрытий имеет электродный потенциал более отрицательный, чем потенциал защищаемого металла. При действии растворов электролитов в возникающем коррозионном элементе основной металл–покрытие основной металл является катодом и поэтому при достаточно большой площади покрытия не разрушается, а защищается электрохимически за счёт растворения металла покрытия. Примерами анодных покрытий являются покрытия железа цинком и кадмием. Анодные покрытия на железе, как правило, обладают сравнительно низкой стойкостью.

- Катодные металлические покрытия, электродный потенциал которых более электроположителен, чем потенциал основного металла, могут служить надёжной защитой от коррозии только при условии отсутствия в них сквозных пор, трещин и других дефектов, так как они механически препятствуют проникновению агрессивной среды к основному металлу. Примерами катодных защитных покрытий являются покрытия железа медью, никелем, хромом и т.п.

- Гальванические покрытия - принципы получения гальванических покрытий основаны на осаждении на поверхности защищаемых металлов катионов из водных растворов солей при пропускании через них постоянного электрического тока от внешнего источника. Защищаемый металл при этом является катодом, а анодом служат пластины осаждаемого металла (растворимые аноды) либо пластины металла, нерастворимого в электролите (нерастворимые аноды). В первом случае при замыкании электрической цепи металл анода растворяется, а из раствора на катоде выделяется такое же количество металла, так что концентрация раствора соли в процессе электролиза практически не изменяется.

- Термодиффузионные покрытия - обладают сравнительно высокой коррозионной стойкостью и высокой адгезией.

- Диффузионные покрытия получают в результате насыщения поверхностных слоёв защищаемого металла атомами защищающего металла и диффузии последних в глубину защищаемого металла при высоких температурах. В поверхностных слоях покрываемого металла обычно наблюдается образование новых фаз химических соединений или твёрдых растворов. Диффузионные покрытия с высокой коррозионной стойкостью и в особенности жаростойкостью - покрытия алюминием (алитирование), кремнием (термосилицирование), хромом (термохромирование). Наблюдаемое при этом значительное повышение жаростойкости изделий обусловлено образованием на их поверхности окислов Al_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO_2 или смешанных окислов, обладающих повышенными защитными свойствами и препятствующих дальнейшему окислению сплава.

- Горячие покрытия - способ заключается в погружении изделий в расплавленный металл. Возможности получения покрытия горячим способом определяются способностью покрываемого металла смачиваться расплавленным металлом покрытия. Покрывающий металл, как правило, должен иметь более низкую температуру плавления, чем покрываемый металл. К числу недостатков этого способа относится: большой расход наносимого металла, неравномерность покрытия по толщине на изделиях сложной формы и т.д. Наиболее широко этот метод применяется в промышленности для нанесения на углеродистую сталь цинка, олова, свинца.

- Плакирование - способ плакирования или облицовки заключается в том, что на матрицу основного металла накладывают с обеих сторон (или с

одной стороны) листы другого металла, затем весь пакет подвергают горячей прокатке, получая в результате диффузии на границах раздела металлов прочное сцепление между слоями. Таким способом сталь плакируют медью, латунью, никелем, медноникелевыми сплавами, алюминием, нержавеющей сталью, получая биметаллические материалы. Толщина плакировочного слоя обычно составляет 8–20% общей толщины листа.

Жаростойкие материалы

К жаростойким (окалиностойким) относят стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре выше 550°C и в слабонагруженном состоянии.

Способность стали сопротивляться окислению при высокой температуре называется **жаростойкостью** (окалиностойкостью).

Способность оксидной плёнки защищать сплав от активного взаимодействия с кислородом определяется главным образом механической плотностью плёнки, прочностью её сцепления с основным материалом, а при высоких температурах и сопротивлением оксида диффузионному проникновению ионов металла и кислорода. Жаростойкость материалов характеризуется изменением массы на единицу поверхности за время пребывания при данной температуре.

Основой жаростойких сплавов, применяемых в авиастроении, являются никель и сплавы никель — железо и кобальт — никель. Однако высокотемпературные оксиды этих металлов (особенно оксиды железа и кобальта) не обеспечивают достаточно эффективной защиты от диффузионного проникновения реагирующих компонентов. Для получения на поверхности указанных материалов оксидной плёнки с высокой защитной способностью они должны содержать хром. Этот металл, обладая более высокой теплотой окисления, чем другие компоненты сплава, образует при высокой температуре на поверхности сплавов плёнку тугоплавкого оксида хрома Cr_2O_3 , защитная способность которого выше, чем у оксидов никеля, железа и кобальта.

Другим элементом, способным создавать эффективные защитные оксидные плёнки, особенно на никелевых и никель-железных сплавах, является алюминий. При содержании хрома в сплаве 10—16% достаточно 3—4% алюминия для образования при высокотемпературном окислении плёнки оксида алюминия Al_2O_3 , которая может обеспечить более надёжную защиту, чем Cr_2O_3 . На окалиностойкость жаростойких сплавов положительно влияют малые добавки некоторых активных элементов (кальций, иттрий, церий, лантан и т. п.).

Помимо химического воздействия газовой среды жаростойкие сплавы могут испытывать действие механических нагрузок при рабочих температурах, в связи с чем, в жаростойкую композицию вводят некоторое

количество тугоплавких металлов (например, молибдена, вольфрама), что повышает жаропрочность за счёт замедления самодиффузии в твёрдом растворе, не выводя сплав из однофазного состояния. Ещё более эффективно упрочнение за счёт старения. С этой целью в сплав вводят алюминий, титан, ниобий, образующие термостабильные химические соединения с переменной растворимостью в основе сплава, что позволяет с помощью термической обработки (заковки и старения) резко повысить кратковременную и длительную прочность жаростойких сплавов. Стареющие сплавы, как правило, обладают пониженными технологическими свойствами (свариваемость, пластичность), что ограничивает возможность их упрочнения старением.

Наиболее часто применяемыми жаростойкими сплавами являются жаростойкие сплавы: хромистые стали ферритного класса; хромокремнистые стали мартенситного класса; хромоникелевые стали аустенитно-ферритного класса; хромоникелевые аустенитные стали.

Хромистые стали ферритного класса (15X25, 15X28) могут применяться для изготовления сварных конструкций, не подвергающихся действию ударных нагрузок при температуре эксплуатации не ниже минус 20°C; для изготовления труб для теплообменной аппаратуры, работающей в агрессивных средах; аппаратуры, деталей, чехлов термодар, электродов искровых зажигательных свечей, труб пиролизных установок, теплообменников; для спаев со стеклом. Жаростойкость - до 1100°C.

Хромоникелевые стали аустенитно-ферритного класса (20X23Н13) применяются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах в слабонагруженном состоянии. Жаростойкость до 900-1000°C.

Хромокремнистые стали мартенситного класса (40X10С2М) применяются для изготовления клапанов авиационных двигателей, автомобильных и тракторных дизельных двигателей, крепёжные детали двигателей.

Хромоникелевые аустенитные стали (10X23Н18, 20X25Н20С2) применяются для изготовления листовых деталей, труб, арматуры (при пониженных нагрузках), а также деталей печей, работающих при температурах до 1000-1100°C в воздушной и углеводородной атмосферах.

Сталь 15X5 (5 % Cr) жаростойка до 700°C, сталь 12X17 (17 % Cr) - до 900 °C, стала 15X28 (28 % Cr) - до 1100 - 1150°C. Сплавы на никелевой основе с Cr и Al (ХН70Ю с 26-29 % Cr и 2,8-3,5 % Al) обладают жаростойкостью до 1200°C.

Жаропрочные материалы

Жаропрочность - способность материала сохранять необходимую длительную прочность при высоких температурах.

Одним из факторов, определяющих жаропрочность, является высокое сопротивление ползучести. Жаропрочность сплавов оценивается пределами длительной прочности или ползучести при высоких температурах, и связана, в первую очередь, с их структурой и составом.

Ползучесть - это деформация, непрерывно увеличивающаяся и завершающаяся разрушением под действием постоянной нагрузки при длительном воздействии температуры.

Предел ползучести - это напряжение, вызывающее деформацию заданной величины (обычно от 0,1 до 1 %) за определенный промежуток времени (100, 300, 500, 1000 ч) при заданной температуре.

Ползучесть может развиваться следующими способами:

1) за счет *движения дислокаций* (скольжения и переползания – перемещения дислокаций вверх или вниз относительно плоскости скольжения);

2) за счет *зернограничного скольжения*, когда идет сдвиг зерен относительно друг друга вдоль общих границ (это возможно только при мелком зерне);

3) за счет *диффузионного переноса атомов* вдоль растянутых границ зерен. У растянутых границ зерен легче образуются вакансии, поэтому туда устремляются атомы из других граничных областей:

Для повышения жаропрочности необходимо ограничить подвижность дислокаций и замедлить диффузию.

Жаропрочные сплавы — металлические материалы, обладающие высоким сопротивлением пластической деформации и разрушению при действии высоких температур и окислительных сред.

Структура жаропрочного материала должна быть крупнозернистой (с меньшей протяженностью границ), с однородным распределением мелких упрочняющих частиц внутри зерен и на границах.

Дисперсные частицы повышают жаропрочность эффективнее, чем твердый раствор. Чем мельче частицы и меньше расстояния между ними, тем эффективнее упрочнение.

Идеальным для работы при повышенных температурах является монокристалл.

Поликристаллические материалы упрочняют малыми добавками компонентов, которые располагаются по границам зерен и уменьшают скорость диффузии (бор, церий, редкоземельные металлы). В никелевых сплавах для этой цели служат карбиды.

Жаропрочные сплавы могут быть на алюминиевой, титановой, железной, медной, кобальтовой и никелевой основах. Наиболее широкое применение в авиационных двигателях получили никелевые жаропрочные сплавы, из которых изготавливают рабочие и сопловые лопатки, диски ротора турбины, детали камеры сгорания и т.п. В зависимости от технологии

изготовления никелевые жаропрочные сплавы могут быть литейными, деформируемыми и порошковыми. Наиболее жаропрочными являются литейные сложнолегированные сплавы на никелевой основе, способные работать до температур 1050—1100°C в течение сотен и тысяч часов при высоких статических и динамических нагрузках.

Факторами, способствующими повышению жаропрочности, являются:

- высокая температура плавления основного металла;
- наличие в сплаве твердого раствора и мелкодисперсных упрочняющих фаз;
- пластическая деформация, вызывающая наклеп;
- высокая температура рекристаллизации;
- рациональное легирование;
- термическая и термомеханическая обработка;
- введение в жаропрочные стали бора, церия, ниобия, циркония, (в десятых, сотых и даже тысячных долях).

По температуре эксплуатации жаропрочные стали разделяют на группы:

- для работы при температуре до 350 – 400°C (обычные конструкционные стали - углеродистые и малолегированные);
- для работы при температуре 400 - 550°C (стали перлитного класса 15ХМ, 12Х1МФ для деталей котлов, труб паропроводов и пароперегревателей, нагруженные сравнительно мало, но работающие до 100 000 ч);
- для работы при температуре 500 - 600°C (стали мартенситного класса: высокохромистые 15Х11МФ для лопаток паровых турбин; сильхромы 40Х9С2 для клапанов моторов; 20Х12ВНМФ для дисков, роторов, валов);
- для работы при температуре 500 - 750°C (стали аустенитного класса: нестареющие 09Х14Н16В для труб пароперегревателей высокого давления; стареющие 40Х15Н7Г7Ф2МС для лопаток газовых турбин);
- для работы при температуре 800 - 850- 1200°C (жаропрочные сплавы на никелевой основе ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбин).

Основой котлостроения являются *перлитные жаропрочные стали*. Они применяются при температурах до 580 °С. Технологичны, недороги. Содержат 0,25-0,3 % С и легирующие элементы: хром, молибден, ванадий.

Марки: 12Х1МФ, 25Х2М1Ф.

Критерий жаропрочности: $\epsilon = 1\%$ за 10^4 или 10^5 часов.

Структура: легированный феррит и равномерно распределенные в нем частицы карбидов (пластинчатой формы). Недопустимые изменения структуры – появление зернистого перлита, рост карбидов, образование графита. Все эти изменения ведут к снижению прочности и развитию ползучести.

Из перлитных жаропрочных сталей изготавливают трубы пароперегревателей, паропроводов и других частей теплоэнергетических установок, а также валы и цельнокованные роторы, плоские пружины, крепеж.

Мартенситные жаропрочные стали прочнее и выдерживают температуру до 650°C. Это, так называемые, *сильхромы* (например, 40X10C2M), легированные хромом и кремнием, а также 11X11H2B2MФ, 15X11MФ, 18X12BMБФР.

Сильхромы стойки к окислению в парах и топочных газах. Критерий жаропрочности – предел ползучести с допустимой деформацией $\varepsilon = 0,1 \%$ за 10^4 или $\varepsilon = 1 \%$ за 10^5 часов. Применяют для клапанов ДВС. Они плохо свариваются и труднее перлитных сталей обрабатываются резанием.

Аустенитные жаропрочные стали работают до 700°C. Подразделяются на однофазные (12X18H10T), стали с карбидным упрочнением и стали с интерметаллидным упрочнением.

Вдобавок к ползучести, при воздействии высоких температур идет релаксация (снижение) напряжений. Затянутые резьбовые соединения ослабевают, так как идет пластическая деформация, и доля упругой деформации снижается.

Контрольные вопросы и задания

1. Какими общими свойствами должны обладать материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды.
2. Какие сплавы называются коррозионно – стойкими и относятся к данной группе материалов.
3. Расшифруйте марки сталей и кратко охарактеризуйте их свойства: 12X18H9T, X13, XH77TЮР.
4. Какие материалы называются жаропрочными и почему?
5. Какие покрытия называются коррозионно – стойкими? Назовите область их применения.
6. Каким требованиям должны отвечать жаропрочные материалы.
7. Назовите факторы, способствующие повышению жаропрочности.
8. Дайте определение понятию жаростойкость. Назовите группы сплавов, относящиеся к жаростойким материалам.

РАЗДЕЛ IV

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Лекция 11

Классификация и области применения неметаллических материалов

План лекции

1. Классификация неметаллических материалов.
2. Пластмассы.
3. Керамические материалы.
4. Каучук и его производные.
5. Неорганические стекла.
6. Древесина и ее разновидности.
7. Композиционные материалы на неметаллической основе.

Классификация неметаллических материалов

Неметаллические материалы – это органические, и неорганические полимерные материалы: различные виды пластических масс, композиционные материалы на неметаллической основе, каучуки и резины, клеи, , стекло, керамика и т.д.

Достоинством неметаллических материалов являются такие их свойства, как достаточная прочность, жесткость и эластичность при малой плотности, светопрозрачность, химическая стойкость, диэлектрические свойства, делают эти материалы часто незаменимыми. Также следует отметить их технологичность и эффективность при использовании. Трудоемкость при изготовлении изделий из неметаллических материалов в 5–6 раз ниже, они в 4–5 раз дешевле по сравнению с металлическими.

Пластмассы

Пластмассы (пластики) представляют собой органические материалы на основе полимеров, способные при нагреве размягчаться и под давлением принимать определенную устойчивую форму. Простые пластмассы состоят из одних химических полимеров. Сложные пластмассы помимо полимеров включают добавки: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы и др.

Наполнители в пластмассы вводят в количестве 40—70% для повышения твердости, прочности, жесткости, а также придания особых специфических свойств, например фрикционных, антифрикционных и др. Наполнителями могут быть ткани, а также порошкообразные, волокнистые вещества.

Пластификаторы (стеарин, олеиновая кислота) повышают эластичность, пластичность и облегчают обработку пластмасс. Их содержание колеблется в пределах 10—20%.

Отвердители (амины) и катализаторы (перекисные соединения) в количестве нескольких процентов вводят в пластмассы для отверждения, т. е. создания межмолекулярных связей и встраивания молекул отвердителя в общую молекулярную сетку.

Красители (минеральные пигменты, спиртовые растворы органических красок) придают пластмассам определенную окраску и снижают их стоимость. Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах.

Пластмассы классифицируют по следующим признакам:

- По виду наполнителя: с твердым наполнителем; с газообразным наполнителем.

Твердые наполнители в виде порошков, например, графит, древесная мука, кварц, гипс и др., волокон, например очесов хлопка и льна, волокон из стекла и асбеста, слоистые, например тканей хлопчатобумажной, стеклянной, асбестовой, бумаги.

- По реакции связующего полимера к повторным нагревам. Термопластичные пластмассы на основе термопластичного полимера размягчаются при нагреве и затвердевают при последующем охлаждении. Термопласты отличаются низкой усадкой 1—3%. Для них характерны малая хрупкость, большая упругость и способность к ориентации.

Термореактивные пластмассы на основе термореактивных полимеров (смола) после тепловой обработки — отверждения — переходят в термостабильное состояние. Термореактивные пластмассы отличаются хрупкостью, имеют большую усадку 10—15% и содержат в своем составе наполнители.

- По применению пластмассы можно подразделить на следующие группы: конструкционные — для силовых деталей и конструкций, для несилевых деталей; прокладочные, уплотнительные; фрикционные и антифрикционные; электроизоляционные, радиопрозрачные, теплоизоляционные, стойкие к воздействию огня, масел, кислот, облицовочно-декоративные.

Один и тот же пластик часто обладает свойствами, характерными, нескольких групп. Например, текстолит может быть одновременно конструкционным, электроизоляционным и прокладочным материалом.

1) Термопластичные пластмассы:

Термопласты способны работать при температурах не выше 60—70°C поскольку выше этих температур их физико-механические свойства резко снижаются. Некоторые теплостойкие пластмассы способны работать при 150—200°C, а термостойкие полимеры с жесткими цепями устойчивы до 400—600°C.

Наличие в структуре полимеров кристаллической составляющей, делает их более прочными и жесткими.

Полиэтилен получают полимеризацией бесцветного газа этилена при низком и высоком давлении. Полиэтилен способен длительное время работать при 60—100°C. Морозостойкость достигает -70°C и ниже. Полиэтилен применяют для изоляции защитных оболочек кабелей проводов, деталей высокочастотных установок и для изготовления коррозионно-стойких деталей — труб, прокладок, шлангов. Его выпускают в виде пленки, листов, труб, блоков.

Полистирол - это аморфный, твердый, жесткий, прозрачный полимер, имеющий преимущественно линейное строение. Полистирол применяют для производства слабонагруженных деталей и высокочастотных изоляторов.

Недостатками свойств полистирола являются его хрупкость при пониженных температурах, склонность к постепенному образованию поверхностных трещин.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен) имеет аморфно-кристаллическую структуру. Применяют для изготовления труб, клапанов, насосов, шлангов, а также используют в качестве низкочастотного диэлектрика.

Фторопласт-4 отличается чрезвычайно высокой стойкостью к действию агрессивных сред: соляной, серной, плавиковой, азотной кислот, царской водки, пероксида водорода, щелочей. Он разрушается под действием расплавов щелочных металлов, а также фтора и фтористого хлора при повышенных температурах. Фторопласт-4 не горит и не смачивается водой и многими жидкостями.

Недостатками фторопласта-4 следует считать его токсичность, хладотекучесть и трудность переработки из-за отсутствия пластичности.

Фторопласт-4 применяют для изготовления мембран, труб, вентиляей, насосов, уплотнительных прокладок, сильфонов, манжет, антифрикционных покрытий на металлах, а также электрорадиотехнических деталей.

