

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**Костанайский государственный университет им А.Байтурсынова
Инженерно-технический факультет
Кафедра технического сервиса**

В.Б. Пименов

**Технология конструкционных материалов и термообработка
Учебное пособие**

г. Костанай, 2012 г.

ББК 34.5 я 73
П 32

Автор: Пименов В.Б. – канд. техн. наук , ст. преподаватель

Рецензенты:

Щербаков Н.В. –доцент кафедры машин, тракторов и автомобилей КГУ им. А. Байтурсынова, к.т.н.

Гаврилов Н.В. – доцент кафедры машин, тракторов и автомобилей КГУ им. А. Байтурсынова, к.т.н.

Баганов Н.А.- декан факультета машиностроения и транспорта КИиЭУ им. М.Дулатова,, к.т.н. ,доцент

П32 Пименов В.Б. Технология конструкционных материалов и термообработка. - Костанай: КГУ им. А.Байтурсынова

Данное учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Технология конструкционных материалов и термообработка». Предназначено для помощи студентам в освоении ланной дисциплины «Технология конструкционных материалов и термообработка».

ББК 34.5я73

Утверждено методическим советом инженерно-технического факультета
КГУ им. А. Байтурсынова
Протокол от « 25 »...мая 2012г. №5...

Технология конструкционных материалов и термообработка
Костанай: КГУ им. А. Байтурсынова , 2012

Условные обозначения

α — температуропроводность

B — магнитная индукция

B_{\max} — максимальная индукция для данного цикла намагничивания

B_r — остаточная магнитная индукция

B_s — магнитная индукция насыщения

c — удельная теплоемкость

$C_{\text{Э}}$ — углеродный эквивалент

E — модуль нормальной упругости

f — стрела прогиба, частота

G — модуль сдвига, электропроводность

H — микротвердость, напряженность магнитного поля

H_c — коэрцитивная сила

HB — твердость по Бринеллю

$HRA, HRB, HRC_{\text{Э}}$ — твердость по Роквеллу, соответственно шкалы А, В, С

HSh — твердость по Шору

HV — твердость по Виккерсу

G_{IC} — критическая интенсивность освобождения энергии деформации при максимальном стеснении пластической деформации

J_{IC} — критическое значение —интеграла при максимальном стеснении пластических деформаций и разрушении нормальным отрывом

K_{IC} — критический коэффициент интенсивности напряжений (вязкость разрушения)

K_c — условный критический коэффициент интенсивности напряжений для образца данной толщины или диаметра

K_f — коэффициент выносливости

K_Q — расчетное значение коэффициент интенсивности напряжений

K_{σ} — коэффициент концентрации динамических напряжений

KS — ударная вязкость (образцов без надреза)

KCT — ударная вязкость (образец с предварительно созданной трещиной)

KCU — ударная вязкость (образец с U-образным надрезом)

KCV — ударная вязкость (образец с V-образным надрезом)

KV — работа удара

M_{Δ} — температура начала мартенситного превращения при пластическом деформировании

M_K — температура конца мартенситного превращения при охлаждении

M_H — температура начала мартенситного превращения при охлаждении

Q — теплота

R — электрическое сопротивление

$S_{\text{Э}}$ — степень эвтектичности

t — время

T — температура

T_c — точка Кюри

T_{50} — температурный порог хрупкости

Ra — среднее арифметическое отклонение профиля

Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам

α — температурный коэффициент линейного расширения

l_0 — начальная расчетная длина образца

l — длина образца после разрыва

δ — относительное удлинение при разрыве
 $\delta_{ц}$ — циклическая вязкость
 $\delta_{с}$ — раскрытие вершины трещины при максимальной нагрузке
 ε — деформация, линейная усадка
 η — вязкость динамическая
 λ — теплопроводность
 λ_s — магнитоскрипция при насыщении
 μ — магнитная проницаемость, коэффициент Пуассона (коэффициент поперечного сжатия)
 ν — кинематическая вязкость
 ρ — удельное электросопротивление
 F — минимальная площадь поперечного сечения рабочей части образца после его разрыва
 F_0 — начальная площадь поперечного сечения рабочей части образца
 ψ — относительное поперечное сужение
 σ — напряжение
 σ_0 — начальное напряжение
 $\sigma_{в}$ — временное сопротивление при растяжении
 $\sigma_{вк}$ — временное сопротивление образца с концентратом напряжений (с надрезом)
 $\sigma_{т}$ — предел текучести физический
 $\sigma_{0,2}$ — предел текучести условный
 $\sigma_{0,2сж}$ — предел текучести условный при сжатии
 $\sigma_{0,001}, \sigma_{0,005}, \sigma_{0,05}$ — предел упругости условный с допуском на остаточную деформацию соответственно 0,001; 0,005; 0,05 %
 $\sigma_{сж}$ — предел прочности при сжатии
 $\sigma_{изг}$ — предел прочности при изгибе
 σ_{-1} — предел выносливости при знакопеременном изгибе с симметричным циклом нагружения
 σ_{-1}^n — предел выносливости при знакопеременном изгибе с симметричным циклом нагружения
 $\sigma_{-1р}$ — предел выносливости при растяжении — сжатии
 $\sigma_{10}^T, \sigma_{100}^T, \sigma_{1000}^T$ — предел длительной прочности соответственно для базы испытаний 10, 100 и 1000 ч при температуре T
 $\sigma_{1/1000}^T$ — предел ползучести при температуре T , создающий остаточную деформацию 1 % за 1000 ч
 σ_i^T — предел ползучести при температуре T , характеризующийся скоростью деформации
 τ — касательное напряжение
 $\tau_{в}$ — предел прочности на срезе
 τ_{-1} — предел выносливости при знакопеременном кручении
 n — коэффициент запаса
 $n_{т}$ — коэффициент запаса по пределу текучести
 $n_{в}$ — коэффициент запаса по временному сопротивлению
 n_{Δ} — коэффициент запаса по пределу длительной прочности
 $n_{п}$ — коэффициент запаса по пределу ползучести

Тема 1 Классификация технических материалов Материалы металлические, неметаллические, композиционные.....	8
1.1 Введение.....	8
1.2 Кристаллическое строение металлов.....	10
1.3. Размер зерна и механические свойства металла.....	20
Тема 2. Методы исследования и испытания металлов. Макроско- пический анализ. Микроскопический анализ.....	21
Тема 3. Входной контроль качества металла Контроль химического состава и механических свойств.....	30
Тема 4. Кристаллизация и свойства сплавов.....	34
4.1 Затвердевание металлических материалов. Термические кривые охла- ждения при кристаллизации металлов. Применение правила фаз.....	34
4.2 Материалы аморфного строения и их применение.....	37
4.3 Полиморфные превращения в металлах. Жидкие кристаллы.....	38
4.4 Строение и свойства типовых двухкомпонентных сплавов.....	38
Тема 5. Механические свойства металлов. Методы определения.....	39
5.1 Статические испытания Определение твердости металлов.....	39
5.2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях. Вязкое и хрупкое разрушение.....	43
5.3. Требования к механическим свойствам конструкционных материалов.....	46
5.4. Высокопрочные материалы. Долговечность.....	47
Тема 6. Теория сплавов.....	48
6.1. Виды сплавов. Фазы. Компоненты. Понятие о физико-химическом ана- лизе.....	48
6.2. Диаграмма состояния	50
6.3. Механические и технологические свойства сплавов, связь с типом диа- грамм состояния.....	54
6.4. Понятие о трехкомпонентных системах.....	54
Тема 7. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.....	55
7.1. Диаграмма состояния железо – цементит. Фазовые превращения в же- лезоуглеродистых сплавах.....	55
7.2. Кривые охлаждения и анализ фазовых превращений железоуглероди- стых сплавов.....	60
7.3. Строение и свойства чугунов. Диаграмма состояния железо - графит. Фазовые превращения в чугунах.....	62
7.4. Механические свойства чугуна.....	63
Тема 8. Углеродистые и легированные стали. Строение и свойства ста- лей.....	64
8.1. Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства стали. Классификация сталей.....	65
8.2. Магнитные стали и сплавы. Электротехнические сплавы.....	72

8.3. Инструментальные материалы.....	73
Тема 9. Фазовые превращения в сплавах железо - углерод в твердом состоянии. Фазовые превращения при нагреве стали. Виды термической обработки материалов.....	76
Тема 10.Технология термической обработки стали.....	80
10.1. Виды и назначение термической обработки материалов.....	80
10.2.Химико - термическая обработка . Покрытия металлов: напыленные и осажденные.....	88
10.3. Пластическая деформация. Термомеханическая обработка металлов. Сверхпластичность.....	90
Тема 11. Цветные металлы и сплавы.....	95
11.1 Сплавы алюминиевые, медные, магниевые, титановые, бериллиевые.....	95
11.2.Антифрикционные и фрикционные материалы. Строение, свойства и применение.....	98
Тема 12. Неметаллические материалы. Классификация. Строение, Свойства.....	99
12.1.Классификация и строение неметаллических материалов.....	99
12.2.Термопласты. Термоэластопласты. Олигомеры и реактопласты.....	100
12.3. Каучуки и резиновые материалы. Термоэластопласты.....	101
12.4. Неорганическое стекло. Стеклокристаллические материалы.....	101
12.5. Конструкционные керамические, углеродные и графитовые материалы.....	102
12.6. Композиционные материалы (КМ). Волокнистые, слоистые и дисперсно- упрочненные композиты.....	104
Тема 13. Основы металлургического производства.....	106
13.1.Металлургическое производство.....	106
13.2. Доменный процесс получения чугуна.....	106
13.3. Основные способы производства стали. Разливка стали.....	110
Тема 14. Технология литейного производства.....	120
14.1.Теоретические основы производства отливок.Литейные сплавы и их применение.....	120
14.2.Изготовление отливок в песчано-глинистых формах.....	122
14.3.Особенности изготовления отливок из различных сплавов.....	125
14.4. Специальные способы литья.....	125
Тема 15.Технология обработки металлов давлением. Сущность и виды обработки металлов давлением. Прокатка. Ковка. Штамповка.....	126
Тема 16. Общая характеристика сварочного производства.....	129
16.1. Физические основы получения сварного соединения.....	129
16.2.Сварка плавлением.....	130
16.3.Сварка давлением.....	131
16.4.Специальные виды сварки металлов.....	132
16.5.Особенности сварки различных металлов и сплавов.....	132
Список рекомендуемой литературы.....	134

Тема 1 . Классификация технических материалов. Материалы металлические, неметаллические, композиционные.

1.1 Введение

Настоящее пособие предназначено для студентов младших курсов технических специальностей вузов.

Целью создания учебного пособия явилось стремление дать общее представление о внутреннем строении, свойствах и способах обработки основных конструкционных материалов, о процессах и явлениях, происходящих в материалах в процессе их эксплуатации.

Существенную помощь в освоении материала пособия должен оказать словарь специальных терминов, включающий краткие статьи и иллюстрации по всем основным терминам и понятиям.

Основная цель курса - изучить внутреннее строение конструкционных материалов и определить связи строения с механическими, физическими свойствами и химическим составом, а также с технологическими и эксплуатационными воздействиями.



Конструкционные материалы – материалы для изготовления деталей машин и механизмов, обеспечивающие механическую прочность деталей под действием эксплуатационных нагрузок.

Детали должны сохранять форму, размеры, не разрушаться. Самый распространенный материал для изготовления деталей современных машин и механизмов – металл.

Общая характеристика металлов и сплавов

Назначение материала определяется требованиями конструкции (конструкционные критерии - прочность, долговечность, коррозионные свойства и т.п.) и возможностью переработки в изделие (технологические критерии - коэффициент обрабатываемости резанием, сварки и обработки давлением и т.п.).

Выбор материала с использованием классификации осуществляется по двум основным критериям. В общем случае классификация материалов включает в себя три основных разновидности материалов: металлические материалы, неметаллические материалы, композиционные материалы. По геометрическим признакам материалы и вещества принято классифицировать по виду полуфабрикатов: листы, профили, гранулы, порошки, волокна и т.п.. Поскольку материал того или иного полуфабриката изготавливается по разной технологии, приме-

няют разделение по структуре.

Металлические материалы принято классифицировать по основному компоненту. Различают черную и цветную металлургию.

К материалам черной металлургии принадлежат стали, чугуны, ферросплавы и сплавы на основе железа, легированные цветными металлами в количестве превосходящим стали.

К материалам цветной металлургии принадлежат важнейшие цветные металлы - алюминий, медь, цинк, свинец, никель, олово и сплавы на их основе. К металлическим материалам относятся и материалы порошковой металлургии.

Неметаллические материалы различают по основным классам: резина, керамика, стекло, пластические массы, ситаллы.

Композиционными материалы - сложные или составные материалы, состоящие из двух разнородных материалов (например: стекла и пластмассы - стеклопластики) принято классифицировать по типу структуры, материалу матрицы, назначению и способу изготовления.

В последние годы в классификации машиностроительных материалов применяют параметры удельной прочности и энергозатрат производства материалов. Они показывают, что наилучшими сочетаниями свойств для машин обладают титан и алюминий. Классификация известных материалов находит свое отражение в Государственных Стандартах (ГОСТ).

В природе металлы встречаются как в чистом виде, так и в рудах, оксидах и солях. В чистом виде встречаются химически устойчивые элементы (Pt, Au, Ag, Cu). Масса наибольшего самородка меди составляет 420 т, серебра — 13,5 т, золота — 112 кг. Из 111 открытых элементов, представленных в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева, 76 являются металлами, Si, Ge, As, Se, Te — промежуточными между металлами и неметаллами, иногда их называют полуметаллами. Все элементы, расположенные левее мысленной линии, проведенной от бора до астата (от № 5 до № 85) относятся к металлам, а правее — в основном, к неметаллам. Эта граница недостаточно четко выражена, так как среди элементов, расположенных вблизи границы, находятся и полуметаллы.

Классификация металлов

Металлические материалы обычно делятся на две большие группы: железо и сплавы железа (сталь и чугун) называют черными металлами, а остальные металлы и их сплавы — цветными. Кроме того, все цветные металлы, применяемые в технике, в свою очередь, делятся на следующие группы:

легкие металлы Mg, Be, Al, Ti с плотностью до 5 г/см^3 ;

тяжелые металлы Pb, Mo, Ag, Au, Pt, W, Ta, Ir, Os с плотностью, превышающей 10 г/см^3 ;

легкоплавкие металлы Sn, Pb, Zn с температурой плавления 232; 327; $410 \text{ }^\circ\text{C}$ соответственно;

тугоплавкие металлы W, Mo, Ta, Nb с температурой плавления выше, чем у железа ($> 1536 \text{ }^\circ\text{C}$);

благородные металлы Au, Ag, Pt с высокой устойчивостью против коррозии;

урановые металлы или актиноиды, используемые в атомной технике;

редкоземельные металлы (РЗМ) — лантаноиды, применяемые для модифицирования стали;

щелочные и щелочноземельные металлы Na, K, Li, Ca в свободном состоянии применяются в качестве жидкометаллических теплоносителей в атомных реакторах; натрий также используется в качестве катализатора в производстве искусственного каучука, а литий — для легирования легких и прочных алюминиевых сплавов, применяемых в самолетостроении.