2) Полярные термопласты:

Трифторхлорэтилен (фторопласт-3) полимер белого цвета. Фторопласт-3 с высокой степенью кристалличности обнаруживает повышенную плотность, твердость и механические свойства. Полимер легко перерабатывается в изделия методами прессования, литья под давлением и д.,

Полиметилметакрилат (органическое стекло) — аморфный, бесцветный, прозрачный термопласт. Основным критерием, определяющим его пригодность, является прочность.

Органические стекла не подвержены действию разбавленных кислот, щелочей, углеродных топлив и смазок, растворяются в органических кислотах (уксусной, муравьиной), хлорированных углеводородах.

Органическое стекло выпускается промышленностью в виде листов толщиной 0,8—24 мм. Его используют в автомобилестроении и других отраслях техники. Из оргстекла изготавливают оптические линзы, детали светотехнических устройств.

Поливинилхлорид (ПВХ) стоек во многих средах: воде, щелочах, разбавленных кислотах, бензине. Размягчается при температуре, близкой к 70°C. Поливинилхлорид используют в виде винипласта и пластиката. Винипласт содержит стабилизаторы (карбонаты металлов) и представляет собой непрозрачное твердое вещество. Хорошо поддается механической обработке, легко сваривает различными клеями.

Материал применяют для облицовки ванн и в качестве защитного покрытия металлических емкостей. Склонен к хладотекучести, чувствителен к надрезам, отличается хрупкостью при низких температурах и низкой теплостойкостью. Выпускается промышленностью в виде лент, трубок. Его часто используют в качестве уплотнителя воздушных гидравлических систем, изолятора проводов и защитных оболочек ей аккумуляторных баков.

3) Терморезистивные пластмассы:

Пластмассы на основе этих смол отличаются повышенной прочностью, не склонны к ползучести не способны работать при повышенных температурах. Смолы в пластмассах являются связкой и обладают высокой клеящей способностью, теплостойкостью, химической в агрессивных средах, электроизоляционными свойствами, доступной технологией переработки, малой усадкой при затвердевании.

Эпоксидные смолы содержат в молекулах эпоксидную группу. В чистом виде эпоксидные смолы — вязкие жидкости, способные длительное время сохранять свойства без изменений. Отверждение смолы — полимеризационный процесс, без выделения воды или низкомолекулярных веществ, и развивается равномерно в весьма толстом слое.

Тип отвердителя определяет условия процесса отверждения либо при комнатной температуре, либо при нагреве до 80—150°C. Отверждение может происходить без внешнего давления, что выполнить технологически проще, а также при повышенном давлении. Свойства отвержденной эпоксидной смолы зависят от выбранного отвердителя.

4) Пластмассы с порошковыми наполнителями:

Пластмассы готовят на основе фенолформальдегидных и других смол. Другими компонентами пластмасс являются пластификаторы, красители и наполнители — древесная мука, молотый кварц, асбест, слюда, графит. Готовые изделия из пластмасс получают методом прессования.

Пресс-порошки (композиции) характеризуются изотропностью, невысоким уровнем механических свойств, низкой ударной вязкостью и удовлетворительными электроизоляционными характеристиками.

Марка порошка складывается из набора букв и набора цифр. Буква К слово «композиция». Следующее за ней число — номер (марка) связующей смолы, а цифра соответствует определенному наполнителю. Так цифра 1 обозначает, что наполнителем является целлюлоза, 2 — древесная мука, слюдяная мука, 4—плавиковый шпат, 5 — молотый кварц, 6 — асбест.

Марка К-236-21 означает, что пресс-порошок изготовлен на основе резольной смолы № 220 и наполнителей: древесной муки и целлюлозы. По назначению пресс-порошки делят на три группы:

- для изготовления слабонагруженных деталей общего назначения;
- для изготовления деталей электротехнического назначения;
- для изготовления деталей, обладающих повышенной водо- и стойкостью: К-18-53, К-18-42, К-214-42, повышенной ударной ФКП-1, ФКПМ-10, повышенной химической стойкостью: К-17-36, К-1! К-17-81, гнбостойкостью К-18-36.

Детали первой группы работают в условиях небольших механических нагрузок, действия тока высокого напряжения не более 10 кВ и температуры не выше 60°C.

Детали второй выдерживают действие тока напряжением не более 20 кВ при температуре не более 200°C.

Пресс-порошки на основе кремнийорганических смол находят применение в высокочастотной и низкочастотной технике для изготовления дугостойких и электроизоляционных деталей (каркасы катушек, переключатели, штепсельные разъемы), деталей антенных устройств, работающих при 200—250°C и кратковременно при 350—400°C. Наполнителями в них являются асбест и стекло.

Детали из пресс-порошков получают прямым или литьевым прессованием при 150—185°C.

Наиболее распространенными и прочными являются пенополистирол (ПС) и пенополивинилхлорид (ПХВ), способные работать при +60°C. Фенолкаучуковые (ФК) пенопласты имеют рабочую температуру 120—160°C. Наличие в их составе алюминиевой пудры (ФК-20-А-20) повышает рабочую температуру до 200—250°C. Пенопласт К-40 на кремнийорганической основе кратковременно выдерживает температуру 300°C. Пенопласты нашли широкое применение в качестве

теплоизоляционного материала в конструкциях холодильников, контейнеров, рефрижераторов и др. Они часто используются для заполнения внутренних полостей конструкций и тем самым повышают удельную прочность, жесткость и вибропрочность силовых элементов.

Керамические материалы

Керамика – неорганические твердые материалы, получаемые высокотемпературным обжигом из отформованных минеральных масс. Можно сказать, что керамика – это все материалы, не являющиеся полимерами и металлами. В керамических материалах между атомами существует ковалентная или ионная связь.

Для получения керамики имеется огромное количество природных соединений; они составляют до 85 % земной коры. Только на долю кремния приходится около 40 %.

Известно более 7000 различных изделий из керамики: от ферритов, величиной с булавочную головку, и тонких пленок для сенсорных устройств до огромных изоляторов ЛЭП.

Основа строительной, бытовой и художественной керамики – природные глины. Техническая керамика имеет более однородный состав, изготавливается из оксидов или безоксидных соединений.

При обжиге (1200-2500°C) одновременно формируются структура и свойства керамических материалов. Керамика всегда многофазна: она содержит кристаллическую, стекловидную и газовую фазы в различных пропорциях (рис.3.14).

Кристаллическая фаза представляет собой химические соединения или твердые растворы. Она является основной и определяет прочность, жаропрочность и другие важнейшие свойства керамики.

Стекловидная, или аморфная фаза – это связка; ее количество может колебаться в широких пределах: от 1 до 40 %. Она снижает прочность и термостойкость, но облегчает технологию производства.

Газовая фаза находится в порах керамики. По доле пор в объеме материала керамика делится на пористую и плотную. В технике чаще используется плотная керамика. Но и она содержит определенную долю пор.

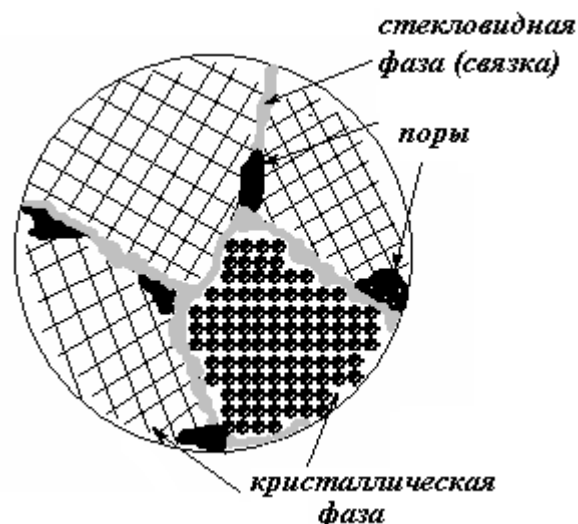


Рис. 3.14. Структура керамики

К достоинствам керамики относятся:

- высокая твердость и износостойкость;
- высокие рабочие температуры (до 3500°C);
- высокая коррозионная стойкость в различных средах;
- низкая тепло- и электропроводимость: керамические материалы – диэлектрики и теплоизоляторы;

малая плотность, легкие материалы.

Основным недостатком керамики является высокая хрупкость. Ударная вязкость керамики примерно в 40 раз меньше, чем у металлов. Это ограничивает ее применение в технике. Керамика имеет низкую прочность при растяжении и изгибе. Пластически не деформируется.

Высокие твердость и температуры плавления керамических материалов обусловлены большой энергией связи между атомами. Это ковалентные или ионные соединения. Сильная межатомная связь определяет высокое сопротивление деформации, поэтому специальной упрочняющей обработки для керамики не требуется.

Для повышения ударной вязкости керамики применяют различные способы. Прежде всего, в керамическом материале должно быть как можно меньше пор, являющихся зародышами трещин.

Керамические материалы классифицируют на техническую и тонкую керамику. Техническую керамику можно подразделить на 3 группы: оксидную, безоксидную (бескислородную) и металлокерамику.

Оксидную керамику получают из оксидов различных элементов: Al, Mg, Zr, Si, Be, U. Она состоит в основном из кристаллической фазы и пор. Стекловидная фаза появляется только за счет примесей.

Оксидная керамика твердая, огнеупорная, химически стойкая в кислотах, щелочах, на воздухе. Рабочие температуры составляют 0,8–0,9 от температур плавления (от 2000 до 3300°C). Но резких изменений температуры она не выдерживает.

Пористая керамика этой группы применяется как теплоизоляционный материал и огнеупорная футеровка камер сгорания, металлургических печей и ковшей (динасовый, магнезитовый, шамотный кирпич). Вспененная керамическая теплоизоляция «Бурана» имела всего 5 % материала и 95 % пор, заполненных инертным газом. Из пористой керамики делают также фильтры для различных жидкостей (воды, вина, масла).

Керамику на основе оксида алюминия Al_2O_3 называют корундовой. Ее применяют для производства обтекателей радиолокационных антенн, подшипников печных рольгангов, поддерживающих устройств для нагревателей термических печей, электро-изоляторов, сопел аргоно-дуговых горелок, форсунок для закачки воды в скважину (давление 150 атм), пескоструйных и дробеструйных установок, фильеров для волочения проволоки, нитеводителей в текстильной промышленности, режущего

инструмента, распределителей и шайб в бытовой сантехнике, торцевых уплотнителей для насосов.

Керамика на основе оксида циркония ZrO_2 имеет очень важную особенность. ZrO_2 испытывает 3 полиморфных превращения при нагреве: моноклинная решетка превращается в тетрагональную, а затем в кубическую. Тетрагональную решетку можно сохранить при низких температурах с помощью модифицирования. Тогда фазовое превращение начинается за счет приложенного напряжения. Из ZrO_2 делают твердооксидные топливные ячейки (для выработки электроэнергии), датчики содержания кислорода в расплаве стали.

В приборостроении, электротехнике и электронике применяется так называемая тонкая керамика: плотная и мелкозернистая (размер зерен 1-5 мкм). Это, например, ферриты – высокочастотные магнитомягкие материалы из оксидов железа $FeO \cdot Fe_2O_3$, спеченных или сплавленных в монокристалл без пор. Есть и магнитотвердые ферриты. Для изоляторов применяется электрофарфор. Есть специальная конденсаторная керамика (ультрафарфор, стеатит TiO_2) с высоким значением диэлектрической проницаемости ϵ .

Бескислородная (безоксидная) керамика – это карбиды Me_xC_y , нитриды Me_xN_y , бориды Me_xB_y и т.п. Это тугоплавкие соединения, их огнеупорность достигает $3500^\circ C$. Твердость приближается к твердости алмаза. Они обладают высокой износостойкостью и жаростойкостью.

Карборунд SiC – твердый, химически стойкий, легкий, жаростойкий материал. Из него делают нагреватели печей, чехлы термопар, лопатки газовых турбин, детали ДВС, шлифовальные круги, защитные покрытия на графите.

Нитрид кремния Si_3N_4 стоек в расплавленных металлах и шлаках. Применяется для деталей газовых турбин, жаростойких инструментов, тиглей, кристаллизаторов, деталей насосов для перекачки расплавленных металлов.

Керамико-металлические материалы, или керметы, получают путем перемешивания порошков тугоплавкого керамического соединения и металла. Затем смесь порошков прессуется и спекается. Керамическая составляющая может быть как оксидной, так и бескислородной.

Широко применяемые керамико-металлические материалы – это инструментальные твердые сплавы. Из них делают режущие пластины для фрез, сверл, зенкеров, резцов, а также штампы, волокна, бурильный инструмент. Они состоят из карбидов WC , TiC , TaC и кобальтовой связки. Применяются также материалы $Cr_7C_3 - Ni$, $Al_2O_3 - Cr$, $BeO - W$.

Каучук и его производные

Каучук - натуральный или синтетический материал, который характеризуется водонепроницаемостью, электроизоляционными свойствами и отличной эластичностью. Путем специальной обработки, из каучука получают резину. Каучук природный получают из млечного сока каучуконосных растений. Это молочно-белая жидкость, которая называется латексом.

Природный каучук встречается во многих растениях, которые совершенно не являются представителями единого ботанического семейства.

Синтетические каучуки – это основная масса эластомеров. Эти синтетические полимеры имеют возможность превращаться в резину путем вулканизации. Синтетический каучук получают с помощью полимеризации или сополимеризации нитрила акриловой кислоты, бутадиена, изопрена, хлорпрена, изобутилена, неопрена, стирола. Как и у натуральных каучуков, у синтетических тоже длинные макромолекулярные цепи, в некоторых случаях разветвленные, которые имеют средний молекулярный вес, равный сотням тысяч, а иногда и миллионам. В большинстве случаев, полимерные цепи в них имеют двойные связи, которые при вулканизации образуют пространственную сетку, а производимая таким образом резина, приобретает свои особенные физико-механические характеристики.

Синтетические каучуки классифицируются по мономерам, которые использовались для их получения (бутадиеновые, изопреновые и т.д.), так же по атомам в главной цепи или боковых группах (полисульфидные, уретановые, и др.). Их так же подразделяют по молекулярной массе (консистенции), по выпускной форме (твердые, жидкие, порошкообразные), и по содержанию наполнителей (ненаполненные и наполненные). Так же синтетические каучуки могут выпускаться в виде синтетических латексов - водных дисперсий. Термоэластопласты входят в особую группу каучуков.

Некоторые из видов синтетических каучуков (например, силиконовый каучук, полиизобутилен), являются насыщенными соединениями. И для их вулканизации применяются органические амины, перекиси и др. вещества. По ряду технических свойств отдельные виды синтетического каучука преобладают над натуральным каучуком.

Синтетические каучуки подразделяют на каучуки специального и общего назначения. Каучуки общего назначения – каучуки с совокупностью достаточно высоких технических свойств (эластичность, прочность и т.д.), которые подходят для массового производства обширного ассортимента изделий. Каучуки специального назначения - каучуки с одним или несколькими специфическими свойствами, которые гарантируют выполнение специальных требований к изделию и обеспечивают его работоспособность, зачастую, в экстремальных условиях работы.

Каучуки общего назначения: бутадиенстирольные, изопреновые, бутадиеновые, и т.д.

Каучуки специального назначения: этиленпропиленовые, бутилкаучук, хлоропреновые, уретановые, фторкаучуки и др.

На сегодняшний день основной областью применения натурального каучука остается шинная промышленность (около 70%), изготавливаются шины для автотранспорта, самолётов, велосипедов. Кроме того, каучук применяется для электроизоляции, для изготовления конвейерных лент высоких мощностей, клея, антикоррозийных покрытий котлов и труб, тонкостенных высокопрочных мелких изделий, в медицине, а также производства промышленных товаров и т.д.

Вулканизация — это технологический процесс взаимодействия каучуков с вулканизирующим агентом, при котором происходит сшивание молекул каучука в единую пространственную сетку. При этом повышаются прочностные характеристики каучука, его твёрдость и эластичность, снижаются пластические свойства, степень набухания и растворимость в органических растворителях. Вулканизирующими агентами могут являться: сера, пероксиды, оксиды металлов, соединения аминного типа и др. Для повышения скорости вулканизации используют различные ускорители.

Открытие процесса вулканизации приписывают Чарльзу Гудьери, запатентовавшему его в 1844 году. Процесс назван в честь Вулкана, древнеримского бога огня.

В процессе вулканизации каучук становится резиной.

Вулканизации подвергается обычно смесь каучука с различными компонентами, обеспечивающими необходимые эксплуатационные свойства резин: наполнителями (технический углерод, мел, каолин, полидисперсная кремнекислота и т.д.), пластификаторами (нефтяные и талловые масла, дибутилфталат и т.д.), противостарителями (бисфенолы, диамины и т.д.), ускорителями вулканизации (ксантогенатами, тиазолами, сульфенамидами и т.д.), активаторами вулканизации (оксидом цинка, оксидом магния и т.д.), замедлителями подвулканизации (фталевого ангидрида, N-нитрозодифениламин и т.д.).

Неорганические стекла

Неорганические стекла — это сложные расплавы высокой вязкости, состоящие из основных и кислотных оксидов.

Стеклообразное состояние является разновидностью аморфного. Беспорядочная структура жидкости при охлаждении «замораживается». Получается неправильная пространственная сетка. Стекло имеет рыхлую неоднородную структуру с поверхностными дефектами.

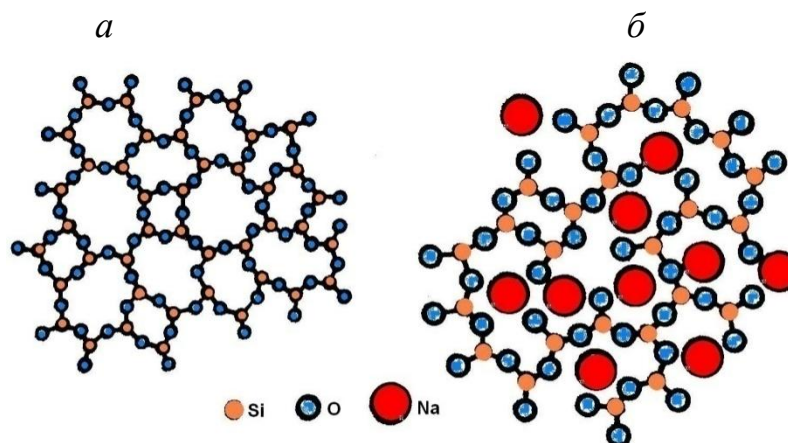


Рис.3.15. Структура стекла: *a* – кварцевое; *б* – щелочное

В состав стекол входят:

- *стеклообразующие оксиды* SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 , As_2O_5 . Они образуют структурный каркас стекла, или сетку;
- *модифицирующие оксиды* натрия, калия, лития, кальция, магния, бария. Они изменяют физико-химические свойства стекломассы, облегчая технологию производства;
- *оксиды для придания нужных характеристик*. Это оксиды алюминия, железа, свинца, титана, бериллия. Сами они структурный каркас не образуют, но частично замещают стеклообразующие оксиды.

Неорганические стекла классифицируются по назначению на технические, строительные и бытовые; по стеклообразующему веществу на силикатные, боросиликатные, алюмосиликатные, алюмофосфатные и алюмоборосиликатные; по содержанию модификаторов на щелочные, бесщелочные и кварцевые.

Свойства неорганических стекол изотропны, т.е. не зависят от направления.

Важнейшие свойства стекол, определяющие их применение, – оптические: прозрачность, отражение, рассеяние, поглощение, преломление. Обычное листовое стекло 90 % видимого света пропускает, а ультрафиолетовое излучение поглощает. Кварцевые стекла прозрачны для ультрафиолетовых лучей.

Стекла можно закаливать, нагревая выше температуры стеклования и быстро охлаждая в масле или потоке воздуха. Ударная вязкость стекла увеличивается при закалке в 5–7 раз, прочность – в 3–6 раз, повышается термостойкость.

Триплекс – это два листа закаленного стекла, склеенные прозрачной полимерной пленкой. Могут быть плоскими и гнутыми. При разрушении триплекса осколки удерживаются на полимерной пленке и не травмируют окружающих.

Термопан - между двумя стеклами имеется воздушный промежуток, который обеспечивает теплоизоляцию.

Есть стекла с высокой защитой от инфракрасных лучей. Они содержат индий и олово, изготавливаются многослойными, что позволяет длительное время выдерживать высокие температуры в процессе эксплуатации.

Ситаллы (кристаллические стекла) или стеклокерамика. Они состоят из стекловидной и кристаллической фазы. Структура ситаллов однородная, мелкозернистая: зерна имеют размер 1–2 мкм.

Получают ситаллы введением в расплав стекла веществ, служащих центрами кристаллизации (солей золота, серебра, меди). В результате 95 % объема занимает кристаллическая фаза, остальное – стекловидная прослойка (рис.3.16).

Твердость ситаллов близка к твердости закаленной стали, они термостойки до 700–900°C. Их ударная вязкость в 3–4 раза выше, чем у стекол. Они износостойки, являются диэлектриками и проявляют высокую химическую стойкость.

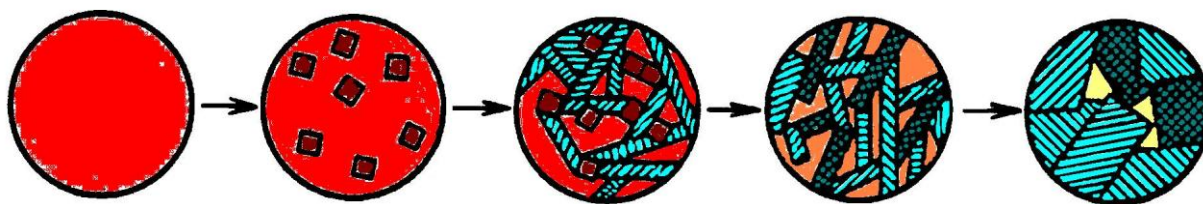


Рис.3.16. Кристаллизация стекла при введении модификаторов в расплав

Применение ситаллов включает детали ДВС, подшипники, трубы для химической промышленности, оболочки вакуумных электронных приборов, детали радиоэлектроники, жаростойкие покрытия на металлах, фильтры для вытягивания синтетических волокон, лопасти компрессоров и сопла реактивных двигателей.

Древесина и ее разновидности

Древесина — это органический материал растительного происхождения, представляющий собой сложную ткань древесных растений. Она составляет основную массу ствола деревьев. Древесина является волокнистым материалом, причем волокна в ней расположены вдоль ствола. Поэтому для нее характерна анизотропия, т.е. ее свойства вдоль и поперек волокон различны.

Достоинствами древесины являются относительно высокая прочность; малая объемная масса и; следовательно, высокая удельная прочность; хорошее сопротивление ударным и вибрационным нагрузкам; малая

теплопроводность и, следовательно, хорошие теплоизоляционные свойства; низкий температурный коэффициент линейного расширения; химическая стойкость к действию органических кислот, солей и масел; хорошая технологичность (легкость обработки и изготовления изделий). К недостаткам древесины следует отнести гигроскопичность, т.е. способность впитывать влагу, и возникающую из-за изменения влажности нестабильность свойств и размеров (усушка и набухание), а также отсутствие огнестойкости, неоднородность строения, склонность к гниению. Для защиты древесины от увлажнения, загнивания и воспламенения производят окраску лаками и красками, опрыскивание и пропитку специальными химическими веществами.

Материалы из древесины можно разделить на лесоматериалы, сохраняющие природную физическую структуру и химический состав древесины, и древесные материалы, полученные путем специальной обработки исходной древесины. В свою очередь лесоматериалы подразделяются на необработанные (круглые), пиломатериалы, лущёные (древесный шпон) и колотые.

Круглые лесоматериалы получают из спиленных деревьев после очистки от ветвей, разделения поперек ствола на части требуемой длины и окорки. Они применяются в строительстве, в качестве опор и столбов линий электропередач, в качестве сырья.

Пиломатериалы получают лесопилением. Пиломатериалы с опилёнными кромками называют обрезными, неопиленными.— необрезными. Подвергающиеся после пиления дальнейшей обработке называют строганными. Пиломатериалы делятся в зависимости от поперечного сечения на следующие виды: *брусья* (толщина или ширина больше 100 мм), *бруски* (ширина не более двойной толщины), *доски* (ширина более двойной толщины), *планки* (узкие и тонкие доски). Применяются пиломатериалы в свойства; низкий температурный коэффициент линейного расширения; химическая стойкость к действию органических кислот, солей и масел; хорошая технологичность (легкость обработки и изготовления изделий). К недостаткам древесины следует отнести гигроскопичность, т.е. способность впитывать влагу, и возникающую из-за изменения влажности нестабильность свойств и размеров (усушка и набухание), а также отсутствие огнестойкости, неоднородность строения, склонность к гниению. Для защиты древесины от увлажнения, загнивания и воспламенения производят окраску лаками и красками, опрыскивание и пропитку специальными химическими веществами.

Модифицированная древесина представляет собой материал, полученный при обработке древесины каким-либо химическим веществом (смолой, аммиаком и др.) с целью повышения механических свойств и

придания водостойкости. После пропитки производится полимеризация или поликонденсация введенного вещества.

Древесностружечные плиты изготовляют горячим прессованием древесной стружки со связующим (резольными фенолформальдегидными смолами). Плиты могут быть облицованными шпоном, фанерой или бумагой. Плиты выпускаются толщиной от 10 до 25 мм. Из них изготавливают мебель, строительные конструкции т.п.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготовляют путем прессования древесных волокон при высокой температуре, иногда с добавлением связующих веществ. Плиты изготавливаются толщиной от 3 до 8 мм. Применяются в строительстве, в вагостроении, в мебельной промышленности.

Древеснослоистые пластики (ДСП) изготавливаются из листов древесного шпона, пропитанных фенолформальдегидной смолой и спрессованных в листы или плиты. ДСП выпускается толщиной от 1 до 60 мм. Применяются ДСП как конструкционный материал в судостроении, электроизоляционный материал, для изготовления подшипников скольжения, зубчатых колес и др.

Композиционные материалы на неметаллической основе

По сравнению с композиционными материалами на металлической основе эти материалы отличаются хорошей технологичностью, низкой плотностью и в ряде случаев более высокой удельной прочностью и жесткостью. Также они обладают высокой коррозионной стойкостью, имеют хорошие теплозащитные и амортизационные свойства и т.д.

Для большинства КМ с неметаллической матрицей характерны следующие недостатки: низкая прочность связи волокна с матрицей, резкая потеря прочности при повышении температуры выше 100—200°C, плохая свариваемость.

Для КМ на неметаллической основе с особо высокой теплостойкостью используют керамические и углеродные матрицы. В качестве упрочнителей применяют высокопрочные и высокомодульные углеродные и борные, стеклянные и органические волокна в виде нитей, жгутов, лент, нетканых материалов.

Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов материалов. Их применение в различных областях дает значительный экономический эффект. В качестве наполнителей ПКМ используется множество различных веществ.

Стеклопластики – полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами, которые формируют из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как терморезактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.). Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется стеклотекстолитом.

Стеклопластики – достаточно дешевые материалы, широко используются в строительстве, судостроении, радиоэлектронике, производстве бытовых предметов, спортивного инвентаря, оконных рам для современных стеклопакетов и т.п.

Углепластики – наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Термическая обработка волокна проводится, как правило, в три этапа (окисление – 220°C, карбонизация – 1000–1500°C и графитизация – 1800–3000°C) и приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием (до 99,5% по массе) углерода. В зависимости от режима обработки и исходного сырья, полученное углеволокно имеет различную структуру. Для изготовления углепластиков используются те же матрицы, что и для стеклопластиков – чаще всего – терморезактивные и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми является их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень легкие и, в то же время, прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, черного цвета, что несколько ограничивает области их применения. Углепластики используются в авиации, ракетостроении, машиностроении, производстве космической техники, медтехники, протезов, при изготовлении легких велосипедов и другого спортивного инвентаря.

На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные **углеграфитовые материалы** – наиболее термостойкие композиционные материалы (углеуглепластики), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000°C. Существует несколько способов производства подобных материалов. По одному из них углеродные волокна пропитывают фенолформальдегидной смолой, подвергая затем действию высоких температур (2000°C), при этом

происходит пиролиз органических веществ и образуется углерод. Чтобы материал был менее пористым и более плотным, операцию повторяют несколько раз. Другой способ получения углеродного материала состоит в прокаливании обычного графита при высоких температурах в атмосфере метана. Плотность такого материала увеличивается по сравнению с плотностью графита в полтора раза. Из углеуглепластиков делают высокотемпературные узлы ракетной техники и скоростных самолетов, тормозные колодки и диски для скоростных самолетов и многоразовых космических кораблей, электротермическое оборудование.

Боропластики – композиционные материалы, содержащие в качестве наполнителя борные волокна, внедренные в термореактивную полимерную матрицу, при этом волокна могут быть как в виде моноплетей, так и в виде жгутов, оплетенных вспомогательной стеклянной нитью или лент, в которых борные нити переплетены с другими нитями. Благодаря большой твердости нитей, получающийся материал обладает высокими механическими свойствами (борные волокна имеют наибольшую прочность при сжатии по сравнению с волокнами из других материалов) и большой стойкостью к агрессивным условиям, но высокая хрупкость материала затрудняет их обработку и накладывает ограничения на форму изделий из боропластиков. Термические свойства боропластиков определяются термостойкостью матрицы, поэтому рабочие температуры, как правило, невелики.

Применение боропластиков ограничивается высокой стоимостью производства борных волокон, поэтому они используются главным образом в авиационной и космической технике в деталях, подвергающихся длительным нагрузкам в условиях агрессивной среды.

Органопластики – композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже – природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д. В термореактивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Материал содержит 40–70% наполнителя. Содержание наполнителя в органопластиках на основе термопластичных полимеров – полиэтилена, ПВХ, полиуретана и т.п. – варьируется в значительно больших пределах – от 2 до 70%. Органопластики обладают низкой плотностью, они легче стекло- и углепластиков, относительно высокой прочностью при растяжении; высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но, в то же время, низкой прочностью при сжатии и изгибе.

Важную роль в улучшении механических характеристик органопластика играет степень ориентация макромолекул наполнителя. Макромолекулы жесткоцепных полимеров, таких, как полипарафенил-терефталамид (кевлар) в основном ориентированы в направлении оси

полотна и поэтому обладают высокой прочностью при растяжении вдоль волокон. Из материалов, армированных кевларом, изготавливают пулезащитные бронежилеты.

Органопластики находят широкое применение в авто-, судо-, машиностроении, авиа- и космической технике, радиоэлектронике, химическом машиностроении, производстве спортивного инвентаря и т.д.

Полимеры, наполненные порошками – композиты, в которых наполнителями служат бекелиты и другие смолы. **Бекелит** – продукт поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии щелочного катализатора. Известно более 10000 марок наполненных полимеров. Наполнители используются как для снижения стоимости материала, так и для придания ему специальных свойств. Технология приготовления бекелита: смесь частично отвержденного полимера и наполнителя – пресс-порошок - под давлением необратимо затвердевает в форме.

Широко применяются разнообразные наполнители так терморезистивных, так и термопластичных полимеров. Карбонат кальция и каолин (белая глина) дешевы, запасы их практически не ограничены, белый цвет дает возможность окрашивать материал. Применяют для изготовления жестких и эластичных поливинилхлоридных материалов для производства труб, электроизоляции, облицовочных плиток и т.д., полиэфирных стеклопластиков, наполнения полиэтилена и полипропилена. Добавление талька в полипропилен существенно увеличивает модуль упругости и теплостойкость данного полимера. Сажа больше всего используется в качестве наполнителя резин, но вводится и в полиэтилен, полипропилен, полистирол и т.п. По-прежнему широко применяют органические наполнители – древесную муку, молотую скорлупу орехов, растительные и синтетические волокна. Для создания биоразлагающихся композитов в качестве наполнителя используют крахмал.

Текстолиты – слоистые пластики, армированные тканями из различных волокон. Технология получения текстолитов была разработана в 1920-х на основе фенолформальдегидной смолы. Полотна ткани пропитывали смолой, затем прессовали при повышенной температуре, получая текстолитовые пластины. Роль одного из первых применений текстолитов – покрытия для кухонных столов – трудно переоценить.

Основные принципы получения текстолитов сохранились, но сейчас из них формуют не только пластины, но и фигурные изделия. И, конечно, расширился круг исходных материалов. Связующими в текстолитах является широкий круг терморезистивных и термопластичных полимеров, иногда даже применяются и неорганические связующие – на основе силикатов и фосфатов. В качестве наполнителя используются ткани из самых разнообразных волокон – хлопковых, синтетических, стеклянных,

углеродных, асбестовых, базальтовых и т.д. Соответственно разнообразны свойства и применение текстолитов.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите материалы, относящиеся к неметаллам.
2. Какие материалы называют пластмассами. Назовите виды пластмасс.
3. Что такое неорганические стекла? Назовите области их применения.
4. Перечислите свойства керамических материалов и укажите области их применения.
5. Какие материалы называются композиционными? В чем отличие КМ на металлической основе от КМ на неметаллической основе.
6. Какие материалы называются углепластиковыми? Назовите области применения углепластиков.
7. Какие материалы называют ситаллы? Назовите их особенности и области применения.
8. Перечислите группы древесных материалов, с указанием их свойств областей применения.
9. Укажите главную особенность полимерных материалов. Какие полимерные материалы вам известны из повседневной жизни?

РАЗДЕЛ V

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лекция 12

Материалы для режущих, измерительных и деформирующих инструментов

План

1. Материалы для режущих и измерительных инструментов.
2. Углеродистые стали.
3. Быстрорежущие стали.
4. Спеченные твердые сплавы.
5. Сверхтвердые материалы.
6. Стали для измерительных инструментов.
7. Стали для инструментов холодной обработки давлением.
8. Стали для инструментов горячей обработки давлением.

Материалы для режущих и измерительных инструментов

Инструментальные материалы предназначены для изготовления инструментов, применяемых в процессе металлообработки, а также для измерений. Эти материалы подразделяются на инструментальные стали, твердые сплавы и особо твердые материалы.

По назначению инструментальные материалы классифицируются на материалы для режущего, штампового и измерительного инструментов.

Режущий инструмент работает в условиях длительного контакта и трения с обрабатываемым металлом. В процессе эксплуатации должны сохраняться неизменными конфигурация и свойства режущей кромки. Материал для изготовления режущего инструмента должен обладать высокой твердостью (60–62 HRC₃) и износостойкостью.

Вместе с тем, режущий инструмент должен обладать высокой прочностью и достаточной вязкостью, чтобы сохранять форму режущей кромки и сопротивляться разрушению при изгибающем (резцы) и крутящем (сверла) моментах и динамических нагрузках.

В процессе резания происходит нагрев режущей кромки инструмента. Поэтому основным требованием, предъявляемым к инструментальным

материалам, является высокая теплостойкость (красностойкость) — способность сохранять твердость и режущие свойства при длительном нагреве в процессе работы.

По теплостойкости применяемые материалы подразделяются на следующие группы:

- углеродистые и низколегированные стали с теплостойкостью до 200°C (*нетеплостойкие*); среднелегированные стали с теплостойкостью до 400–500°C (*полутеплостойкие*); высоколегированные быстрорежущие стали с теплостойкостью до 600–640°C (*теплостойкие*);
- твердые сплавы с теплостойкостью до 800–1000°C;
- осотвердые материалы с теплостойкостью до 1200°C.

Углеродистые стали

Углеродистые стали применяют для изготовления режущих инструментов, работающих в условиях, не вызывающих нагрева рабочей кромки свыше 150-200°C. Они используются также для штамповых и измерительных инструментов.

Основные достоинства углеродистых сталей - получение высокой твердости в поверхностном слое при сохранении вязкой сердцевины. Это в ряде случаев обеспечивает минимальную поводку инструмента и повышение его механических свойств; низкую твердость в отожженном состоянии НВ 1800-2000 МПа, позволяющую использовать высокопроизводительные методы изготовления инструмента (накатку, насечку); закалку с низких температур (770-820°C); получение после закалки малых количеств остаточного аустенита, что обеспечивает им повышенное сопротивление пластической деформации; сохранение чистой поверхности при закалке вследствие охлаждения в воде, что упрощает очистку инструментов; низкую стоимость.

Вместе с тем недостатки углеродистых сталей существенно ограничивают область их применения: вследствие низкой теплостойкости - способности сохранять твердость лишь при нагреве до температур, не превышающих 170-200°C. Меньшая прочность по сравнению с быстрорежущими сталями связана с получением более крупного зерна (8-9 балл) при оптимальных температурах закалки. Склонность к росту зерна при незначительных перегревах при закалке приводит к понижению механических свойств. Ограниченная технологическая закаливаемость требует применения высоких скоростей охлаждения в перлитном интервале, что приводит к неоднородной твердости, особенно у инструментов небольшой толщины, а также к большой поводке и термическим трещинам.

Стали нельзя применять для относительно крупных инструментов (диаметром или толщиной больше 30 мм), если они предназначены для работы при повышенных давлениях. Стали склонны к отпуску поверхностных слоев при нагреве во время шлифования и заточки.

Углеродистые инструментальные легки отличаются от конструкционных углеродистых количеством углерода и маркируются иначе. В начале марки стали стоит буква **У**, указывающая на класс стали – инструментальная сталь. Далее стоит цифра, указывающая на содержание углерода в десятых долях процента (от 0,7 до 1,3%). Все стали дублируются и в конце марки стоит буква **А**, что показывает повышенное качество стали с меньшим содержанием серы и фосфора.

Назначение марок сталей указано в таблице 4.

Таблица 4 – Назначение инструментальной углеродистой стали

Сталь	Назначение
У7, У7А	Инструменты для обработки дерева - топоры, колуны, стамески, долота; пневматические инструменты небольших размеров - зубила, обжимки, бойки. Слесарно-монтажные инструменты - кусачки, плоскогубцы, острогубцы, молотки, кувалды, отвертки, бородки и др.
У8, У8А	Инструменты для обработки дерева - фрезы, зенковки, цековки, топоры, стамески, долота, продольные и дисковые пилы. Накатные ролики. Плиты и стержни для форм литья под давлением оловянно-свинцовых сплавов. Обжимки, кернеры, бородки, отвертки, плоскогубцы, острогубцы, боковые кусачки
У9, У9А	Инструменты для обработки дерева, слесарно-монтажные инструменты, калибры простой формы и пониженных классов точности
У10, У10А	Столярные пилы ручные и машинные, ручные ножовки, спиральные сверла; слесарные шаберы, напильники, накатные ролики; штампы для холодной штамповки деталей небольших размеров и простой формы; калибры простой формы и пониженных классов точности
У11, У11А	То же, а также ручные метчики, холодновысадочные пуансоны и штампы мелких размеров, калибры простой формы и пониженных классов точности
У12, У12А	То же, а также небольшие пресс-формы для пластмасс
У13, У13А	Инструменты повышенной износостойкости, работающие при умеренных и значительных давлениях без разогрева режущей кромки (напильники, бритвенные ножи, лезвия, острые хирургические инструменты, шаберы, гравировальные инструменты)

Углеродистые стали используют для инструментов, не подвергаемых в процессе работы нагреву до температур свыше 150-200°C и не требующих в процессе изготовления значительного шлифования (напильники, метчики, развертки, ножовки, топоры, колуны, стамески, слесарно-монтажные и хирургические инструменты).