Свойства металлов разнообразны. Ртуть замерзает при температуре минус 38,8 °С, вольфрам выдерживает рабочую температуру до 2000 °С ($T_{пл} = 3420$ °С), литий, натрий, калий легче воды, а иридий и осмий — в 42 раза тяжелее лития.

Электропроводность серебра в 130 раз выше, чем у марганца. Вместе с тем металлы имеют характерные общие свойства. К ним относятся:

- высокая пластичность;
- высокие тепло- и электропроводность;
- положительный температурный коэффициент электрического сопротивления, означающий рост сопротивления с повышением температуры и сверхпроводимость многих металлов (около 30) при температурах, близких к абсолютному нулю;
- хорошая отражательная способность (металлы непрозрачны и имеют характерный металлический блеск);
- термоэлектронная эмиссия, т. е. способность к испусканию электронов при нагреве;
- кристаллическое строение в твердом состоянии.

1.2 Кристаллическое строение металлов.

Общее свойство металлов и сплавов — их кристаллическое строение, характеризующееся определенным закономерным расположением атомов в пространстве. Для описания атомно-кристаллической структуры используют понятие кристаллической решетки, являющейся воображаемой пространственной сеткой с ионами (атомами) в узлах.

Атомно-кристаллическая структура может быть представлена не рядом периодически повторяющихся объемов, а одной элементарной ячейкой. Так называется ячейка, повторяющаяся во всех трех измерениях. Трансляцией этого наименьшего объема можно полностью воспроизвести структуру кристалла (рис. 1).

В кристалле элементарные частицы (атомы, ионы) сближены до соприкосновения. Для упрощения пространственное изображение принято заменять схемами, где центры тяжести частиц представлены точками. В точках пересечения прямых линий располагаются атомы; они называются узлами решетки. Расстояния a , b и c между центрами атомов, находящихся в соседних узлах решетки, назы-

вают параметрами, или периодами решетки. Величина их в металлах порядка 0,1–0,7 нм, размеры элементарных ячеек — 0,2–0,3 нм.

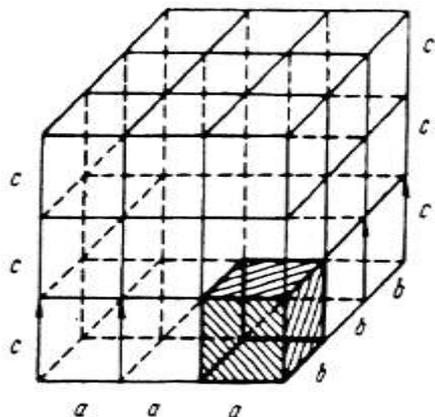


Рисунок. 1. Кристаллическая решетка

Для однозначного описания элементарной ячейки кристаллической решетки необходимо знание величин параметров a , b , c и углов между ними.

В 1848 г. французский ученый Бравэ показал, что изученные трансляционные структуры и элементы симметрии позволяют выделить 14 типов кристаллических решеток.

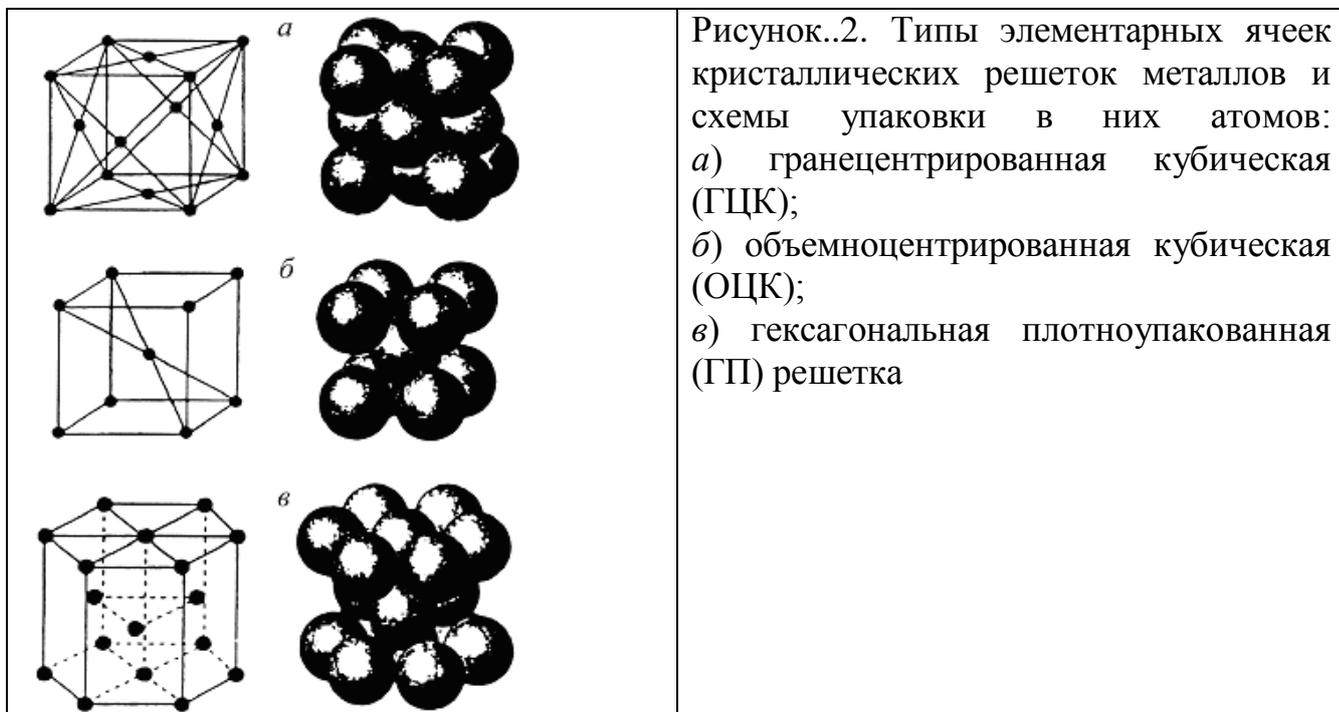
На рис. 2 показаны три типа элементарных ячеек кристаллических решеток, наиболее характерные для металлов: объемноцентрированная кубическая (ОЦК); гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГП), а также схемы упаковки в них атомов.

В кубической гранецентрированной решетке (ГЦК; А1) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (рис. 2, б).

В кубической объемноцентрированной решетке (ОЦК; А2) атомы расположены в вершинах куба, а один атом — в центре его объема (рис. 2, а).

В гексагональной плотноупакованной решетке (ГП; А3) атомы расположены в вершинах и центре шестигранных оснований призмы, а три атома — в средней плоскости призмы (рис. 2, в).

Для характеристики кристаллических решеток вводят понятия координационного числа и коэффициента компактности. Координационным числом I_k называется число атомов, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от данного атома.



Для ОЦК решетки координационное число равно 8, для решеток ГЦК и ГП оно составляет 12. Из этого следует, что решетка ОЦК менее компактна, чем решетки ГЦК и ГП. В решетке ОЦК каждый атом имеет всего 8 ближайших соседей, а в решетках ГЦК и ГП их 12.

Если принять, что атомы в решетке представляют собой упругие соприкасающиеся шары, то нетрудно видеть, что в решетке, помимо атомов, имеется значительное свободное пространство. Плотность кристаллической решетки, т. е. объем, занятый атомами, характеризуется коэффициентом компактности.

Коэффициент компактности Q равен отношению суммарного объема атомов, входящих в решетку, к объему решетки:

$$Q = \frac{4\pi R^3 n}{3V} \cdot 100,$$

где R — радиус атома (иона); n — базис, или число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку; V — объем элементарной ячейки.

Для простой кубической решетки $n = (1/8) \cdot 8 = 1$; $V = a^3 = (2R)^3$, коэффициент компактности $Q = 52\%$, для объемноцентрированной $Q_{\text{ОЦК}} = 68\%$, для гранецентрированной кубической — $Q_{\text{ГЦК}} = 74\%$

Некоторые металлы при разных температурах могут иметь различную кристаллическую решетку. Способность металла существовать в различных кристаллических формах носит название полиморфизма или аллотропии. Принято обозначать полиморфную модификацию, устойчивую при более низкой температуре, индексом α (α -Fe), при более высокой индексом β , затем γ и т.д.

Известны полиморфные превращения железа: $\text{Fe}_\alpha \leftrightarrow \text{Fe}_\gamma$ (α -Fe \leftrightarrow γ -Fe). Температура превращения одной кристаллической модификации в другую называется температурой полиморфного превращения.

Таблица 1.

Типы кристаллических решеток важнейших металлических элементов

А. Металлы с одним типом решетки

Тип решетки	Координационное число	Коэффициент компактности	Металл
ГЦК	12	74	Ag, Au, Pt, Cu, Al, Pb, Ni
ОЦК	8	68	Na, K, V, Nb, Cr, Mo, W
ГП	12	74	Be, Mg, Zn, Cd

Б. Металлы с полиморфным превращением

Металл	Тип решетки	Температура превращения, °С
Ca	ГЦК \square ГП	450
Ce	ГП \square ГЦК	477
Zr	ГП \square ОЦК	882
Ti	ГП \square ОЦК	882
Fe	ОЦК \square ГЦК \square ОЦК	911, 1 392

При полиморфном превращении меняются форма и тип кристаллической решетки. Это явление называется перекристаллизацией. Так, при температуре ниже 911 °С устойчиво Fe_α, в интервале 911–1392 °С устойчиво Fe_γ. При нагреве выше 911 °С атомы решетки ОЦК перестраиваются, образуя решетку ГЦК. На явлении полиморфизма основана термическая обработка. Типы кристаллических решеток важнейших металлических элементов приведены в табл. 1.

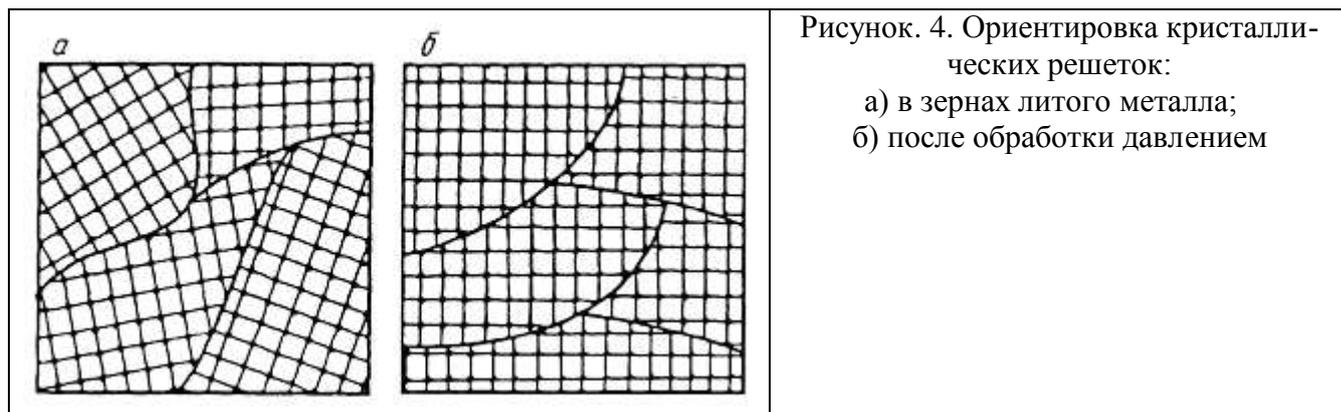
Полиморфизм олова явился одной из причин гибели полярной экспедиции английского исследователя Р. Скотта. Оловом были запаяны канистры с керосином. При низкой температуре произошло полиморфное превращение пластичного белого олова с образованием хрупкого порошка серого олова. Горючее вылилось и испарилось, и на обратном пути экспедиция осталась без топлива. Превращение белого олова в серое называют «оловянной чумой».

Свойства материалов зависят от природы атомов, из которых они состоят, и силы взаимодействия между ними. Аморфные материалы характеризуются хаотическим расположением атомов. Поэтому свойства их в различных направлениях одинаковы, или, другими словами, аморфные материалы изотропны.

В кристаллических материалах расстояния между атомами в разных кристаллографических направлениях различны. Например, в ОЦК решетке в кристаллографической плоскости, проходящей через грань куба, находится всего один атом, так как четыре атома в вершинах одновременно принадлежат четырем соседним элементарным ячейкам: $(1/4) 4 = 1$ атом. В то же время в плоскости, проходящей через диагональ куба, будут находиться два атома:

$$1 + (1/4) 4 = 2.$$

Из-за неодинаковой плотности атомов в различных направлениях кристалла наблюдаются разные свойства. Различие свойств в кристалле в зависимости от направления испытания называется анизотропией.



Анизотропия свойств характерна для одиночных кристаллов или для так называемых монокристаллов. Большинство же технических литых металлов, затвердевших в обычных условиях, имеют поликристаллическое строение. Они состоят из большого числа кристаллов или зерен (рис. 4, а). При этом каждое отдельное зерно анизотропно. Различная ориентировка отдельных зерен приводит к тому, что в целом свойства поликристаллического металла являются усредненными.

Поликристаллическое тело характеризуется *квазиизотропностью* — кажущейся независимостью свойств от направления испытания. Квазиизотропность сохраняется в литом состоянии, а при обработке давлением (прокатке, ковке), особенно, если она ведется без нагрева, большинство зерен металла приобретает примерно одинаковую ориентировку — так называемую текстуру (рис. 4, б), после чего металл становится анизотропным. Свойства деформированного металла вдоль и поперек направления главной деформации могут существенно различаться. Анизотропия может приводить к дефектам металла (расслою, волнистости листа). Анизотропию необходимо учитывать при конструировании и разработке технологии получения деталей.

Дефекты строения кристаллических тел

Идеальная кристаллическая решетка представляет собой многократное повторение элементарных кристаллических ячеек. Для реального металла характерно наличие большого количества дефектов строения, нарушающих периодичность расположения атомов в кристаллической решетке. Эти дефекты оказывают существенное влияние на свойства материала.

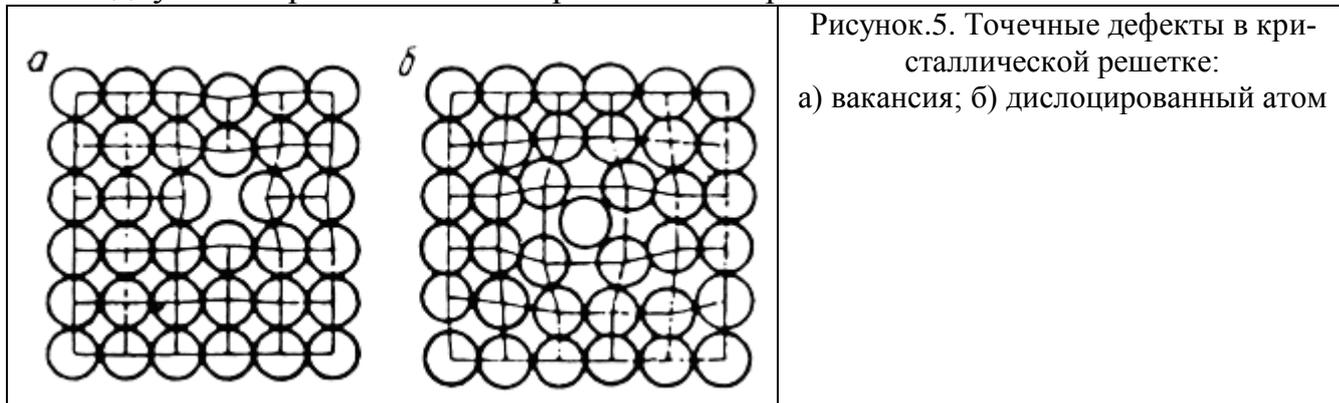
Различают три типа дефектов кристаллического строения: точечные, линейные и поверхностные.