Оптимальное содержание углерода определяется особенностями работы инструмента, его формой и технологией изготовления. Если инструмент подвергается в основном ударным нагрузкам (деревообрабатывающий инструмент, зубила, некоторые штампы), целесообразно применять доэвтектоидные стали с 0,6-0,7% С с трооститной структурой. Для остального режущего инструмента более целесообразна мартенситная структура с избыточными карбидами, образующаяся в заэвтектоидных сталях, содержащих 0,9- 1,3% С. Эти стали имеют высокую твердость и износостойкость и удовлетворительные механические свойства. Сталь эвтектоидного состава (0,8% С) более склонна к росту зерна (перегреву), обладает меньшей стабильностью свойств и в связи с этим находит ограниченное применение.

Быстрорежущие стали

Быстрорежущие стали — легированные стали, предназначенные, главным образом, для изготовления металлорежущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания.

Быстрорежущая сталь должна обладать высоким сопротивлением разрушению, твердостью (в холодном и горячем состояниях) и красностойкостью.

Высоким сопротивлением разрушению и твердостью в холодном состоянии обладают и углеродистые инструментальные стали. Однако, инструмент из них не в состоянии обеспечить высокоскоростные режимы резания. Легирование быстрорежущих сталей вольфрамом, молибденом, ванадием и кобальтом обеспечивает горячую твердость и красностойкость стали.

К сталям нормальной теплостойкости относятся вольфрамовые P18, P12, P9 и вольфрамомолибденовые P6M5, P6M3, P8M3. Эти стали имеют твердость в закаленном состоянии 63...66 HRC, предел прочности при изгибе 2900...3400 МПа, ударную вязкость 2,7...4,8 Дж/м² и теплостойкость 600...650°C. Указанные марки сталей получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов.

Они используются при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс. Иногда применяются быстрорежущие стали, дополнительно легированные азотом (P6AM5, P18A и др.). Легирование

азотом повышает режущие свойства инструмента на 20...30 %, твердость - на 1- 2 единицы HRC.

Стали повышенной теплостойкости характеризуются повышенным содержанием углерода — 10P8M3, 10P6M5; ванадия — P12Ф3, P2M3Ф8, P9Ф5; кобальта — P18Ф2K5, P6M5K5, P9K5, P9K10, P9M4K8Ф и др.

Твердость сталей в закаленном состоянии достигает 66...70 HRC, они имеют более высокую теплостойкость (до 620...670°C).

Это дает возможность использовать их для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, а также конструкционных сталей повышенной прочности и закаленных. Период стойкости инструментов из таких сталей в 3—5 раз выше, чем из сталей P18, P6M5.

Стали высокой теплостойкости характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов — B11M7K.23, B14M7K25, 3B20K20X4Ф. Они имеют твердость 69...70 HRC, и теплостойкость 700...720°C.

Наиболее рациональная область их использования — резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов. В последнем случае период стойкости инструментов в 30 - 80 раз выше, чем из стали P18, и в 8 - 15 раз выше, чем из твердого сплава BK8. При резании конструкционных сталей и чугунов период стойкости возрастает менее значительно (в 3 - 8 раз).

Недостатком всех быстрорежущих сталей является высокая стоимость легирующих компонентов. Поэтому, в последнее время, быстрорежущие стали применяются очень ограниченно.

Спеченные твердые сплавы

Твердые сплавы — это твердые и износостойкие металлические материалы, способные сохранять эти свойства при 900—1150°C. В основном изготавливаются из высокотвердых и тугоплавких материалов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, хрома, связанные кобальтовой металлической связкой, при различном содержании кобальта или никеля.

Различают спеченные и литые твердые сплавы. Главной особенностью спеченных твердых сплавов является то, что изделия из них получают методами порошковой металлургии и они поддаются только обработке шлифованием или физико-химическим методам обработки (лазер, ультразвук, травление в кислотах и др.), а литые твердые сплавы предназначены для наплавки на оснащаемый инструмент и проходят не только механическую, но часто и термическую обработку (закалка, отжиг, старение и др.). Порошковые твердые сплавы закрепляются на оснащаемом инструменте методами пайки или механическим креплением.

Твердые сплавы различают по металлам карбидов, в них присутствующих: вольфрамовые — ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25; титано-вольфрамовые — Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В; титано-тантало-вольфрамовые — ТТ7К12, ТТ10К8Б. Безвольфрамовые ТНМ20, ТНМ25, ТНМ30.

По химическому составу твердые сплавы классифицируют:

- вольфрамокобальтовые твердые сплавы (ВК);
- титановольфрамокобальтовые твердые сплавы (ТК);
- титанотанталовольфрамокобальтовые твердые сплавы (ТТК).

Твердые сплавы по назначению делятся (классификация ИСО) на:

P — для стальных отливок и материалов, при обработке которых образуется сливная стружка;

M — для обработки труднообрабатываемых материалов (обычно нержавеющей стали);

K — для обработки чугуна;

N — для обработки алюминия, а также других цветных металлов и их сплавов;

S — для обработки жаропрочных сплавов и сплавов на основе титана;

H — для закаленной стали.

Из-за дефицита вольфрама разработана группа безвольфрамовых твердых сплавов, называемых керметами. Эти сплавы содержат в своем составе карбиды титана (TiC), карбонитриды титана (TiCN), связанные никельмолибденовой основой. Технология их изготовления аналогична вольфрамосодержащим твердым сплавам.

Эти сплавы по сравнению с вольфрамовыми твердыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, ударную вязкость, чувствительны к перепаду температур из-за низкой теплопроводности, но имеют преимущества — повышенную теплостойкость (1000°C) и низкую схватываемость с обрабатываемыми материалами, благодаря чему не склонны к наростообразованию при резании. Поэтому их рекомендуют использовать для чистового и получистового точения, фрезерования.

Твердые сплавы изготавливают путем спекания смеси порошков карбидов и кобальта. Порошки предварительно изготавливают методом химического восстановления (1-10 мкм), смешивают в соответствующем соотношении и прессуют под давлением 200—300 кгс/см², а затем спекают в формах, соответствующих размерам готовых пластин, при температуре 1400—1500°C, в защитной атмосфере. Термической обработке твердые сплавы не подвергаются, так как сразу же после изготовления обладают требуемым комплексом основных свойств.

Некоторые марки сплава, имея одинаковый химический состав, отличаются размером зерен карбидных составляющих, что определяет различие их физико-механических и эксплуатационных свойств, а отсюда и областей применения.

Свойства марок твердых сплавов рассчитаны таким образом, чтобы выпускаемый ассортимент мог в максимальной степени удовлетворить потребности современного производства. При выборе марки сплава следует учитывать: область применения сплава, характер требования, предъявляемых к точности обрабатываемых поверхностей, состояние оборудования и его кинематические и динамические данные.

Обозначения марок сплавов построено по следующему принципу:

1 группа - сплавы содержащие карбид вольфрама и кобальт. Обозначаются буквами ВК, после которых цифрами указывается процентное содержание в сплаве кобальта.

К этой группе относятся следующие марки: ВК3, ВК3М, ВК6, ВК6М, ВК60М, ВК6КС, ВК6В, ВК8, ВК8ВК, ВК8В, ВК10КС, ВК15, ВК20, ВК20КС, ВК10ХОМ, ВК4В.

2 группа - титановольфрамовые сплавы, имеющие в своем составе карбид титана, карбид вольфрама и кобальт. Обозначается буквами ТК, при этом цифра, стоящая после букв Т обозначает % содержание карбидов титана, а после буквы К - содержание кобальта. К этой группе относятся следующие марки: Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4.

3 группа — титанотанталовольфрамовые сплавы, имеющие в своем составе карбид титана, тантала и вольфрама, а также кобальт и обозначаются буквами ТТК, при этом цифра, стоящая после ТТ % содержание карбидов титана и тантала, а после буквы К - содержание кобальта. К этой группе относятся следующие марки: ТТ7К12, ТТ20К9.

4 группа — сплавы с износостойкими покрытиями. Имеют буквенное обозначение ВП. К этой группе относятся следующие марки: ВП3115 (основа ВК6), ВП3325 (основа ВК8), ВП1255 (основа ТТ7К12).

Сверхтвердые материалы

Сверхтвёрдые материалы — группа веществ, обладающих высочайшей твердостью, к которой относят материалы, твердость и износоустойчивость которых превышает твердость и износоустойчивость твердых сплавов на основе карбидов вольфрама и титана с кобальтовой связкой карбидтитановых сплавов на никель-молибденовой связке. Широко применяемые сверхтвердые материалы: электрокорунд, победит (один из самых твердых), оксид циркония, карбид кремния, карбид бора, боразон, диборид бора, алмаз. Сверхтвёрдые материалы часто применяются в качестве материалов для абразивной обработки.

Делятся сверхтвёрдые материалы на две группы: композиционные материалы, изготовленные на основе нитрида бора (композиты), и поликристаллические и монокристаллические синтетические алмазы.

Выпускают следующие марки поликристаллических алмазов: АСБ – типа баллас (АСБ-6, АСБ-5, АСБ-5А); АСПК – типа карбонадо (АСПК-3, АСПК-2, АСПК-1); СВ, СВАБ, СВС – тип СВ алмазные спеки, композиция нитрида бора и алмазных порошков.

Поликристаллическое строение алмазов приведённых марок, позволяет им обладать высокой динамической прочностью и изотропностью механических свойств, что позволяет использовать лезвийный инструмент, оснащённый вставками из алмаза, при обработке труднообрабатываемых и особопрочных материалов.

Монокристаллические алмазы производят двух марок: АСТ и САМ. Из марки САМ изготавливают режущий инструмент для обработки радиотехнической керамики, полупроводниковых материалов, высококремистых цветных сплавов, марка алмаза АСТ используется для изготовления наконечников измерительных приборов.

Стали для измерительных инструментов

Измерительный инструмент служит для проверки размеров изготавливаемых деталей. При измерении поверхность инструмента непосредственно соприкасается с поверхностью проверяемой детали и изнашивается. Поэтому поверхность измерительного инструмента должна быть твердой и износостойкой для сохранения размеров и формы в процессе работы. Для измерительного инструмента (особенно высоких классов точности) большое значение имеет сохранение постоянства линейных размеров и формы закаленного инструмента в течение длительного времени. Постепенное изменение размеров и формы закаленного инструмента связано с уменьшением тетрагональности решетки мартенсита, мартенситным превращением остаточного аустенита, уменьшением и перераспределением внутренних напряжений (естественным старением). Хотя это изменение и невелико, однако недопустимо для инструмента высокой точности. Процессы старения протекают медленно; результаты старения становятся заметны через 3—6 месяцев и значительно возрастают через 10—12 месяцев после проведения термической обработки. Поэтому при термической обработке измерительного инструмента большое внимание уделяется стабилизации напряженного состояния, мартенсита и остаточного аустенита, что достигается соответствующим режимом низкотемпературного отпуска (называемого искусственным старением) и обработкой при температурах ниже нуля.

Для получения правильного, точного профиля и размера измерительного инструмента после термической обработки необходимо обеспечить минимальное его коробление при закалке.

Калибры и плитки высоких классов точности изготавливают из сталей X, ХВГ, калибры простой формы и пониженных классов точности — из сталей У10А, У11А, У12А, 11Х; лекала сложной формы — из стали Х; плоские скобы, угольники и шаблоны — из сталей 15, 20, 15Х, 20Х; плоские линейки, угольники — из сталей 50, 50Х, 55; инструменты, стойкие против коррозии, — из стали 40Х13.

Стали для измерительного инструмента Стали для измерительного инструмента должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, небольшим коэффициентом теплового расширения и сохранять постоянство размеров.

Стали для инструментов холодной обработки давлением

Основные свойства, которыми должны обладать стали для штампов и других инструментов холодной обработки давлением, - высокие твердость, износостойкость, прочность, сочетающиеся с удовлетворительной вязкостью. При больших скоростях деформирования, вызывающих разогрев рабочей кромки инструментов до 450°C, от сталей требуется достаточная теплостойкость. Для штампов со сложной гравюрой важно обеспечить минимальные объемные изменения при закалке.

В связи с разнообразием условий деформирования, формы и размеров штампов применяют различные стали.

Низколегированные стали X, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, так же как и углеродистые У10, У И, У12, используют преимущественно для вытяжных и высадочных штампов, которые из-за несквозной прокаливаемости имеют твердый износостойкий слой и вязкую сердцевину, позволяющую работать при небольших ударных нагрузках.

Вытяжные штампы, подвергающиеся интенсивному износу без динамических нагрузок, после неполной закалки отпускают при 150-180°C на твердость HRC 58-61. Высадочные штампы и пуансоны, работающие с ударными нагрузками, подвергают отпуску при 275-325°C на твердость рабочей части HRC 52-54.

Высокохромистые стали X12, X12М, X12Ф1 обладают высокой износостойкостью и глубокой прокаливаемостью (150-200 мм и более). Их широко применяют для изготовления крупных инструментов сложной формы: вырубных, обрезных, чеканочных штампов повышенной точности, штампов выдавливания, калибровочных волочильных досок, накатных роликов и др. Эти стали близки к быстрорежущим: по структуре после отжига относятся к ледебуритному классу, после нормализации к мартенситному. Их высокая износостойкость обусловлена большим количеством карбидов СГ7С3, сохраняющихся в структуре после закалки. Вместе с тем большое количество карбидной фазы (примерно 15-17% у

сталей X12M и X12Ф1 и около 30% у стали X12) приводит к повышенной карбидной неоднородности, вызывающей снижение прочности и вязкости. Наиболее сильно этот недостаток выражен у стали X12. По этой причине чаще применяют стали X12M и X12Ф1.

Структура и свойства высокохромистых сталей в сильной степени зависят от температуры закалки, так как с ее повышением увеличивается растворимость карбидов, концентрация углерода и хрома в аустените. Это приводит к резкому снижению интервала температур мартенситного превращения. Изменение твердости стали X12Ф1 характеризуется кривой с максимумом. Повышение твердости при нагреве до 1075°C вызвано увеличением твердости мартенсита, снижение твердости при закалке с более высокой температуры - интенсивным увеличением в структуре остаточного аустенита. Сохранение остаточного аустенита обуславливает небольшие объемные изменения при закалке.

Стали X12Ф1 и X12M обрабатывают как на первичную, так и на вторичную твердость. На первичную твердость их закаливают с более низких температур, когда количество остаточного аустенита невелико, затем подвергают низкому отпуску (150-170°C), сохраняющему высокую твердость (HRC 61-63). Такой режим обеспечивает наибольшую прочность при низкой теплостойкости и применяется для большинства штампов и накатных роликов.

Сталь X6ВФ содержит меньше углерода и хрома и обладает меньшей карбидной неоднородностью, чем высокохромистые стали. Поэтому она превосходит их по прочности (в среднем на 500 МПа) и вязкости (почти в 2 раза), более пригодна для штампов с тонкой гравюрой и резьбонакатных роликов. При закалке сталь X6ВФ более склонна к росту зерна, поэтому обрабатывается только на первичную твердость.

Хромокремнистые стали 4ХС, 6ХС и дополнительно легированные вольфрамом (2,0-2,7%) 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С образуют группу сталей повышенной вязкости, используемых для изготовления инструментов, подвергающихся ударам (зубила, гибочные штампы, обжимные матрицы и др.). Повышение вязкости сталей достигается снижением содержания углерода (до 0,4-0,6%) и увеличением температуры отпуска. Стали 4ХС и 6ХС отпускают на твердость HRC 52-55 при температуре 240-270°C, которая несколько ниже температуры проявления отпускной хрупкости первого рода. Стали с вольфрамом, нечувствительные к отпускной хрупкости второго рода, подвергают отпуску в более широком интервале температур: при 200-250°C (HRC 53-58) или при 430-470°C (HRC 45-50). Эти стали благодаря сохранению более мелкого зерна имеют несколько большую вязкость и предназначены для инструментов, работающих с повышенными ударными нагрузками.

Стали для инструментов горячей обработки давлением

Стали для штампов горячей обработки давлением работают в тяжелых условиях, испытывая интенсивное ударное нагружение, периодический нагрев и охлаждение поверхности. От них требуется сложный комплекс эксплуатационных и технологических свойств. Кроме достаточной прочности, износостойкости, вязкости и прокаливаемости (для крупных штампов) эти стали должны обладать также теплостойкостью, окалиностойкостью и разгаростойкостью. Под разгаростойкостью понимают устойчивость к образованию поверхностных трещин, вызываемых объемными изменениями в поверхностном слое при резкой смене температур. Это свойство обеспечивается снижением содержания углерода в стали, которое сопровождается повышением пластичности, вязкости, а также теплопроводности, уменьшающей разогрев поверхностного слоя и термические напряжения в нем.

В соответствии с указанными требованиями для штампов горячей обработки давлением применяют легированные стали, содержащие 0,3-0,6% С, которые после закалки подвергают отпуску при 550 - 680°C на структуру троостита или троосто-сорбита. Среди них следует выделить несколько групп, обладающих в наибольшей степени теми свойствами, которые необходимы для определенных условий эксплуатации.

Стали для молотовых штампов, стали для штампов горизонтально-ковочных машин и прессов:

Стали для молотовых штампов. Молотовые штампы имеют большие размеры, работают с ударными нагрузками при относительно невысоком нагреве поверхности (400-500°C). Для изготовления этих штампов используют низколегированные стали высокой прокаливаемости с повышенной ударной вязкостью и разгаростойкостью. Среди легирующих элементов они содержат молибден или вольфрам, необходимые для предупреждения отпускной хрупкости второго рода, которую в больших сечениях нельзя устранить быстрым охлаждением.

Сталь 5ХНМ-лучшая в этой группе. Из-за высокой прокаливаемости ее применяют для изготовления крупных (наибольшая сторона призматических заготовок 400-500 мм) штампов сложной формы. После закалки и отпуска при 550°C ее предел прочности при температуре 20°C составляет 1200 - 1300 МПа. Сталь сохраняет достаточно высокий предел прочности $\sigma_b = 900$ МПа до температуры 500°C.

Стали 5ХГМ и 5ХНВС при одинаковой со сталью 5ХНМ прокаливаемостью уступают ей в вязкости. Они предназначены для средних штампов (наибольшая сторона заготовок 300 - 400 мм) или для более крупных (сталь 5ХНВС) простой формы.

Сталь 5ХНВ по стойкости равноценна стали 5ХНМ, но имеет более низкую прокаливаемость, так как вольфрам повышает ее слабее, чем молибден. Сталь 5ХНВ применяют для изготовления небольших (сторона заготовок ~200 мм) и средних штампов.

Термическая обработка этих сталей из-за больших размеров штампов или заготовок призматической формы представляет собой ответственную операцию. После изотермического отжига и механической обработки их нагревают под закалку до 820-880°C, применяя засыпки и обмазки для предохранения от окисления и обезуглероживания, так как время нагрева может составлять 20-25 ч. Для снижения термических напряжений небольшие штампы охлаждают на воздухе, остальные после подстуживания до 750-780°C в масле по способу прерывистой закалки. Полностью неостывшие штампы переносят в печь для отпуска.

Небольшие штампы, в которых деформируемый металл быстро подстывает и упрочняется, отпускают при 480-520°C, добиваясь повышенной твердости (HRC 40-45) и износостойкости. Поскольку механическая обработка при такой твердости затруднена, фигуру штампа нарезают до термической обработки.

Средние штампы, в которых для деформирования более крупных заготовок требуются повышенные ударные нагрузки, отпускают при 520-540°C на более низкую твердость (HRC 35-40). Их изготавливают по схеме: механическая обработка, закалка, отпуск, чистовая доводка.

Крупные штампы, которые должны иметь повышенную вязкость, подвергают отпуску при 540-580°C на твердость HRC 35-38. Фигуру штампа нарезают после термической обработки.

Исключение составляют очень крупные штампы, которые из-за трудностей закалки в масле охлаждают водовоздушной смесью.

Стали для штампов горизонтальноковочных машин и прессов. Штампы горячей высадки, протяжки и прессования испытывают при работе высокие давления без больших ударных нагрузок, имеют меньшие размеры, чем молотовые штампы, но нагреваются до более высоких температур. Для сталей этого назначения наиболее важные свойства - теплостойкость и разгаростойкость. При тяжелых условиях работы применяют комплексно-легированные стали: 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 4Х5В2ФС и др., которые по составу и видам превращений при термической обработке сходны с быстрорежущими сталями. В отличие от последних они содержат меньше избыточных карбидов типа Me_nC_g и MgC и являются заэвтектоидными. Для повышения теплостойкости их закалывают с высоких температур (1025-1125°C). Отпуск в интервале температур 500-580°C вызывает, как и в быстрорежущих сталях, дисперсионное твердение мартенсита и явление вторичной твердости.

Для повышения вязкости отпуск ведут при более высоких температурах (600-650°C) на структуру троостита и твердость HRC 45 - 50. При такой твердости стали имеют предел прочности равный 1500 - 1800 МПа; предел текучести равный 1350 -1650 МПа.

Стали 3X2B8Ф, 4X2B5МФ с высоким содержанием вольфрама характеризуются повышенной теплостойкостью. Они сохраняют твердость HRC 45 и предел текучести около 1000 МПа до температуры 650 - 670°C. Стали предназначены для изготовления тяжело нагруженных инструментов, работающих с разогревом поверхности до 700°C.

Стали 4X5МФС, 4X5B2ФС, 4X4ВМФС с небольшими добавками вольфрама (молибдена) отличаются повышенной разгаростойкостью благодаря более высокой вязкости. Они теплостойки до 600°C. Хром (4-5%) придает им хорошую окалиностойкость и повышенную износостойкость при нагреве. Эти стали предназначены для изготовления инструментов с высокой устойчивостью к резкой смене температур, в частности для инструментов высокоскоростной штамповки.

Рассмотренные стали используют также для изготовления прессформ литья под давлением, работающих в тяжелых условиях, связанных с периодическим нагревом и охлаждением поверхности и воздействием расплавленного металла. Для изготовления прессформ для литья медных сплавов при температуре около 1000°C применяют стали повышенной теплостойкости; для литья алюминиевых и магниевых сплавов при температуре около 500 - 650°C применяют стали повышенной разгаростойкости. В последнее время для изготовления пресс-форм применяют также мартенситно-старяющие стали.

Для пресс-форм, менее нагруженных в тепловом отношении, используют стали 4XB2C, X12, 7X3, 8X3, коррозионно-стойкую сталь 30X13, конструкционные стали 40X, 30XГС и др. Для повышения работоспособности пресс-формы и штампы подвергают азотированию, нитроцементации или хромированию. Азотирование повышает в 4 - 5 раз устойчивость стали против коррозионного действия жидких алюминиевых сплавов. Для этого на деталях пресс-форм из сталей 3X2B8Ф и 4X5B2ФС рекомендуется формировать азотированный слой толщиной около 0,2 мм.

Контрольные вопросы и задания

1. Для каких инструментов используют соответствующую группу металлических материалов?
2. Назовите группу сталей, из которой изготавливают медицинский хирургический инструмент. Опишите особенности стали и ее термообработку.

3. Расшифруйте марки сталей: У10А, Р18, Р6М5К5, ХВГ, 9ХС.
4. Из каких материалов изготавливают измерительный инструмент и почему?
5. Назовите марки сталей, из которых изготавливают штампы для ГKM и КГШП. Укажите их химический состав и опишите механические свойства.
6. Назовите какой инструмент изготавливают из инструментальной углеродистой стали. Опишите окончательный режим термической обработки стали У10.
7. Дайте определение понятию сверхтвердые материалы. Дайте краткую характеристику свойствам СВ материалам и укажите их области применения.
8. Отнесите представленные марки материалов к их группам: 7Х3, 5ХГМ, Х6ВФ, Р9, ТТ20К9, АСБ-6, У13.
9. Назовите отличия группы штамповых сталей для инструмента холодной обработки давлением от группы штамповых сталей для горячей обработки давлением.

Материал для самостоятельного изучения

Порошковые материалы

1. Общие положения.
2. Метод порошковой металлургии.
3. Свойства и получение порошковых материалов в промышленности.
4. Конструкционные порошковые материалы.
5. Порошковые антифрикционные материалы.
6. Порошковые фрикционные материалы.

Общие положения

Порошковые материалы, изготовленные методом, порошковой металлургии — технологическим процессом, охватывающим производство порошков металлов, сплавов и металлоподобных соединений, а также изделий из них или их смесей неметаллическими порошками. Как и другие виды конструкционных материалов порошковые материалы имеют свои преимущества и недостатки.

К преимуществам порошковых материалов относят:

- возможность получения материалов с резко отличающимися свойствами их составляющих: композиций из металлических и неметаллических композитов, из компонентов, не смешивающихся в расплавленном виде (Fe-Pb, W-Cu и другие);
- получение материалов с особыми физическими характеристиками и структурой (пористые материалы);
- порошковые изделия получают в виде готовых изделий, не требующих дальнейшей механической обработки;
- в ряде случаев спечённые материалы имеют более высокие свойства, чем литые (например, быстро режущиеся стали, жаропрочные сплавы, Be-изделия и другие);
- возможность использования отходов производства.

К недостаткам порошковых материалов относят:

- изготовление деталей массового использования методом порошковой металлургии целесообразно лишь при больших масштабах производства (дорогое оборудование для получения и консолидации порошков);

- метод порошковой металлургии рекомендуется для изготовления изделий простой формы и не содержащих отверстий под углом к оси заготовок, внутренних полостей, выступов и т.д.

Порошковые материалы применяются в различных областях техники в следующих случаях: когда требуются материалы (со специальными свойствами), которые невозможно получить другими методами производства, когда в результате особенностей изготовления порошковых материалов имеют более высокие качественные показатели, чем материалы, полученные по традиционной технологии (литьё, деформация) когда при получении изделий из порошков улучшаются технико - экономические показатели производства по сравнению с традиционной технологией (сокращение расхода сырья, упрощение технологии, уменьшение затрат на оборудование, рабочую силу и т. п.).

Порошковые материалы классифицируют:

- по назначению (жаропрочные, коррозионно-стойкие, магнитные, антифрикционные, контактные, фрикционные и др.);
- по плотности (плотные, пористые);
- по химическому составу (чистые материалы, сплавы);

по технологии получения (спечённые, компактированные).

Порошковая металлургия дает возможность свести к минимуму отходы металла в стружку, упростить технологию изготовления деталей и снизить трудоемкость их производства.

Технологию получения изделий из металлических порошков, а также сами металлические порошки, называют порошковой металлургией. Металлические порошки получают несколькими способами:

1. Механический – измельчение порошков внешними силами. При этом измельчаемый материал может находиться в любом состоянии. Измельчение дроблением, размол и истирание осуществляется дробилками в мельницах. Мельницы существуют нескольких видов: вихревые, вибрационные, шаровые.

2. Высокой производительностью и экономичностью процесса, а также возможностью эффективной очистки расплава от примесей прославился метод распыления расплавов сжатым воздухом.

3. Самым экономичным методом является восстановление руды или окалины.

4. Специальные порошки в промышленных условиях получают осаждением, науглероживанием, термической диссоциацией летучих соединений.

В области порошковой металлургии большое распространение получили порошки меди, цинка и свинца.

Таким образом, технологический процесс изготовления изделий из порошков включает получение порошков, подготовку шихты, формование, спекание, горячее прессование и штамповку. Иногда применяют дополнительную обработку, состоящую из пропитки деталей смазками, термической и химико-термической обработки, калибровки и обработки резанием.

Размеры частиц порошка обычно составляют от 0,1 мкм до 0,1 мм. Более крупные фракции называют гранулами, а более мелкие – пудрой.

Метод порошковой металлургии

Данный метод изготовления порошков обладает рядом преимуществ:

- возможность изготовления материалов, содержащих наряду с металлическими составляющими и неметаллические, а также материалов и изделий, состоящих из двух (биметаллы) или нескольких слоев различных металлов;
- возможность получения пористых материалов с контролируемой пористостью, чего нельзя достигнуть плавлением и литьем.

Наряду с преимуществами порошковой металлургии следует отметить и недостатки, затрудняющие и ограничивающие широкое ее распространение. К основным недостаткам следует отнести высокую стоимость порошков металлов и отсутствие освоенных методов получения порошков сплавов – сталей, бронз, латуней и пр.

Изделия, получаемые из металлических порошков, вследствие пористости обладают повышенной склонностью к окислению, причем окисление может происходить не только с поверхности, но и по всей толщине изделия.

Металлокерамические изделия обладают также сравнительно низкими пластическими свойствами (ударная вязкость, удлинение).

Свойства и получение порошковых материалов в промышленности

Получают порошки чистых металлов и сплавов одним из следующих методов: химическим, электролитическим, механическим измельчением и распылением металлов и сплавов в жидком состоянии.

К химическим методам получения порошков относится восстановление оксидов и солей металлов твердыми или газообразными восстановителями, диссоциация карбониллов и неустойчивых соединений, металлотермия. Большую группу порошков — олово, серебро, медь и железо — получают методами электролитического осаждения металлов в виде порошка из

водных растворов солей, а также электролизом расплавленных сред (тантал, ниобий, уран и др.).

К механическим методам получения порошков относятся измельчение металла резанием, размол в шаровых, вибрационных, конусно-инерционных и других мельницах и дробилках, распыление струй жидкого металла сжатым паром, газом, водой.

Выбор метода определяется возможностью получения порошка необходимого качества и экономической целесообразностью применения того или иного метода. Наибольшее распространение получили химические методы и методы распыления, которые при минимальных затратах обеспечивают получение целой гаммы порошковых металлов и сплавов со свойствами широкого диапазона.

Возможность применения порошка для изготовления конкретных изделий определяется его свойствами, которые зависят от метода получения и природы металла порошка. Металлические порошки характеризуются технологическими, физическими и химическими свойствами.

К технологическим свойствам, согласно ГОСТ 19440–94, относятся: насыпная плотность, представляющая собой массу единицы объема свободно насыпанного порошка; относительная плотность — отношение насыпной плотности и плотности металла в беспористом состоянии; текучесть — способность порошка заполнять определенную форму, выражающуюся через число граммов порошка, протекающего за 1 с через воронку с диаметром выходного отверстия (носика воронки) 2,5 мм; прессуемость (ГОСТ 25280–90) — способность порошка под давлением сжимающих усилий образовывать заготовку заданной формы и размеров (формуемость) с минимально допустимой плотностью (уплотняемость).

К физическим характеристикам порошков относятся форма и размер частиц порошков. Они могут резко различаться по форме (от нитевидных до сферических) и размерам (от долей до сотен и даже тысяч микрометров). Важная характеристика порошков — гранулометрический состав, под которым понимается соотношение количества частиц различных размеров (фракций), выраженное в процентах. Размеры частиц порошка обычно составляют 0,1–100 мкм. Фракции порошков размерами более 100 мкм называют гранулами, менее 0,1 мкм — пудрой. Определение гранулометрического состава может производиться с помощью просеивания порошка через набор сит (ГОСТ 18318–94). Этот метод применим к порошкам размерами более 40 мкм; для более дисперсных порошков применяется метод седиметации (ГОСТ 22662–77) и микроскопический анализ с помощью оптического или электронного микроскопа (ГОСТ 23402–78). Также к физическим характеристикам относится удельная поверхность порошков, под которой понимают суммарную поверхность всех частиц порошка, взятого в единице объема или массы.

К химическим характеристикам относятся химический состав порошка (как порошка чистого металла, так и порошка сплава), определение которого производится по методикам соответствующих компактных (беспористых) металлов и сплавов.

К химическим характеристикам относят также пирофорность — способность порошка самовозгораться при соприкосновении с воздухом — и токсичность — ядовитость порошков. Если в компактном состоянии большинство металлов безвредны, то в порошковой форме, попадая в атмосферу помещений, они образуют аэрозоли, которые при вдыхании воздуха или приеме пищи могут вызывать болезненное состояние.

В соответствии с общепринятыми требованиями, порошковые материалы, выпускаемые по ГОСТ 9721–79, 9722–97, 9723–73, 9849–86 и др., имеют следующую маркировку: первая буква «П» означает порошковое состояние материала, вторая буква указывает на металлическую основу порошка. Кроме того в марку порошка входят буквы и цифры, определяющие химический и гранулометрический составы, технологические свойства порошков, иногда особенности их производства.

При формовании заготовок из порошков определенного химического состава прессованием им придают форму и размеры готовых деталей, после чего направляют на спекание. При спекании непрочные прессованные заготовки превращаются в прочное спеченное тело со свойствами, приближающимися к свойствам беспористого компактного материала. Температура спекания деталей из конструкционных материалов на основе железа с добавками графита, никеля и других компонентов составляет 1100 – 1200°C. Температура спекания изделий антифрикционного назначения на основе железа составляет 1000 – 1050°C, на основе бронзы 850 – 950°C. Спекание проводят в течение 0,5 – 1,5 ч в нагревательных печах, как правило, в защитной атмосфере или в вакууме для предотвращения окисления частиц порошка. Для получения более высоких характеристик механических и служебных свойств материалов и повышения точности размеров после формования и спекания дополнительно производят горячее прессование, штамповку, прокатку и термическую обработку.

В ряде случаев дополнительно проводят химико-термическую обработку деталей из порошковых материалов. Цементацию и нитроцементацию применяют для повышения твердости и износостойкости поверхностного слоя. Сульфидирование применяется с целью уменьшения коэффициента трения для повышения износостойкости и твердости железных и железграфитовых изделий. Оксидирование обработкой паром применяется для повышения износостойкости и коррозионной стойкости порошковых деталей на железной основе.

Конструкционные порошковые материалы

Среди большого разнообразия производимых металлических порошков около 90 % мирового производства приходится на железные порошки и порошки сплавов, изготовленных на основе железа. В соответствии с ГОСТ 9849–86 железные порошки имеют марку: восстановленные — ПЖВ, а распыленные — ПЖР или ПЖРВЗ. Буквенный индекс «З» в этой марке означает среду распыления — воздух, «ВЗ» — воду, последующие численные индексы — среднюю чистоту порошка по примесям и его технологические характеристики.

Различают конструкционные порошковые материалы общего назначения, заменяющие обычные углеродистые и легированные стали, чугуны и цветные металлы, и материалы, обладающие специальными свойствами — высокой износостойкостью, твердостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, специфическими магнитными и электрическими характеристиками. В зависимости от условий нагружения различают мало-, средне- и тяжело нагруженные детали, которые в свою очередь делятся на тяжело нагруженные статическими и динамическими усилиями.

Чем выше требования по прочности, тем меньше должна быть пористость металла. Порошковые детали делятся на четыре группы по плотности (пористости). Тяжело нагруженные статическими усилиями детали изготавливают из порошков углеродистых или легированных сталей и цветных сплавов. Пористость материала не должна превышать 9 %. Изделия получают холодным прессованием и спеканием с последующей дополнительной горячей и холодной штамповкой или горячим прессованием. Применяют также пропитку легкоплавкими металлическими расплавами с последующей термической обработкой.

Тяжело нагруженные динамическими нагрузками детали изготавливают из порошков углеродистых и легированных сталей и сплавов цветных металлов с пористостью не более 2 %. В этом случае проводят холодное прессование, спекание, горячую штамповку, горячее прессование или химико-термическую обработку.

С увеличением плотности одновременно возрастают пластичность и ударная вязкость (рис.1). Изменяя пористость, можно регулировать плотность и механические свойства, подбирать материалы с заданным уровнем свойств для конкретных условий работы изделий.

Порошковые стали по механическим свойствам могут не уступать литым и кованым сталям соответствующего состава.

Основой для получения порошковых коррозионно-стойких материалов обычно служат порошки сталей и сплавов определенного состава.

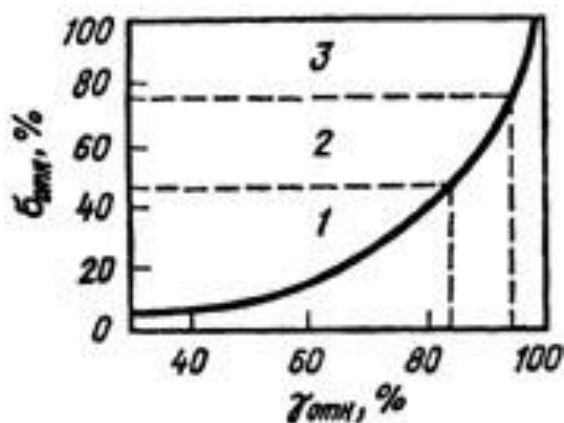


Рис.1 Зависимость относительной прочности порошковых конструкционных материалов от их относительной плотности и технологии формообразования: 1 – статическое холодное прессование; 2 – высокоскоростное холодное прессование; 3 – горячая штамповка

Перспективно использование порошков титана и его сплавов для изготовления тяжело нагруженных деталей. Высокие механические свойства порошковых изделий на основе титана позволили применить их для изготовления шатунов автомобильных двигателей. Это позволило существенно уменьшить массу, снизить инерционные силы и повысить мощность двигателя. Из порошков титана организовано серийное производство таких деталей, как втулки, крышки, трубы для химического и пищевого машиностроения, приборостроения и др.

Порошковые антифрикционные материалы

Для изготовления подшипников скольжения, уплотнений, подпятников наряду с литыми сплавами (бронзы, баббиты и чугуны) используют антифрикционные материалы, изготовленные методом порошковой металлургии. Они создаются на основе меди или железа и содержат вещества типа твердых смазок (графит, сульфиды и др.), что обеспечивает им заданные механические и эксплуатационные свойства.

Подшипники изготавливают из сплавов Fe и 1-7% графита (ЖГр1, ЖГр3, ЖГр7) бронзо-графита, содержащего 8-10% Sn и 2-4% графита (БрОГр10-2, БрОГр8-4 и др.).

Структура металлической основы железографитовых материалов — перлитная, с массовой долей связанного углерода ~1% (Fe_3C).

Коэффициент трения железографита по тали при смазке 0,07-0,09. Подшипники из железографита применяют при допустимой нагрузке не более 1000-1500 МПа и максимальной температуре 100-200°C ($\sigma_b = 180-300$ МПа; 60-120 НВ).

Коэффициент трения бронзо-графита по стали при смазке 0,05-0,07. Но допустимая нагрузка 400-500 МПа, а рабочая температура не выше 200-250°C ($\sigma_b = 30-50$ МПа; 25-50 НВ).