Точечные дефекты

Точечные дефекты (рис. 5) характеризуются малыми размерами во всех трех измерениях. Величина их не превышает нескольких атомных диаметров.

К точечным дефектам относятся: а) свободные места в узлах кристаллической решетки — вакансии (дефекты Шоттки); б) атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решетки в межузельные промежутки — дислоцированные атомы (дефекты Френкеля); в) атомы других элементов, находящиеся как в узлах, так и

в междоузлиях кристаллической решетки — примесные атомы.



Точечные дефекты образуются в процессе кристаллизации под воздействием тепловых, механических, электрических воздействий, а также при облучении нейтронами, электронами, рентгеновскими лучами.

Вакансии и дислоцированные атомы могут появляться вследствие тепловых движений атомов. В характерных для металлов решетках энергия образования дислоцированных атомов значительно больше энергии образования тепловых вакансий. Поэтому основными точечными дефектами в металлах являются тепловые вакансии. При комнатной температуре концентрация вакансий сравнительно невелика и составляет около 1 на 10^{18} атомов, но резко повышается при нагреве, особенно вблизи температуры плавления. Точечные дефекты не закреплены в определенных объемах металла, они непрерывно перемещаются в кристаллической решетке в результате диффузии.

Присутствие вакансий объясняет возможность диффузии — перемещения атомов на расстояния, превышающие средние межатомные расстояния для данного металла. Перемещение атомов осуществляется путем обмена местами с вакансиями. Различают самодиффузию и гетеродиффузию. В первом случае перемещения атомов не изменяют их концентрацию в отдельных объемах, во втором — сопровождаются изменением концентрации. Гетеродиффузия характерна для сплавов с повышенным содержанием примесей.

Точечные дефекты приводят к локальным изменениям межатомных расстояний и, следовательно, к искажениям кристаллической решетки. При этом увеличивается сопротивление решетки дальнейшему смещению атомов, что способствует некоторому упрочнению кристаллов и повышает их электросопротивление.

Вакансии, дислоцированные атомы и другие точечные дефекты обнаружены при исследовании металлов с помощью автоионного микроскопа, дающего увеличение свыше 10^6 раз.

Линейные дефекты

Линейные дефекты характеризуются малыми размерами в двух измерениях, но имеют значительную протяженность в третьем измерении. Наиболее важный вид линейных дефектов — дислокации (лат. *dislocation* — смещение). Теория дислокаций была впервые применена в середине тридцатых годов XX века физиками Орована, Поляни и Тейлором для описания процесса пластической деформации кристаллических тел. Ее использование позволило объяснить природу

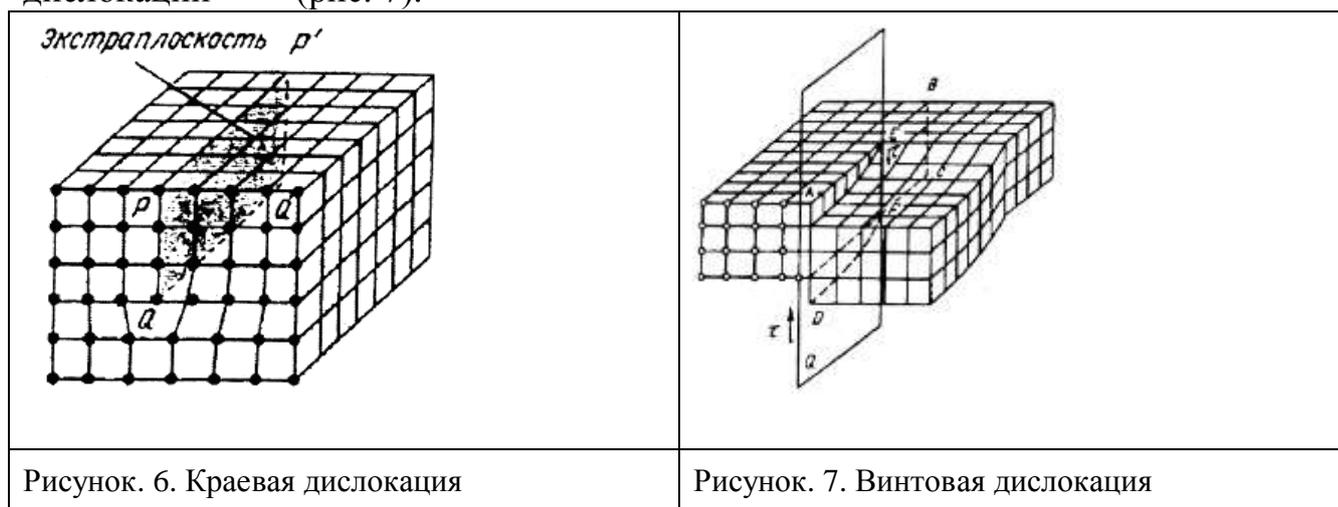
прочности и пластичности металлов. Теория дислокаций дала возможность объяснить огромную разницу между теоретической и практической прочностью металлов.

На рис. 6 приведена схема участка кристаллической решетки с одной «лишней» атомной полуплоскостью, т. е. краевой дислокацией. Линейная атомная полуплоскость $PQQ'P'$ называется экстраплоскостью, а нижний край экстраплоскости — линией дислокации. Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то дислокацию называют положительной и обозначают знаком « \gg », если в нижней — то отрицательной и обозначают знаком « \ll ». Различие между дислокациями чисто условное. Перевернув кристалл, мы превращаем положительную дислокацию в отрицательную. Знак дислокации позволяет оценить результат их взаимодействия. Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположного — притягиваются.

между **теоретической и фактической прочностью металлов**. Теоретическая прочность должна быть пропорциональна произведению сил межатомной связи на число атомов в сечении кристалла.

Расчетное усилие для смещения одной части кристалла относительно другой оказалось на 2–3 порядка выше фактически затрачиваемого

Помимо краевых дислокаций в кристаллах могут образовываться и винтовые дислокации (рис. 7).



Винтовые дислокации могут быть получены путем частичного сдвига атомных слоев по плоскости Q , который нарушает параллельность атомных слоев. Кристалл как бы закручивается винтом вокруг линии EF . Линия EF является линией дислокации. Она отделяет ту часть плоскости скольжения, где сдвиг уже завершился, от той части, где сдвиг еще не происходил. Винтовая дислокация, образованная вращением по часовой стрелке, называется правой, а против часовой стрелки — левой.

Вблизи линии дислокации атомы смещены со своих мест и кристаллическая решетка искажена, что вызывает образование поля напряжений: выше линии дислокации решетка сжата, а ниже растянута.

Дислокации образуются уже при кристаллизации металлов, а также в ходе пластической деформации и фазовых превращений. Плотность дислокаций может достигать большой величины. Под *плотностью дислокаций* ρ обычно понимают

суммарную длину дислокаций Σl , приходящуюся на единицу объема V кристалла: $\rho = \Sigma l/V$. Таким образом, размерность плотности дислокаций ρ : см/см³, или см⁻². Для отожженных металлов плотность дислокаций составляет величину 10^6 – 10^3 см⁻², после холодной деформации она увеличивается до 10^{11} – 10^{12} см⁻², что соответствует примерно 1 млн. километров дислокаций в 1 см³.