Антифрикционные порошковые материалы характеризуются низким коэффициентом трения, хорошей износостойкостью, способностью легко прирабатываться к валу и выдерживать значительные нагрузки. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными антифрикционными материалами. Их износостойкость в несколько раз выше, чем у бронз и баббитов. Они работают при более высоких скоростях и давлениях. Наличие в структуре пористости, регулируемой в широких пределах (до 35 %), позволяет предварительно пропитывать их смазочными маслами. Во время работы по мере нагревания масло, удерживаемое в порах и мельчайших каналах материала капиллярными силами, постепенно вытесняется наружу и образует смазочную пленку на рабочей поверхности. При остановке и последующем охлаждении подшипника масло частично всасывается обратно в поры. Поэтому пористые подшипники могут работать длительное время без дополнительной смазки. Эффект самосмазываемости в пропитанных маслом пористых подшипниках без подвода смазки извне может сохраняться в течение 3000 – 5000 ч.

Композиционные антифрикционные порошковые материалы позволяют иметь равномерно распределенные включения из веществ, играющих роль твердой смазки. К таким веществам относятся графит, сульфиды, пластмассы и некоторые другие соединения. Такие материалы имеют сравнительно низкий коэффициент трения при работе в режиме сухого трения без жидкой смазки. Сочетание повышенных антифрикционных свойств твердых смазок и пластмасс со свойствами металлов позволяет получать материалы, способные работать в воде, агрессивных жидкостях, бензине, различных газовых средах, в вакууме, а также в условиях высоких и низких температур.

Порошковые антифрикционные материалы могут представлять собой каркасные конструкции, в которых каркас выполнен из прочного материала, а промежутки заполнены более мягким материалом. Можно, наоборот, иметь мягкую матрицу с равномерно распределенными твердыми включениями разной степени дисперсности, повышающими работоспособность подшипников. Эти особенности позволяют осуществлять направленное регулирование свойств порошковых антифрикционных материалов применительно к конкретным условиям эксплуатации.

Внедрение порошковых подшипников скольжения повышает надежность и долговечность работающего оборудования, снижает трудоемкость процесса их изготовления, позволяет уменьшить отходы металла в стружку, обеспечивает экономию дефицитных цветных металлов и сплавов.

Порошковые фрикционные материалы

Порошковые фрикционные материалы предназначены для работы в различных тормозных и передаточных узлах автомобилей, гусеничных машин, дорожных и строительных механизмов, самолетов, станков, прессов и т. п. Фрикционные элементы из порошковых материалов изготавливают в виде дисков, секторных накладок и колодок различной конфигурации. Применяют порошковые фрикционные материалы на основе меди и на основе железа.

Порошковые материалы на основе оловянистых и алюминиевых бронз, содержащие свинец, графит и железо, предназначены преимущественно для работы в условиях трения со среднеуглеродистыми сталями с твердостью 40 – 45 HRC при давлении до 35 МПа и скорости скольжения до 50 м/с. При меньших давлениях и скоростях до 5 м/с используют металлопластмассовые материалы.

Порошковые материалы на основе железа, содержащие добавки меди, графита, оксида кремния, асбеста, сульфата бария, предназначены для работы в условиях трения при давлениях до 300 МПа и скоростях до 60 м/с в паре с чугуном либо легированной сталью в тормозных устройствах различной конструкции – дисковых, колодочных, ленточных тормозах.

В сравнении с асбофрикционными материалами порошковые материалы обладают более высокими значениями термо- и износостойкости (в 2 – 4 раза), а в некоторых случаях, например при работе с легированным чугуном, и более высоким (на 15 – 25 %) коэффициентом трения.

Спеченные материалы на основе Fe и Cu используют и для фрикционных изделий (дисков, сегментов) в тормозных узлах. Для повышения коэффициента трения в состав фрикционных материалов вводят карбиды Si, B, тугоплавкие оксиды и т.д.

Коэффициент трения по чугуну (без смазочного материала) для материала на Fe- основе составляет 0,18-0,40, на Cu- основе 0,17-0,25. Фрикционные сплавы на Cu- основе применяют для условий жидкостного трения в паре с закаленными стальными деталями (сегменты, диски сцепления и т.д.) при добавлении до $\sigma \leq 400$ МПа и скорости скольжения до $V = 40$ м/с с $T_{\max} = 300-350^\circ\text{C}$. Типичным фрикционным материалом на основе Cu является сплав МК 5: 4% Fe, 7% графита, 8% Pb, 9% Sn, 0-2% Ni, остальное Cu.

Для работы в условиях трения без смазочного материала (деталей тормозов самолетов, тормозных накладок тракторов, автомобилей, дорожных машин, экскаваторов и т.д.) применяют материалы на Fe- основе. Наибольшее применение получил материал ФМК-11 (15% Cu, 9% графита, 3% асбеста, 3% SiO₂ и 6% барита, остальное Fe).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие материалы называют порошковыми?
2. Укажите особенности метода порошковой металлургии.
3. Дайте характеристику конструкционным порошковым материалам.
4. Какие металлические порошки называются антифрикционными и почему?
5. Назовите группу материалов для изготовления деталей, которые работают в условиях повышенного трения.
6. Каким свойством обладают подшипники, выполненные из пористых порошковых материалов.
7. Расшифруйте марки материалов: ФМК-11, ЖГР7, ПЖР.
8. Укажите отличия в свойствах антифрикционных порошковых материалов от фрикционных порошковых материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арзамасов Б.Н. Конструкционные материалы. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990 - 687 с.
2. Материаловедение и технология металлов: Учебник для ВУЗов по машиностроительным специальностям / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высшая школа, 2000 – 637с.
3. Материаловедение: Учебник для ВУЗов, обучающихся по направлению подготовки и специализации в области техники и технологии / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 – 646с.
4. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983 – 360с.
5. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986 – 544с.
6. Калачев Б.А., Ливанов Б.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005 – 256с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Н. Материаловедение. Учебник для ВУЗов технич. спец. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1990 – 528с.
8. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под общ. ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М. Машиностроение, 2003. - 511с.: ил.
9. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебник для ВУЗов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демьянцевич, А.В. Кузин, Д.И. Чашников. – 2-е изд., перер., доп. – М. МИСИС, 1996. – 576с.
10. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для студентов электротехнических и электромеханических спец. ВУЗов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М. Высшая школа, 2004. – 518с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (НА-
ЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Материаловедение

Электронный образовательный контент
по дисциплине Материаловедение и ТКМ

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование
образовательной деятельности» Программы развития СГАУ
на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных контен-
тов в рамках мастер-класса по внедрению и использованию СЭДО в ре-
альном учебном процессе»

Соглашение №1.27. от 03.06.2013 г.

САМАРА

2013

УДК620.22(075)
ББК30.3я7
М 341

Автор-составитель: **Никитина Юлия Витальевна**

Материаловедение [Электронный ресурс]: электрон. образовательный контент по дисциплине Материаловедение / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Ю. В. Никитина. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Режим доступа: <http://omdmoodle.ssau.ru/course/category.php?id=15>

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Курс лекций.
2. Тесты для контроля знаний.

УМКД «Материаловедение» предназначен для студентов факультета информатики, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 190700.62 «Технология транспортных процессов» в 5 семестре.

УМКД разработан на кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

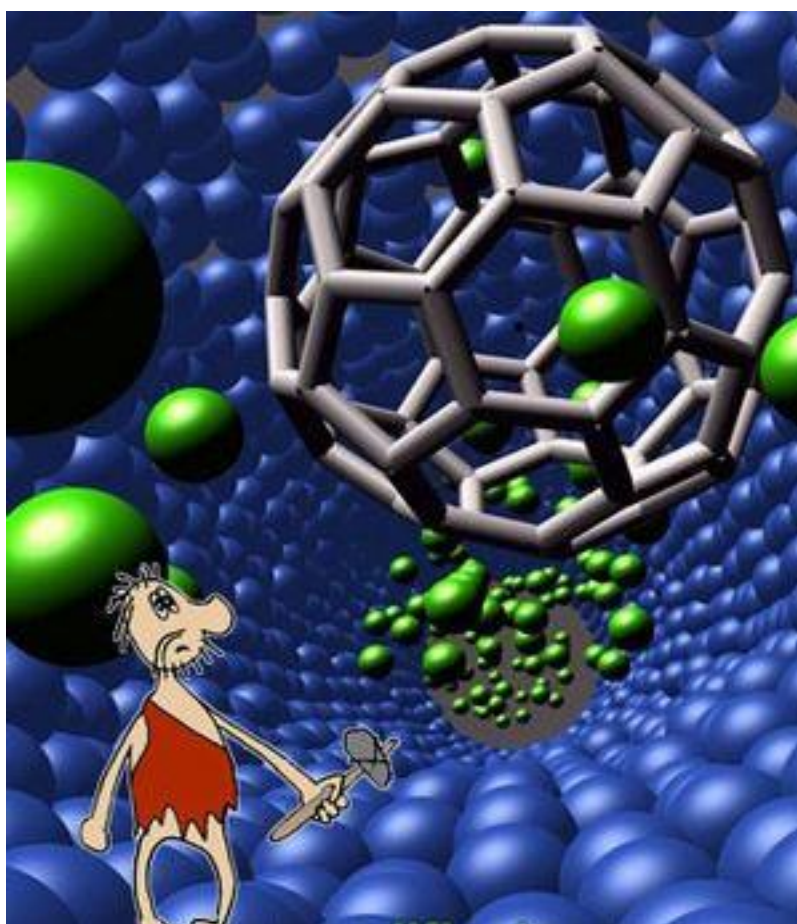


Электронный учебно-методический
комплекс

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Конспект лекций

- Тестовые задания



2013

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева»

(национальный исследовательский университет)

**РАЗДЕЛ I ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ**

1. Металлическая связь – это...:
 - A.**Способность валентных электронов свободно перемещаться по всему объему кристалла;
 - B.**Взаимодействие между "ионным скелетом" и "электронным газом";
 - C.**Способность металлов легко отдавать свои валентные электроны.
2. Металлы какой подгруппы относятся к черным:
 - A.**Легкие (Be, Al, Mg);
 - B.**Легкоплавкие (Zn, Sn, Pb);
 - C.**Тугоплавкие (W, V, Ti);
 - D.**Благородные (Au, Pt, Ag).
3. Металлы какой подгруппы относятся к цветным:
 - A.**Железные (Co, Ni, Mg);
 - B.**Легкоплавкие (Zn, Sn, Pb);
 - C.**Тугоплавкие (W, V, Ti);
 - D.**Щелочноземельные (R, Ca, Na).
4. Для какого агрегатного состояния характерны отсутствие собственного объема и формы:
 - A.**Твердого;
 - B.**Жидкого;
 - C.**Газообразного.
5. Какое агрегатное состояние обладает объемом, но не имеет собственной формы:
 - A.**Твердое;
 - B.**Жидкое;
 - C.**Газообразное.
6. Для какого агрегатного состояния характерны наличие собственного объема и формы:
 - A.**Твердого;
 - B.**Жидкого;
 - C.**Газообразного.

7. Отношение объема всех частиц, приходящихся на 1 элементарную ячейку, ко всему объему элементарной ячейки это:

- A.** Координационное число;
- B.** Коэффициент компактности;
- C.** Период кристаллической решетки.

8. Число ближайших равноудаленных частиц (атомов) от любого атома в кристаллической решетке это:

- A.** Координационное число;
- B.** Коэффициент компактности;
- C.** Период кристаллической решетки.

9. Прочностные свойства металлов вдоль различных кристаллографических направлений:

- 1.** А. Зависят от числа атомов, расположенных на этих направлениях;
- 2.** Б. Не зависят числа атомов, расположенных на этих направлениях;
- 3.** В. Зависят только от коэффициента компактности.

10. Атом внедрения – это...:

- A.** Атомы примесного элемента, находящиеся в междоузлиях кристаллической решетки;
- B.** Атом, перемещенный из узла в позицию между узлами;
- C.** Примесной элемент.

11. Краевые дислокации:

- 1.** Параллельны вектору сдвига;
- 2.** Перпендикулярны вектору сдвига;
- 3.** Изогнуты по винтовой поверхности;ю

12. К поверхностным дефектам относятся:

- A.** Пустоты, поры, включения;
- B.** Большеугловые и малоугловые границы;
- C.** Краевые и винтовые дислокации.

13. К точечным дефектам относятся:

- A.** Пустоты, поры, включения;
- B.** Большеугловые и малоугловые границы;
- C.** Атомы внедрения, атомы замещения и вакансии.

14. К линейным дефектам относятся:

- A.** Пустоты, поры, включения;
- B.** Большеугловые и малоугловые границы;
- C.** Краевые и винтовые дислокации.

15. К объемным дефектам относятся:

- A.** Пустоты, поры, включения;
- B.** Большеугловые и малоугловые границы;
- C.** Краевые и винтовые дислокации.

16. Если атомы растворимого компонента В замещают в узлах решетки атомы компонента-растворителя А, то образуется:

- A.** Твердый раствор замещения;
- B.** Твердый раствор внедрения;
- C.** Смесь;
- D.** Химическое соединение.

17. Если атомы растворенного вещества С располагаются между атомами в кристаллической решетке растворителя А., то образуется:

- A.** Твердый раствор замещения;
- B.** Твердый раствор внедрения;
- C.** Смесь;
- D.** Химическое соединение.

18. Неограниченные твердые растворы замещения образуются в случае:

- A.** Если компоненты имеют одинаковую кристаллическую решетку и одинаковый атомный радиус;
- B.** Если компоненты имеют одинаковую кристаллическую решетку, а атомные радиусы разнятся;
- C.** Если атомы растворенного вещества С располагаются между атомами А в кристаллической решетке растворителя.

19. При изменении внешних условий (например, при изменении температуры) система стремится к состоянию:

- A.** С наибольшим уровнем свободной энергии;
- B.** С наименьшим уровнем свободной энергии;
- C.** С наибольшим уровнем полной энергии.

20. При температуре $T < T_k$ металл будет находиться в:

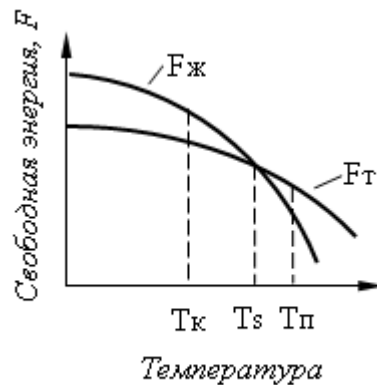


рис.1

- A.** Газообразном состоянии;
- B.** Жидком состоянии;
- C.** Твердом состоянии.

21. При температуре $T > T_p$ (рис.1) металл будет находиться в:

- A.** Газообразном состоянии;
- B.** Жидком состоянии;
- C.** Твердом состоянии.

22. Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить в виде:

- A.** Кривых охлаждения;
- B.** Изотермической диаграммы;
- C.** Кинетических кривых.

23. По графику зависимости скорости роста кристаллов и числа центров кристаллизации от степени переохлаждения (рис.2) укажите величину зерна в зоне II:

- A.** Равноосное зерно;
- B.** Крупное зерно;
- C.** Мелкое зерно;

24. Механические свойства выше у сплава:

- A.** С мелкозернистой структурой;
- B.** С крупнозернистой структурой;
- C.** С кристаллической структурой.

25. По графику зависимости скорости роста кристаллов и числа центров кристаллизации от степени переохлаждения (рис.2) укажите величину зерна в зоне I:

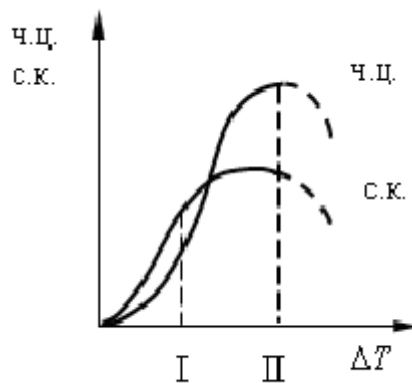


Рис. 2

- A.** Равноосное зерно;
 - B.** Крупное зерно;
 - C.** Мелкое зерно.
26. Механические свойства выше у сплава:
- A.** С мелкозернистой структурой;
 - B.** С крупнозернистой структурой;
 - C.** С кристаллической структурой.
27. Магнитные свойства выше у сплава:
- A.** С мелкозернистой структурой;
 - B.** С крупнозернистой структурой;
 - C.** С кристаллической структурой.
28. Кристаллы неправильной формы называются:
- A.** Кристаллитами;
 - B.** Дендритами;
 - C.** Интерметаллидами.
29. Существование одного металла в нескольких кристаллических формах носит название:
- A.** Анизотропии
 - B.** Полиморфизма
 - C.** Текстуры
 - D.** Вторичной кристаллизации.

30. Изменение размеров и форм тела под действием приложенных сил называется:

- A.** Напряжениями;
- B.** Деформациями;
- C.** Концентраторами;
- D.** Растяжениями.

31. Мера внутренних сил, возникающих в материале под влиянием внешних воздействий называется:

- A.** Напряжениями;
- B.** Деформациями;
- C.** Концентраторами;
- D.** Растяжениями.

32. При испытаниях на статическое растяжение определяют:

- A.** Ударную вязкость;
- B.** Прочность, упругость, пластичность;
- C.** Твердость.

33. При испытаниях на изгиб при динамическом нагружении определяют:

- A.** Ударную вязкость;
- B.** Прочность, упругость, пластичность;
- C.** Твердость.

34. Твердость по Бринеллю обозначается:

- A.** HB;
- B.** HR;
- C.** HV.

35. Твердость по Роквеллу обозначается:

- A.** HB;
- B.** HR;
- C.** HV.

36. Твердость по Виккерсу обозначается:

- A.** HB;
- B.** HR;
- C.** HV.

37. Твердость по Бринеллю измеряется:

- A.** В условных единицах;
- B.** МПа;
- C.** МДж.

38. Твердость по Роквеллу измеряется:

- A.** В условных единицах;
- B.** МПа;
- C.** МДж.

39. Твердость по Виккерсу измеряется:

- A.** В условных единицах;
- B.** МПа;
- C.** МДж.

40. Скольжение в реальном кристалле при пластической деформации осуществляется в результате:

- A.** Последовательного перемещения линий скольжения;
- B.** Последовательного перемещения ионов;
- C.** Последовательного перемещения атомов;
- D.** Последовательного перемещения дислокаций.

41. Изменение структуры и свойств металла, вызванное пластической деформацией называется:

- A.** Упрочнением;
- B.** Разупрочнением;
- C.** Динамическим возвратом.

42. В результате наклепа твердость:

- A.** Не изменяется;
- B.** Увеличивается;
- C.** Уменьшается.

43. В результате наклепа пластичность:

- A.** Не изменяется;
- B.** Увеличивается;
- C.** Уменьшается.

44. В результате наклепа предел текучести:

- A.** Не изменяется;
- B.** Увеличивается;
- C.** Уменьшается.

45. Анизотропная поликристаллическая среда, состоящая из кристаллов с преимущественной ориентировкой называется:

- A.** Наклепом;
- B.** Двойникованием;
- C.** Текстурой.

46. При нагреве сплава до температур до 0,2Тпл происходит процесс:

- A.** Отдыха;
- B.** Полигонизации;
- C.** Рекристаллизации.

47. При нагреве сплава до температур до 0,3Тпл происходит процесс:

- A.** Отдыха;
- B.** Полигонизации;
- C.** Рекристаллизации.

48. При нагреве сплава до температур свыше 0.4Тпл происходит процесс:

- A.** Отдыха;
- B.** Полигонизации;
- C.** Рекристаллизации.