Использование теории дислокаций позволило объяснить большое расхождение при пластической деформации металла. Так, теоретическая прочность железа составляет около 13 000 МПа, а фактическая — всего 250 МПа.

Дислокации легко перемещаются в направлении, перпендикулярном экстраплоскости. Чем легче перемещаются дислокации, тем ниже прочность металла, тем легче идет пластическая деформация.

Пластическая деформация кристаллических тел связана с количеством дислокаций, их шириной, подвижностью, степенью взаимодействия с дефектами решетки и т. д. Характер связи между атомами влияет на пластичность кристаллов. Так, в неметаллах с их жесткими направленными связями дислокации очень узкие, они требуют больших напряжений для старта — в 10^3 раз больших, чем для металлов. В результате хрупкое разрушение в неметаллах наступает раньше, чем сдвиг.

Таким образом, причиной низкой прочности реальных металлов является наличие в структуре материала дислокаций и других несовершенств кристаллического строения. Получение бездислокационных кристаллов приводит к резкому повышению прочности материалов (рис. 8).

Левая ветвь кривой соответствует созданию совершенных бездислокационных нитевидных кристаллов (так называемых «усов»), прочность которых близка к теоретической.

При ограниченной плотности дислокаций и других искажений кристаллической решетки процесс сдвига происходит тем легче, чем больше дислокаций находится в объеме металла.

С ростом напряжений возрастает число источников дислокаций в металле и их плотность увеличивается. Помимо параллельных дислокаций возникают дислокации в разных плоскостях и направлениях.

Дислокации воздействуют друг на друга, мешают друг другу перемещаться, происходит их аннигиляция (взаимное уничтожение) и т. д., что позволило Дж. Гордону образно назвать их взаимодействие в процессе пластической деформации «интимной жизнью дислокаций».

С повышением плотности дислокаций их движение становится все более затрудненным, что требует увеличения прилагаемой нагрузки для продолжения деформации. В результате металл упрочняется, что соответствует правой ветви кривой на рис. 9.



Рисунок. 8. Влияние искажений кристаллической решетки на прочность кристаллов

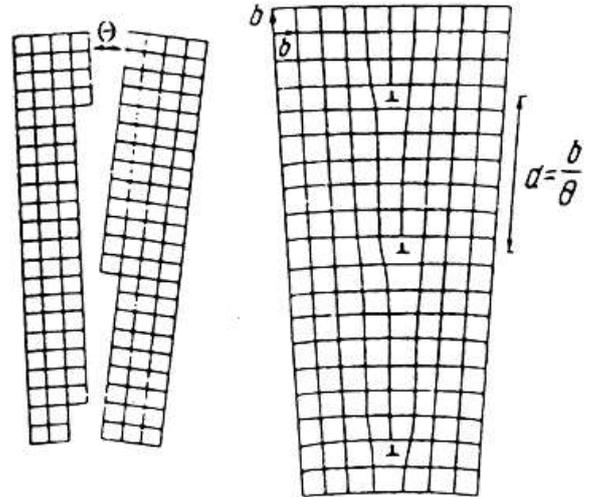


Рисунок. 9. Схема малоугловой границы между блоками

Упрочнению способствуют и другие несовершенства кристаллического строения, также тормозящие движение дислокаций. К ним относятся атомы растворенных в металле примесей и легирующих элементов, частицы выделений второй фазы, границы зерен или блоков и т. д.

На практике препятствие движению дислокаций, т. е. упрочнение, создается введением других элементов (легирование), наклепом, термической или термомеханической обработкой. Снижение температуры также препятствует свободному перемещению дислокаций. При низких температурах прочность растет, а пластичность падает. Металл становится более прочным, но хрупким.

Таким образом, повышение прочности металлов и сплавов может быть достигнуто двумя путями: 1) получением металлов с близким к идеальному строением кристаллической решетки, т. е. металлов, в которых отсутствуют дефекты кристаллического строения или же их число крайне мало; 2) либо, наоборот, увеличением числа структурных несовершенств, препятствующих движению дислокаций.

Поверхностные дефекты

Поверхностные дефекты имеют малую толщину и значительные размеры в двух других измерениях. Обычно это места стыка двух ориентированных участков кристаллической решетки. Ими могут быть границы зерен, границы фрагментов внутри зерна, границы блоков внутри фрагментов.

Соседние зерна по своему кристаллическому строению имеют неодинаковую пространственную ориентировку решеток. Блоки повернуты друг по отношению к другу на угол от нескольких секунд до нескольких минут, их размер 10^{-5} см. Фрагменты имеют угол разориентировки не более 5° . Если угловая разориентировка решеток соседних зерен меньше 5° , то такие границы называются малоугловыми границами. Такая граница показана на рис.9. Все субзеренные границы (границы фрагментов и блоков) — малоугловые. Строение границ зерен оказывает большое влияние на свойства металла.

Граница между зернами представляет собой узкую переходную зону шириной 5–10 атомных расстояний с нарушенным порядком расположения атомов. В граничной зоне кристаллическая решетка одного зерна переходит в решетку другого.

Неупорядоченное строение переходного слоя усугубляется скоплением в этой зоне дислокаций и повышенной концентрацией примесей.

1.3. Размер зерна и механические свойства металла.

Под размером зерна принято понимать величину его среднего диаметра, выявляемого в поперечном сечении. Это определение условно, так как действительная форма зерна в металлах меняется в широких пределах — от нескольких микрометров до миллиметров. Размер зерна оценивается в баллах по специальной стандартизованной шкале и характеризуется числом зерен, приходящихся на 1 мм^2 поверхности шлифа при увеличении в 100 раз (рис. 10).

Чем мельче зерно, тем выше предел текучести и прочность металла. Одновременно при измельчении зерна увеличиваются пластичность и вязкость металла. Последнее особенно важно для металлических изделий, работающих при низких температурах.

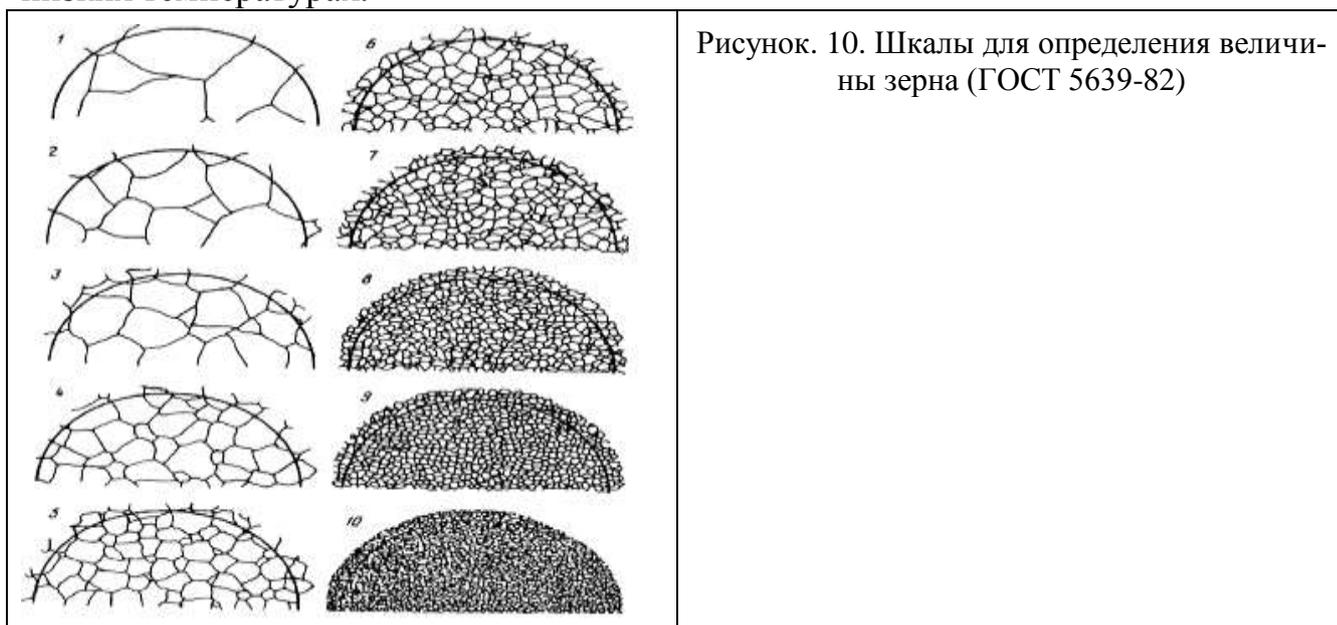


Рисунок. 10. Шкалы для определения величины зерна (ГОСТ 5639-82)

Рост зерен аустенита эффективно затрудняют дисперсные частицы второй фазы — карбидов, нитридов, неметаллических включений. Частицы нитрида AlN , содержащиеся в спокойных сталях, раскисленных алюминием, препятствуют росту аустенитных зерен.

В легированных сталях рост зерен аустенита тормозится карбидами и карбонитридами легирующих элементов V, Ti, Nb, микродобавки которых в количестве около 0,1 % специально вводят в стали с целью сохранения мелкого зерна аустенита вплоть до 1000°C . Использование этих элементов одновременно обеспечивает мелкозернистую структуру и снижение критической температуры хрупкости.

Помимо перечисленных дефектов в металле имеются макродефекты объемного характера: поры, газовые пузыри, неметаллические включения, микротрещины и т. д. Эти дефекты снижают прочность металла.

Тема 2. Методы исследования и испытания металлов. Макроскопический анализ. Микроскопический анализ.

Макроскопический анализ

Макроанализ заключается в определении строения металла путем просмотра его излома или специально подготовленной поверхности невооруженным глазом

или через лупу при небольших увеличениях — до 30 раз. Это позволяет наблюдать одновременно большую поверхность и получить представление об общем строении металла и о наличии в нем определенных дефектов.

В отличие от микроскопического исследования (см. ниже «Микроскопический анализ») макроскопический анализ не определяет подробностей строения и часто является предварительным, но не окончательным видом исследования. Характеризуя многие особенности строения, макроанализ позволяет выбрать те участки, которые требуют дальнейшего микроскопического исследования. С помощью макроанализа можно определить:

1. Нарушение сплошности металла: усадочную рыхлость, газовые пузыри и раковины, пустоты, образовавшиеся в литом металле, трещины, возникшие при горячей механической или термической обработке, флокены, дефекты сварки (в виде непровара, газовых пузырей, пустот);
2. Дендритное строение и зону транскристаллизации в литом металле;
3. Химическую неоднородность сплава (ликвацию);
4. Неоднородность строения сплава, вызванную обработкой давлением: полосчатость, а также линии скольжения (сдвигов) в наклепанном металле;
5. Неоднородность, созданную термической или химико-термической обработкой.

Поверхность, подлежащую макроанализу, изучают непосредственно (по виду излома) или шлифуют и подвергают травлению специально подготовленными реактивами. На шлифованной поверхности не должно быть загрязнений, следов масла и т. п., поэтому ее перед травлением протирают ватой, смоченной в спирте. Подготовленный образец называют макрошлифом.

Большое значение для успешного выполнения макроанализа имеет правильный выбор наиболее характерного для изучаемой детали сечения или излома (см. ниже).

Способы макроанализа различны в зависимости от состава сплава и задач, поставленных в исследовании.

1. Для **выявления дефектов, нарушающих сплошность** металла, флокенов, строения литой стали, волокон катаной стали применяют реактивы как глубокого, так и поверхностного травления. Состав некоторых реактивов для **глубокого травления** указан в табл. 2.

После травления макрошлиф приобретает рельефную поверхность с отчетливо видимыми осями дендритов (литая сталь), ликвационной зоной и трещинами (если они были в изломе или если в металле обнаружались флокены). Для этих целей чаще применяют поперечные макрошлифы (темплеты). Травление производят в вытяжном шкафу; макрошлифы вынимают из реактива щипцами или рукой, защищенной резиновой перчаткой.

Для **поверхностного травления** чаще всего применяют реактив Гейна, содержащий (на 1000 мл воды) 53 г хлористого аммония NH_4Cl и 85 г хлористой меди CuCl_2 . При погружении макрошлифа в реактив (на 30–60 с) происходит обменная реакция: железо вытесняет медь из водного раствора, и она оседает на поверхности шлифа; на участках, недостаточно защищенных медью (поры, трещины, неметаллические включения), происходит травление

Таблица 2

Наиболее употребительные реактивы для глубокого травления

Сталь	Состав реактива, мл			Количество воды, мл	Режим травления при температуре 60–70 °С
	HCl	HNO ₃	Двуххромовокислый калий		
Углеродистая, марганцовистая, хромистая, хромомолибденовая, хромованадиевая	50	–	–	50	15–25 мин
Остальные марки легированной — конструкционной стали инструментальной стали	50	–	–	50	25–35 мин
Ферритная и аустенитная стали, устойчивые против коррозии	1000	100	250	1000	30–40 мин

. Затем макрошлиф вынимают, слой осевшей меди снимают ватой под струей воды и протирают макрошлиф досуха, чтобы предохранить его от быстрого окисления на воздухе. макрошлиф вынимают, слой осевшей меди снимают ватой под струей воды и протирают макрошлиф досуха, чтобы предохранить его от быстрого окисления на воздухе.

Этот реактив более отчетливо выявляет характер ликвации и полосчатость деформированной стали, но менее резко выявляет структуру литого металла и трещины, особенно вызванные флокенами. Для последних целей более пригодны указанные выше реактивы глубокого травления.

2. Определение неоднородности строения, созданной обработкой давлением (полосчатость). Направление волокон, созданное обработкой давлением, хорошо выявляется реактивом состава: 85 г CuCl₂ и 53 г NH₄Cl (на 1000 мл воды), т. к. волокна металла и особенно их пограничные участки, отличающиеся по структуре и содержанию примесей, обладают неодинаковой травимостью.

4. Определение неоднородности в структуре, созданной термической и химико-термической обработкой.

А. Определение толщины закаленного слоя. Для этой цели закаленный образец ломают. Слой, получивший закалку, отличается по виду излома (более мелкозернистый, а при закалке без перегрева — фарфоровидный излом). Более точно толщину закаленного слоя определяют после шлифования образца по излому (перпендикулярно оси) и травления в течение 3 мин в 50 %-ном растворе соляной кислоты при 80 °С. Закаленный слой получает более темную окраску.

Б. Определение толщины цементованного слоя. Образец после цементации и

закалки, как и в предыдущем случае, ломают. Наружный цементованный и закалившийся слой имеет более мелкое зерно и при выполнении цементации и закалки без перегрева отличается матовым фарфоровидным (шелковистым) изломом. По толщине этого слоя судят о глубине цементации.

Толщину цементованного слоя можно определять более точно шлифованием места излома (перпендикулярно оси) и травлением в течение 1–2 мин в реактиве состава: 2 г $\text{Cu Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 1 мл HCl (на 100 мл спирта). Мягкая нецементованная сердцевина покрывается красноватым налетом меди вследствие вытеснения ее железом из реактива, тогда как цементованный слой останется нетронутым.