49. Процессы кристаллизации металлических сплавов описывают с помощью:

- A.** Кинетических кривых;
- B.** Диаграмм изотермического превращения;
- C.** Диаграмм состояния.

50. Смесь двух видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкости, называют:

- A.** Эвтектикой;
- B.** Эвтектоидом;
- C.** Перитектикой.

51. Эвтектический сплав характеризуется для данной системы сплавов температурой:

- A.** Самой высокой;
- B.** Переменной;
- C.** Самой низкой.

52. Сплав, лежащий левее точки С называются (рис. 4):

- A.** Доэвтектическим;
- B.** Эвтектическим;
- C.** Заэвтектическим.

53. Сплав II называют (рис. 5):

- A.** Доэвтектоидным;
- B.** Доэвтектическим;
- C.** Заэвтектоидным;
- D.** Заэвтектическим.

54. Компоненты данного сплава имеют:

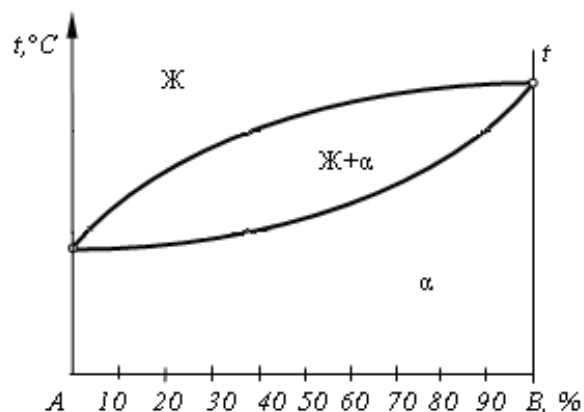


Рис.3

- A.** Разную кристаллическую решетку;
- B.** Одинаковую кристаллическую решетку;
- C.** Одинаковую температуру плавления.

55. Неоднородность состава или структуры сплава называется:

- A.** Ликвацией;
- B.** Перитектикой;
- C.** Эвтектикой;
- D.** Зональностью.

56. Сплав, лежащий правее точки С называются:

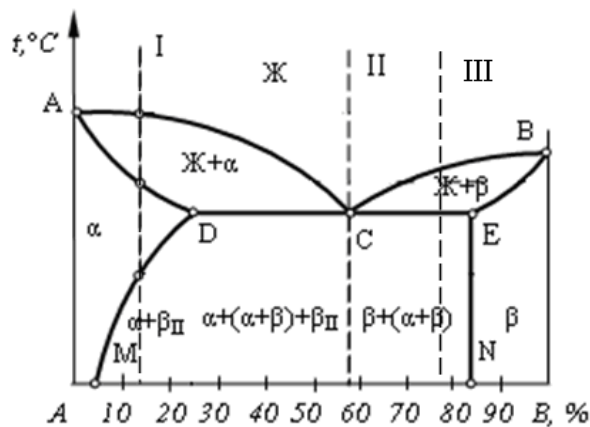


Рис. 4

- A.** Доэвтекติกеским;
- B.** Эвтекติกеским;
- C.** Заэвтекติกеским.

57. Слав I называют:

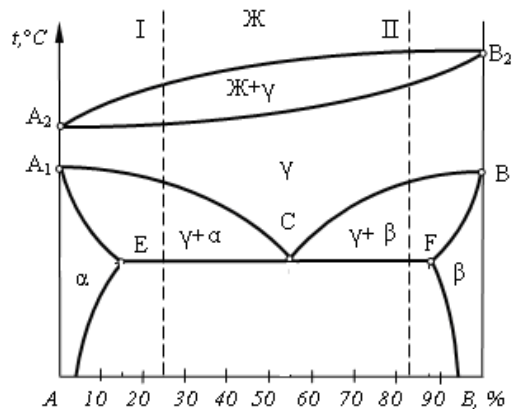


Рис. 5

- A.** Доэвтектоидным;
- B.** Доэвтекติกеским;
- C.** Заэвтектоидным;
- D.** Заэвтекติกеским.

58. Твердый раствор внедрения углерода в Fe_{α} называется:

- A.** цементитом;
- B.** ферритом;
- C.** аустенитом;
- D.** ледебуритом.

59. Твердый раствор внедрения углерода в Fe_γ называется:

- A.**цементитом;
- B.**ферритом;
- C.**аустенитом;
- D.**ледебуритом.

60. Химическое соединение Fe_3C называется:

- A.**цементитом;
- B.**ферритом;
- C.**аустенитом;
- D.**ледебуритом.

61. Упорядоченный перенасыщенный твердый раствор углерода в Fe_α называется:

- A.**цементитом;
- B.**ферритом;
- C.**аустенитом;
- D.**мартенситом.

62. Сталями называют:

- A.**сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C;
- B.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;
- C.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;
- D.**сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

63. Чугунами называют:

- A.**сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C;
- B.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;
- C.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;
- D.**сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

64. Техническим железом называется:

- A.**сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% C ;
- B.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 0,02 до 2,14% C;
- C.**сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до 6,67% C;
- D.**сплавы железа с углеродом, содержащие 0,8% C.

65. Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется:
- A.** перлитом;
 - B.** сорбитом;
 - C.** ледебуритом;
 - D.** трооститом.
66. Эвтектоидная смесь феррита и цементита называется:
- A.** перлитом;
 - B.** сорбитом;
 - C.** ледебуритом;
 - D.** трооститом.
67. Максимальная растворимость углерода в аустените достигает:
- A.** 0,02%;
 - B.** 0,8%;
 - C.** 2,14%;
 - D.** 4,3%.
68. Максимальная растворимость углерода в феррите достигает:
- A.** 0,02%;
 - B.** 0,8%;
 - C.** 2,14%;
 - D.** 4,3%.
69. Сплав II, указанный на рисунке 1, называется:
- A.** доэвтектоидной сталью;
 - B.** однофазным техническим железом;
 - C.** двухфазным техническим железом;
 - D.** доэвтектическим чугуном.
70. Сплав II, указанный на рисунке 2, называется:
- A.** заэвтектоидной сталью;
 - B.** доэвтектоидной сталью;
 - C.** техническим железом;
 - D.** эвтектоидной сталью.

71. Сплав I, указанный на рисунке 6, называется:

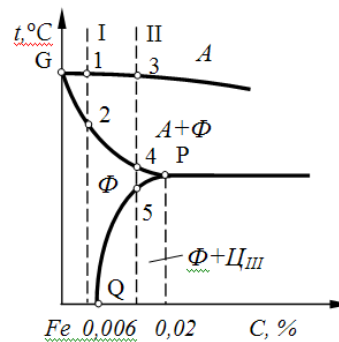


Рис.6

- A.** доэвтектоидной сталью;
- B.** однофазным техническим железом;
- C.** двухфазным техническим железом;
- D.** доэвтекктическим чугуном.

72. Сплав I, указанный на рисунке 7, называется:

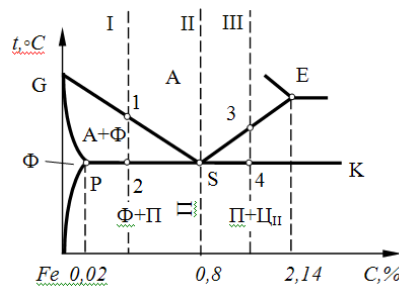


Рис. 7

- A.** заэвтектоидной сталью;
- B.** доэвтектоидной сталью;
- C.** техническим железом;
- D.** эвтектоидной сталью.

73. Сплав III, указанный на рисунке 7, называется:

- A.** заэвтектоидной сталью;
- B.** доэвтектоидной сталью;
- C.** эвтектоидной сталью.

74. Сплав II, указанный на рисунке 8, называется:

- A.** эвтекктическим чугуном;
- B.** доэвтектоидной сталью;
- C.** доэвтекктическим чугуном;
- D.** эвтекктическим чугуном.

75. Сплав I, указанный на рисунке 8, называется:

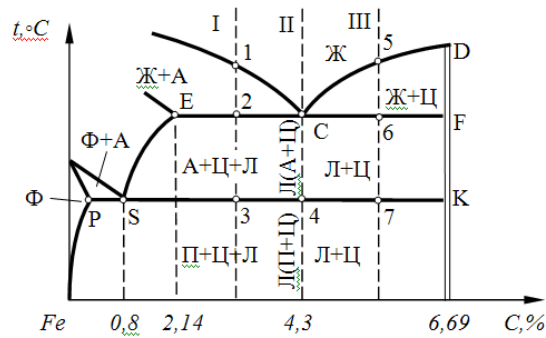


Рис. 8

- A.** заэвтектоидной сталью;
- B.** доэвтектоидной сталью;
- C.** доэвтектоидным чугуном;
- D.** заэвтектоидным чугуном.

76. Сплав III, указанный на рисунке 3, называется:

- A.** эвтектоидным чугуном;
- B.** доэвтектоидной сталью;
- C.** доэвтектоидным чугуном;
- D.** заэвтектоидным чугуном.

77. Укажите структуру доэвтектоидной стали:

- A.** перлит;
- B.** перлит + цементит;
- C.** феррит + перлит;
- D.** феррит + цементит III.

78. Укажите структуру заэвтектоидной стали:

перлит;

- A.** перлит + цементит;
- B.** феррит + перлит;
- C.** феррит + цементит III.

79. Укажите структуру эвтектоидной стали:

- A.** перлит;
- B.** перлит + цементит;
- C.** феррит + перлит;
- D.** феррит + цементит III.

80. Укажите структуру доэвтектического чугуна:

- A.** ледебурит;
- B.** перлит + цементит + ледебурит;
- C.** ледебурит + цементит;
- D.** перлит.

81. Укажите структуру эвтектического чугуна:

- A.** ледебурит;
- B.** перлит + цементит + ледебурит;
- C.** ледебурит + цементит;
- D.** перлит.

82. Укажите структуру заэвтектического чугуна:

- A.** ледебурит;
- B.** перлит + цементит + ледебурит;
- C.** ледебурит + цементит;
- D.** перлит.

83. Какие примеси в железоуглеродистых сталях относятся к вредным:

- A.** кремний, марганец;
- B.** марганец, алюминий;
- C.** сера, фосфор;
- D.** медь, титан.

84. Какие примеси в железоуглеродистых сталях относятся к полезным:

- A.** кремний, марганец;
- B.** фосфор, алюминий;
- C.** сера, фосфор;
- D.** водород, титан.

85. В каких сталях в наибольшей степени удален кислород:

- A.** в кипящих «кп»;
- B.** в спокойных «сп»;
- C.** в полуспокойных «пс»;
- D.** в низкоуглеродистых.

86. Стали, характеризующиеся низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений, называются:

- A.** малопрочными и высокопластичными;
- B.** углеродистыми качественными;
- C.** углеродистыми сталями обыкновенного качества;
- D.** автоматными сталями.

87. Укажите марку углеродистой стали обыкновенного качества:

- A.** 08пс;
- B.** ст4;
- C.** 15;
- D.** 08кп.

88. Укажите марку качественной стали:

- A.** 08пс;
- B.** Ст4;
- C.** АС14;
- D.** Ст3Гпс.

89. Чугун, в котором весь углерод находится в виде химического соединения Fe_3C , называется:

- A.** серым;
- B.** ковким;
- C.** белым;
- D.** высокопрочным.

90. Чугуны с пластинчатой формой графита, называются:

- A.** серыми;
- B.** ковкими;
- C.** белыми;
- D.** высокопрочными.

91. Чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму, называются:

- A.** серыми;
- B.** ковкими;
- C.** белыми;
- D.** высокопрочными.

92. Чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму называется:
- A.** серыми;
 - B.** ковкими;
 - C.** белыми;
 - D.** высокопрочными.
93. Среднее значение предела прочности чугуна СЧ15 в МПа равно:
- A.** 15;
 - B.** 150;
 - C.** 1,5;
 - D.** 1500.
94. Среднее значение предела прочности чугуна ВЧ50 в МПа равно:
- A.** 500;
 - B.** 50;
 - C.** 5;
 - D.** 0,5.
95. Среднее значение предела прочности чугуна КЧ37–12 в МПа равно:
- A.** 37;
 - B.** 3,7;
 - C.** 370;
 - D.** 12.
96. Шаровидная форма высокопрочных чугунов получается путем модифицирования:
- A.** магнием;
 - B.** литием;
 - C.** никелем;
 - D.** молибденом.
97. Механические свойства выше у серых чугунов со структурой:
- A.** ферритной;
 - B.** феррито-перлитной;
 - C.** перлитной;
 - D.** аустенитной.

98. Ковкий чугун получают в результате:

- A.** графитизирующего отжига белых чугунов;
- B.** модифицирования магнием;
- C.** отжига серых чугунов;
- D.** диффузионного отжига.

РАЗДЕЛ II ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО – ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СПЛАВОВ

1. Признаками исправимого брака при нагреве стали является:

- A.** образование мелкозернистой структуры;
- B.** образование крупного действительного зерна;
- C.** получение видманштеттовой структуры;
- D.** появление участков оплавления по границам зерна и их окисление.

2. Признаками неисправимого брака при термической обработке стали является:

- A.** образование мелкозернистой структуры;
- B.** образование крупного действительного зерна;
- C.** получение видманштеттовой структуры;
- D.** появление участков оплавления по границам зерна и их окисление.

3. Аустенитное зерно в момент окончания перлитно-аустенитного превращения называется:

- A.** действительным зерном;
- B.** начальным зерном;
- C.** наследственным зерном.

4. Зерно аустенита, полученное в данных конкретных условиях нагрева называется:

- A.** действительным зерном;
- B.** начальным зерном;
- C.** наследственным зерном.

5. Склонность зерна к росту при высоких температурах характеризуется:

- A.** действительным зерном;
- B.** начальным зерном;
- C.** наследственным зерном.

6. Какие структуры термообработанной стали образованы диффузионным превращением переохлажденного аустенита?
- A.** троостит отпуска, сорбит отпуска;
 - B.** перлит, сорбит, троостит;
 - C.** мартенсит отпуска;
 - D.** мартенсит.
7. Какие структуры термообработанной стали образованы бездиффузионным превращением переохлажденного аустенита?
- A.** Троостит отпуска, сорбит отпуска;
 - B.** перлит, сорбит, троостит;
 - C.** графит;
 - D.** мартенсит.
8. При закалке углеродистых сталей со скоростью $V > V_{кр}$ образуется:
- A.** перлит;
 - B.** графит;
 - C.** мартенсит;
 - D.** ледебурит.
9. Укажите кристаллическую решетку мартенсита:
- A.** объемно-центрированная кубическая;
 - B.** гранецентрированная кубическая;
 - C.** ромбическая;
 - D.** тетрагональная.
10. Для повышения вязкости стали после закалки обязательной термической операцией является:
- A.** обжиг;
 - B.** отпуск;
 - C.** нормализация;
 - D.** отжиг.
11. Какую структуру имеют доэвтектоидные стали после нормализации?
- A.** перлит и цементит;
 - B.** мартенсит;
 - C.** феррит и цементит;
 - D.** феррит и перлит.

12. Структура, образующаяся при нагреве закаленной углеродистой стали до 350–400°C, называется:

- A.** сорбит отпуска;
- B.** мартенсит отпуска;
- C.** троостит отпуска;
- D.** бейнит отпуска.

13. Структура, образующаяся при нагреве закаленной углеродистой стали до 500–600°C, называется:

- A.** сорбит отпуска;
- B.** мартенсит отпуска;
- C.** троостит отпуска;
- D.** бейнит отпуска.

14. Термическая операция, состоящая в нагреве металла в неустойчивом состоянии, полученном предшествующими обработками, выдержке при температуре нагрева и последующем медленном охлаждении для получения структур, близких к равновесному состоянию, называется:

- A.** нормализацией;
- B.** отжигом;
- C.** закалкой;
- D.** отпуском.

15. Термическая обработка стали, заключающаяся в нагреве, выдержке и последующем охлаждении на воздухе, называется:

- A.** нормализацией;
- B.** отжигом;
- C.** закалкой;
- D.** отпуском.

16. Термическая обработка (нагрев и последующее быстрое охлаждение), после которой материал находится в неравновесном структурном состоянии, несвойственном данному материалу при нормальной температуре, называется:

- A.** нормализацией;
- B.** отжигом;
- C.** закалкой;
- D.** отпуском.

17. Вид термической обработки сплавов, осуществляемой после закалки и представляющей собой нагрев до температур, не превышающих A_1 , с последующим охлаждением, называют:

- A.** нормализацией;
- B.** отжигом;
- C.** закалкой;
- D.** отпуском.

18. К отжигу I рода относятся:

- A.** полный;
- B.** рекристаллизационный;
- C.** неполный;
- D.** изотермический.

19. К отжигу II рода относятся:

- A.** полный;
- B.** рекристаллизационный;
- C.** диффузионный;
- D.** отжиг для снятия напряжений.

20. При отжиге деталь охлаждают:

- A.** на воздухе;
- B.** в воде;
- C.** с печью;
- D.** в масле.

21. При нормализации деталь охлаждают:

- A.** на воздухе;
- B.** в воде;
- C.** с печью;
- D.** в масле.

22. Выберите оптимальную температуру закалки (по рис. 1) для стали У11:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

23. Выберите оптимальную температуру закалки (по рис. 1) для стали 45:

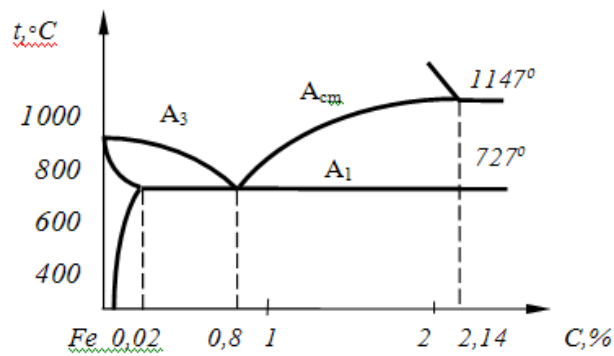


Рис. 1

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

24. Выберите оптимальную температуру закалки (по рис. 1) для стали У8:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

25. Выберите оптимальную температуру закалки (по рис. 1) для стали У7:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

26. Выберите оптимальную температуру отжига (по рис. 1) для стали 50:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

27. Выберите оптимальную температуру отжига (по рис. 1) для стали У8:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

28. Выберите оптимальную температуру отжига (по рис. 1) для стали У12:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

29. Выберите оптимальную температуру нормализации (по рис. 1) для стали 50:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

30. Выберите оптимальную температуру нормализации (по рис. 1) для стали У8:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

31. Выберите оптимальную температуру нормализации (по рис. 1) для стали У12:

- A.** $A_1 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- B.** $A_3 + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- C.** $A_{CT} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$;
- D.** выше A_1 , но ниже A_3 ;
- E.** выше A_1 , но ниже A_{CT} .

32. Укажите правильный порядок расположения структур термообработанной стали по мере уменьшения твердости (1 – мартенсит, 2 – мартенсит отпуска, 3 – троостит отпуска, 4 – сорбит отпуска):

- A.** 1 – 2 – 3 – 4;
- B.** 4 – 3 – 2 – 1;
- C.** 3 – 2 – 1 – 4;
- D.** 1 – 2 – 4 – 3.

33. Укажите правильный порядок расположения структур термообработанной стали по мере уменьшения пластичности (1 – мартенсит, 2 – мартенсит отпуска, 3 – троостит отпуска, 4 – сорбит отпуска):

- A.** 1 – 2 – 3 – 4;
- B.** 4 – 3 – 2 – 1;
- C.** 3 – 2 – 1 – 4;
- D.** 1 – 2 – 4 – 3.

34. Введение в состав металлических сплавов примесей в определенных концентрациях с целью изменения их внутреннего строения и свойств называется:

- A.** легированием;
- B.** азотированием;
- C.** цементацией;
- D.** нормализацией.

35. Процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали углеродом называется:

- A.** легированием;
- B.** азотированием;
- C.** цементацией;
- D.** нормализацией.

36. Процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом называется:

- A.** легированием;
- B.** азотированием;
- C.** цементацией;
- D.** нормализацией.

37. Процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом в газовой среде называется:
- A.** легированием;
 - B.** азотированием;
 - C.** нитроцементацией;
 - D.** нормализацией.
38. Цементуемые изделия после закалки подвергают:
- A.** высокому отпуску;
 - B.** среднему отпуску;
 - C.** улучшению;
 - D.** низкому отпуску.
39. К методам поверхностного упрочнения относятся:
- A.** закалка токами высокой частоты;
 - B.** нормализация;
 - C.** отпуск;
 - D.** лазерное упрочнение.
40. Какая структурная составляющая не должна встречаться в структуре серых чугунов?
- A.** шаровидный графит;
 - B.** феррит;
 - C.** ледебурит;
 - D.** перлит.
41. Какая из предложенных форм графита характерна для высокопрочного чугуна?
- A.** вермикулярная;
 - B.** пластинчатая;
 - C.** шаровидная;
 - D.** хлопьевидная.
42. СЧ15 – одна из марок серого чугуна с пластинчатым графитом. Цифра 15 означает:
- A.** содержание углерода в процентах
 - B.** относительное удлинение
 - C.** предел прочности при растяжении, поделенный на 10

43. Какой чугун получают отжигом белых доэвтектических чугунов?

- A.** высокопрочный;
- B.** ковкий;
- C.** половинчатый;
- D.** вермикулярный.

44. Мартенсит – это...:

- A.** пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе;
- B.** твердый раствор углерода в α – железе;
- C.** твердый раствор углерода в γ – железе;
- D.** эвтектическая смесь аустенита и цементита.

45. К отжигу I рода относятся:

- A.** полный;
- B.** рекристаллизационный;
- C.** диффузионный;
- D.** неполный;
- E.** изотермический.

46. К отжигу II рода относятся:

- A.** полный;
- B.** диффузионный;
- C.** неполный;
- D.** изотермический.

47. Термическая обработка, называемая отпуском, проводится после:

- A.** закалки;
- B.** старения;
- C.** нормализации;
- D.** отжига.

РАЗДЕЛ III КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Какая из сталей относится к автоматным?

- A.** 40А;
- B.** А12;
- C.** 08пс.

2. Какая из сталей относится к подшипниковым?
 - A.** 40X;
 - B.** АС4;
 - C.** ШХ15;
 - D.** 18ХГТ.

3. Какая из сталей относится к износостойким сталям?
 - A.** 40X;
 - B.** АС4;
 - C.** 110Г13Л;
 - D.** 18ХГТ.

4. Какая из сталей относится к коррозионно-стойким сталям?
 - A.** 40X;
 - B.** 40X13;
 - C.** 40;
 - D.** 40ХГ.

5. Металлические материалы, способные сопротивляться разрушению в агрессивных средах, называются:
 - A.** жаростойкими;
 - B.** жаропрочными;
 - C.** коррозионно-стойкими;
 - D.** износостойкими.

6. Металлические материалы, способные сопротивляться ползучести и разрушению при высоких температурах при длительном действии нагрузки, называются:
 - A.** жаростойкими;
 - B.** жаропрочными;
 - C.** коррозионно-стойкими;
 - D.** износостойкими.

7. Углеродистая сталь общего назначения группы В:
 - A.** с гарантируемыми механическими свойствами;
 - B.** с гарантируемым химическим составом;
 - C.** с гарантируемыми механическими свойствами и хим.составом.

8. Сколько углерода в стали марки Ст2:
- A.** 0.06-0.12;
 - B.** 0.09-0.15;
 - C.** 0.18-0.27.
9. Буква «А» в начале марки стали означает:
- A.** наличие азота в стали;
 - B.** сталь улучшенного качества;
 - C.** автоматную сталь.
10. Структура доэвтектоидных сталей:
- A.** перлит + цементит;
 - B.** перлит + феррит;
 - C.** цементит + ледебурит.
11. Углеродистые стали содержат:
- A.** до 1% углерода;
 - B.** до 2% углерода;
 - C.** свыше 2% углерода.
12. Листовая сталь должна обладать высокой:
- A.** прочностью;
 - B.** пластичностью;
 - C.** прочностью и пластичностью.
13. Высочкачественная сталь должна содержать серы:
- A.** до 0,02-0,03 %;
 - B.** до 0,03,0.04 %;
 - C.** свыше 0,04 %.
14. Повышение количества углерода в сталях приводит к:
- A.** повышению твердости и прочности;
 - B.** повышению пластичности и вязкости;
 - C.** снижению твердости и пластичности.
15. Присутствие водорода в стали приводит к:
- A.** понижению твердости;
 - B.** образованию флокенов;

- С.** повышению пластичности.
16. Какие легирующие элементы влияют на прочность:
- А.** хром, вольфрам, молибден;
 - В.** марганец, кремний, алюминий;
 - С.** ниобий, титан, ванадий.
17. К легированным сталям общего назначения относят:
- А.** подшипниковые, строительные;
 - В.** цементируемые, улучшаемые;
 - С.** нержавеющие, жаропрочные.
18. Какие стали являются цементируемыми:
- А.** 30ХГСА, 18К8МГ;
 - В.** Ст3, 17ГС, 60С2;
 - С.** 20Х, 18ХН, 12ХН3.
19. Фазовый состав белого чугуна при нормальной температуре:
- А.** цементит и феррит;
 - В.** феррит и перлит;
 - С.** перлит и цементит.
20. Наибольшей твердостью обладает чугун с:
- А.** перлитной основой;
 - В.** ферритной основой;
 - С.** ферритно-перлитной основой.
21. В маркировке серого чугуна (СЧ30) число обозначает:
- А.** предел прочности при изгибе;
 - В.** твердость;
 - С.** предел прочности при растяжении.
22. Высокопрочный чугун обозначается:
- А.** СЧ40;
 - В.** КЧ60-3;
 - С.** ВЧ50-2.

23. В маркировке ковкого чугуна (КЧ33-8) число обозначает:
- A.** предел прочности при растяжении и относительное удлинение;
 - B.** предел текучести и твердость;
 - C.** предел прочности на изгиб и удлинение.
24. Металлические материалы, обладающие повышенным сопротивлением химическому взаимодействию с газами при высоких температурах, называются:
- A.** Жаростойкими;
 - B.** Жаропрочными;
 - C.** коррозионно-стойкими;
 - D.** износостойкими.
25. Напряжение, которое вызывается за установленное время испытания при заданной температуре, заданное удлинение образца или заданную скорость деформации, называется:
- A.** пределом ползучести;
 - B.** предел прочности;
 - C.** предел текучести;
 - D.** пределом длительной прочности.
26. Какая из перечисленных ниже структур имеет более высокие жаропрочные свойства:
- A.** ферритная;
 - B.** перлитная;
 - C.** мартенситная;
 - D.** аустенитная.

РАЗДЕЛ IV НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

1. В чем состоит различие между термопластичными и терморезистивными полимерами:
- A.** в характере поведения в цикле нагрев-охлаждение;
 - B.** в значении удельного сопротивления;
 - C.** в технологической себестоимости.

2. К какому виду материалов относится стеклотекстолит?
- A.** полимерный материал;
 - B.** композиционный материал;
 - C.** керамический материал.
3. Керамические материалы получают:
- A.** путем свободного охлаждения расплава;
 - B.** путем ускоренного охлаждения расплава;
 - C.** путем формования и термообработки.
4. Какие из перечисленных групп конструкционных материалов являются композиционными:
- A.** слоистые пластики;
 - B.** термопластичные полимеры;
 - C.** терморезистивные полимеры.
5. С учетом какого параметра, получают аморфные металлические сплавы (металлические стекла):
- A.** сверхвысокой скорости нагревания;
 - B.** сверхвысокой механической нагрузке;
 - C.** сверхвысокой скорости охлаждения.
6. С какой целью добавляют сажу в полиэтилен?
- A.** уменьшения электропроводности;
 - B.** увеличения диэлектрической проницаемости материала;
 - C.** уменьшения диэлектрической проницаемости материала.
11. Природный каучук – линейный полимер:
- A.** бутадиена;
 - B.** этилена;
 - C.** ацетилена.
12. Вулканизация – процесс нагревания каучука с:
- A.** серой;
 - B.** углеродом;
 - C.** серной кислотой.

13. Полимерами называются вещества, которые имеют:
- A.** макромолекулы, состоящие из многочисленных элементарных звеньев одинаковой структуры;
 - B.** макромолекулы, состоящие из многочисленных элементарных звеньев разной структуры;
 - C.** сложную кристаллическую структуру.
14. Сцепление молекул тел приведенных в контакт за счет сил притяжения называется:
- A.** абляцией;
 - B.** адгезией;
 - C.** когезией.
15. Какой из приведенных материалов является природным полимером?
- A.** асбест;
 - B.** шелк;
 - C.** полистирол.
16. По составу полимеры подразделяют на:
- A.** простые, сложные, элементарные.
 - B.** органические, элементоорганические и неорганические
 - C.** кристаллические, некристаллические и атомные.
17. По фазовому состоянию полимеры подразделяют бывают:
- A.** вязкие и жидкие;
 - B.** аморфные и кристаллические;
 - C.** аморфные и жидкие.
18. К неметаллическим материалам относится:
- A.** сплав металла с неметаллом (аморфный сплав);
 - B.** органическое стекло;
 - C.** металлокерамика.
19. Какое из сочетаний свойств соответствует неметаллическим материалам?
- A.** жёсткость и пластичность при малой плотности;
 - B.** большая плотность и удельная прочность;
 - C.** химическая стойкость и теплопроводность.

20. Основой неметаллических материалов является:

- A.** низкомолекулярные химические соединения;
- B.** синтетические полимеры;
- C.** стекла, керамика.

21. Что представляет собой стеклообразное состояние полимера?

- A.** твёрдое;
- B.** жидкое;
- C.** аморфное.

22. От чего зависят механические свойства полимеров:

- A.** времени действия и скорости приложения нагрузок;
- B.** температуры;
- C.** способа получения;
- D.** структуры макромолекулы;
- E.** структуры кристаллической решетки.

23. Что является причиной старения полимеров?

- A.** кислород;
- B.** воздух;
- C.** влага.

24. Старение полимеров является результатом:

- A.** длительного использования;
- B.** окисления полимера атмосферным кислородом;
- C.** разрыва монокристаллитных связей.

25. Что делают для замедления процессов старения полимеров?

- A.** добавляют стабилизаторы;
- B.** улучшают условия хранения или использования;
- C.** обрабатывают специальными растворами.

26. Абляцией полимерных материалов называется:

- A.** изменение;
- B.** разрушение;
- C.** добавление стабилизатора.

27. Какая способность полимерных материалов называется адгезия:
- A.** к смешиванию;
 - B.** к разрушению;
 - C.** к слипанию.
28. Назовите виды классификаций, относящихся к полимерам:
- A.** по составу;
 - B.** по виду наполнителя;
 - C.** по отношению к нагреву.
29. При структурировании у полимеров:
- A.** повышаются твёрдость, хрупкость; наблюдается потеря эластичности;
 - B.** образуются радикалы;
 - C.** разрушаются химические связи.
30. Пластмассами называют:
- A.** искусственные материалы, полученные на основе органических полимерных связующих веществ;
 - B.** натуральные материалы, полученные на основе органических полимерных связующих веществ;
 - C.** искусственные материалы, полученные на основе неорганических полимерных связующих веществ.
31. Полипропилен - это...:
- A.** аморфно-кристаллический полимер;
 - B.** аморфный полимер;
 - C.** аморфный термопласт.
32. Прозрачный аморфный термопласт на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот – это...:
- A.** фторопласт-3;
 - B.** органическое стекло;
 - C.** полистирол.
33. Какие из свойств относятся к недостаткам полистирола?
- A.** невысокая теплостойкость; склонность к старению; образование трещин;
 - B.** трудность переработки;
 - C.** при нагреве размягчается.

34. Связующими веществами в термореактивных пластмассах являются:
- A.** термореактивные смолы;
 - B.** полиамиды;
 - C.** органическое стекло.
35. Полиэтилен, полипропилен, полистирол, фторопласт – 4 – это:
- A.** неполярные термореактивные пластмассы;
 - B.** неполярные термопластичные пластмассы;
 - C.** полярные термореактивные пластмассы.
36. Текстолит – это термореактивная пластмасса с наполнителем:
- A.** волокнистым;
 - B.** порошковым;
 - C.** листовым.
37. Гетинакс - это термореактивная пластмасса с наполнителем:
- A.** порошковым;
 - B.** волокнистым;
 - C.** листовым.
39. Укажите неактивные наполнители резины:
- A.** оксид цинка;
 - B.** мел, тальк;
 - C.** регенерат.
40. К группе резин какого назначения относят вулканизаты неполярных каучуков - НК, СКБ, СКС, СКИ ?
- A.** морозостойкие;
 - B.** износостойкие;
 - C.** специальные;
 - D.** светоозоностойкие;
 - E.** общего.
41. Эбонит – это каучук с содержанием S примерно:
- A.** 3%;
 - B.** 30%;
 - C.** 50%.

42. Резиной называется:

- A.** продукт специальной обработки смеси каучука с различными добавками;
- B.** каучук и ингредиенты;
- C.** каучук с добавлением серы.

43. Для повышения устойчивости материалов к воздействию окружающей среды могут использоваться следующие покрытия:

- A.** резистивные;
- B.** магнитодиэлектрические;
- C.** лакокрасочные.

44. Самопроизвольное разрушение твердых материалов, вызванное химическими или электрохимическими процессами, развивающимися на их поверхности при взаимодействии с внешней средой, называется:

- A.** коррозией;
- B.** эрозией;
- C.** адгезией.

45. Наибольшей коррозионной устойчивостью обладают следующие металлы:

- A.** медь;
- B.** хром;
- C.** никель.

РАЗДЕЛ V ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Теплостойкостью не ниже 400-450°C, способностью противостоять воздействию удельных давлений до 2000-2200 МПа в течение длительного времени и высокой износостойкостью должны обладать:

- A.** быстрорежущие стали;
- B.** штамповые стали для горячего деформирования;
- C.** штамповые стали для холодного деформирования;
- D.** твердые сплавы.

2. Какая из сталей относится к штамповым сталям для горячего деформирования умеренной теплостойкости и повышенной ударной вязкости?

- A.** X12;

- B.** 5ХНМ;
- C.** P18;
- D.** 9ХС.

3. Какая из сталей относится к износостойким штамповым сталям для холодного деформирования?

- A.** X12;
- B.** 5ХНМ;
- C.** P18;
- D.** 9ХС.

4. Содержание углерода в штамповых сталях для холодного деформирования находится в пределах:

- A.** 0,3 – 0,6 %;
- B.** 0,8 – 2,2 %;
- C.** 0,1-0,3 %;
- D.** свыше 4,3 %.

5. Содержание углерода в штамповых сталях для горячего деформирования находится в пределах:

- A.** 0,3 – 0,6 %;
- B.** 0,8 - 2,2 %;
- C.** 0,1-0,3 %;
- D.** свыше 4,3 %.

6. Повышенное содержание хрома 11-13 % характерно для:

- A.** штамповых сталей горячего деформирования умеренной теплостойкости и повышенной ударной вязкости;
- B.** износостойких штамповых сталей для холодного деформирования;
- C.** штамповых сталей высокой теплостойкости для горячего деформирования;
- D.** высокопрочных штамповых сталей для холодного деформирования с повышенной ударной вязкостью.

7. Расположите следующие группы режущих инструментальных материалов в порядке возрастания их теплостойкости: 1- твердые сплавы, 2- быстрорежущие стали, 3 – режущая керамика, 4 – природный алмаз:

- A.** 1, 2, 3, 4;

- B.** 4, 2, 3, 1;
- C.** 2, 4, 1, 3;
- D.** 4, 3, 2, 1.

8. Расположите следующие группы режущих инструментальных материалов в порядке возрастания их твердости: 1- твердые сплавы, 2- быстрорежущие стали, 3 – режущая керамика, 4 – природный алмаз:

- A.** 1, 2, 3, 4;
- B.** 2, 1, 3, 4;
- C.** 3, 2, 1, 4;
- D.** 4, 3, 2, 1.

9. Какие из инструментальных материалов работоспособны при температурах 800 - 1000°C?

- A.** У10-У13;
- B.** P18;
- C.** BK8;
- D.** T15K6.

10. Какие из инструментальных материалов работоспособны при температурах 500 -600°C?

- A.** У10-У13;
- B.** P18;
- C.** 5ХНМ;
- D.** T15K6.

11. К карбидообразующим элементам относятся:

- A.** никель;
- B.** молибден;
- C.** алюминий;
- D.** вольфрам.

12. Какое содержание вредных примесей серы и фосфора содержится в высококачественных жаропрочных сталях?

- A.** до 0,04% серы и до 0,035% фосфора
- B.** до 0,025% серы и до 0,025% фосфора
- C.** до 0,015% серы и до 0,025% фосфора

- D.** сера и фосфор отсутствуют.
13. Какой легирующий элемент обозначается буквой С при маркировке автоматных сталей?
- A.** селен;
 - B.** углерод;
 - C.** кремний;
 - D.** свинец.
14. Буква А при маркировке стали (например, 39ХМЮА, У12А. обозначает:
- A.** Азот;
 - B.** высококачественную сталь;
 - C.** автоматную сталь;
 - D.** сталь ферритного класса.
15. В сталях используемых для изготовления строительных конструкций содержание углерода должно быть:
- A.** не более 0,25%;
 - B.** 0,35 до 0,45%;
 - C.** до 0,8%;
 - D.** до 1,2%.
16. К группе цементуемых сталей с неупрочняемой сердцевиной относится:
- A.** сталь 20ХГНР;
 - B.** сталь 15ХФ;
 - C.** сталь 15;
 - D.** сталь 45.
17. Для изготовления мелкогазмерных режущих (слесарных) инструментов (метчиков, напильников, развёрток и др.) применяются:
- A.** У10А – У13А;
 - B.** 18ХГТ, 20ХГМ;
 - C.** 110Г13Л;
 - D.** 03Х18Н10, 17Х18Н9.

18. Основным легирующим элементом быстрорежущей стали является вольфрам. Каким легирующим элементом можно заменить часть дорогостоящего вольфрама?
- A.** хромом;
 - B.** кобальтом;
 - C.** кремнием;
 - D.** молибденом.
19. Какой сплав получен методом порошковой металлургии?
- A.** BK8;
 - B.** P18;
 - C.** Y12A;
 - D.** 5XNM.
20. Какие карбиды составляют основу твердого сплава T5K10?
- A.** карбид вольфрама + карбид титана;
 - B.** карбид хрома + карбид молибдена;
 - C.** карбид марганца + карбид хрома;
 - D.** карбид молибдена + карбид вольфрама.
21. Основной особенностью режущей керамики является отсутствие связующей фазы. На какое свойство это отрицательно влияет?
- A.** ударную вязкость;
 - B.** возможность применения высоких скоростей резания;
 - C.** разупрочнение при нагреве;
 - D.** пластическую прочность.