Микроскопический анализ

Микроскопический анализ металлов заключается в исследовании их структуры с помощью оптического микроскопа (использующего обычное белое или ультрафиолетовое излучение) и электронного микроскопа.

При использовании оптического микроскопа структуру металла можно изучать при общем увеличении от нескольких десятков до 2 000–3 000 раз. Микроанализ позволяет характеризовать размеры и расположение различных фаз, присутствующих в сплавах, если размеры частиц этих фаз не менее 0,2 мкм. Многие фазы в металлических сплавах имеют размеры 10^{-4} – 10^{-2} см и поэтому могут быть различимы в микроскопе.

При микроанализе однофазных сплавов (обычно твердых растворов) и чистых металлов можно определять величину зерен и отметить существование дендритного строения.

Определение размеров зерен проводится либо методами количественной металлографии, либо путем сопоставления структуры с заранее составленными шкалами.

В многофазных сплавах с помощью микроанализа можно определить не только количество, форму и размеры включений отдельных фаз, но и их взаимное распределение.

Приготовление микрошлифов

В оптическом микроскопе рассматриваются микрошлифы — специальные образцы металла, имеющие шлифованную и полированную гладкую поверхность, отражающую световые лучи.

Вырезка образца из исследуемого металла. Детали или образцы небольших размеров и веса после подготовки поверхности можно непосредственно установить на столике микроскопа. Если же размеры или вес детали (образца) значительны или трудно получить на детали плоскую поверхность, необходимо вырезать из детали специальную пробу, часто называемую темплетом.

Микроструктуру литых металлов и сплавов (в фасонных отливках) проверяют в различных сечениях отливки — от самых больших до минимальных, так как такие участки обычно охлаждаются с различной скоростью, а структура многих литейных сплавов, например чугуна или бронзы, зависит от скорости охлаждения. Кроме того, в этих случаях важно определить направление, по которому следует изготовить микрошлиф. Часто плоскость, на которой производят изучение микроструктуры, выбирают перпендикулярно поверхности отвода тепла, с тем, чтобы

можно было определить структуру в периферийных и срединных слоях металла.

Для изучения микроструктуры слитка вырезают несколько образцов (темплетов) таким образом, чтобы можно было определить изменение структуры по ряду поперечных сечений.

При исследовании влияния пластической деформации место вырезки образца лучше определить по данным макроанализа, когда выявлены направление течения металла и наиболее характерные участки детали.

Если изделие подвергалось ковке или штамповке, важно изучить участки, где, например, имело место наиболее сложная гибка или большая вытяжка, а также объемы металла, на которые не распространялась деформация. Во всех этих случаях необходимо исследовать микроструктуру главным образом в направлении течения металла, а иногда также и в перпендикулярном направлении.

Из крупных деталей целесообразно вырезать несколько образцов в разных участках, что позволит характеризовать однородность строения металла, из которого изготовлено данное изделие.

Получение плоской поверхности образца. Поверхность образца, по которой будет проводиться металлографическое исследование, подвергают специальной обработке. В первую очередь получают приблизительно плоскую поверхность.

Образцы небольших размеров для облегчения обработки помещают в специальный зажим, состоящий обычно из двух пластин, которые можно с помощью винтов сближать и раздвигать, или заливают в специальные легкоплавкие сплавы серу и т. п.

Заливку производят следующим образом: на металлическую или керамическую пластинку устанавливают круглую или квадратную оправку (из стали или латуни) и внутрь оправки помещают образец таким образом, чтобы подготавливаемая поверхность опиралась на пластинку. Затем жидкую легкоплавкую массу заливают в оправку с достаточно плотным заполнением ее.

В последнее время в лабораторной практике начали применять более удобную, чем заливка, запрессовку образцов в пластмассу.

Шлифование плоскости образца. После получения приблизительно плоской поверхности образец шлифуют наждачной бумагой, помещенной для этого на плоском основании (обычно на стекле), или закрепленной с помощью зажимных колец, или наклеенной на вращающийся круг.

Шлифование производят последовательно наждачной бумагой различного сорта, сначала с более крупным зерном абразива, а затем с более мелким. Направление движения образца по наждачной бумаге или положение образца относительно направления круга при смене сорта бумаги изменяют на 90° для лучшего удаления гребешков и рисок, созданных предыдущим шлифованием.

Остающиеся на поверхности образца после шлифования частицы абразивного материала удаляют обдуванием воздухом или промывкой водой.

При шлифовании очень мягких металлов вырываемые из наждачной бумаги абразивные частицы и металлические опилки могут легко вдавливаться в поверхность мягких металлов, поэтому наждачную бумагу предварительно смачивают в керосине или натирают парафином. Последнее применяют, например, при изготовлении микрошлифов из алюминия.

Полирование плоскости образца. Полированием удаляют оставшиеся после шлифования мелкие риски. Применяют механический, химико-механический и электрохимический способы полирования.

Механическое полирование производят на вращающемся круге с натянутым или наклеенным полировальным материалом (фетр, бархат, тонкое сукно), на который непрерывно или периодически наносят абразивное вещество с частицами очень малых размеров (оксид хрома, оксид алюминия, оксид железа и т. д.). Эти абразивные вещества предварительно взмучивают в воде, а затем поливают ими круг.

Полировальный круг должен быть влажным, а нажатие образца на круг незначительным. Скорость вращения круга диаметром 250 мм должна быть 400–600 об/мин.

Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и даже под микроскопом не видны риски или царапины.

Для полирования черных металлов применяют пасту ГОИ. Эта паста выпускается трех сортов по зернистости и состоит из трехоксида хрома, стеарина, керосина, силикагеля и других веществ.

Для полирования цветных и некоторых редких металлов применяют травящие химически активные реактивы (например, раствор желтой кровяной соли), которые ускоряют процесс полирования, а в некоторых случаях выявляют также микроструктуру без специального последующего травления.

После полирования, независимо от способа его выполнения, микрошлиф промывают водой, затем, если сплавы окисляются, промывают спиртом и просушивают фильтровальной бумагой.

Изучение микроструктуры

Изучение микроструктуры начинают с рассмотрения шлифа в нетравленном виде, т. е. после полирования и промывки. В этом случае в поле зрения микроскопа можно заметить отдельные, обычно небольшие, темные участки. Они могут представлять: а) неметаллические включения; б) мелкие поры; в) структурные составляющие, характерные для некоторых сплавов (например, графит в сером чугуна).

Неметаллические включения в стали и чугуне, вследствие их большой хрупкости, могут частично или полностью выкрошиться при шлифовании и полировании. Кроме того, неметаллические включения обладают меньшей отражающей способностью, чем металлы. По этим причинам участки оксидов, сульфидов и силикатов кажутся в поле зрения микроскопа темными.

Количество и характер распределения неметаллических включений определяются сравнением вида наблюдаемой поверхности микрошлифа (обычно при увеличении в 100 раз) со специально разработанными шкалами включений.

После просмотра шлиф подвергают травлению.

Зерна чистых металлов или твердых растворов имеют неодинаковую кристаллографическую ориентировку. Поэтому на приготовленную плоскость микрошлифа приходятся зерна, срезанные по разным кристаллографическим направлениям и имеющие в этих направлениях неодинаковые свойства.

Если микрошлиф подвергнуть действию химически активной среды (растворов

кислот, солей, щелочей и т. д.), то степень травимости отдельных зерен окажется различной. Световой поток, направленный через объектив на микрошлиф, отражается различно от разных зерен; на участках стыков зерен возникает значительное рассеяние, и отраженные лучи не попадают в поле зрения, поэтому по границам зерен возникают темные линии, которые и воспроизводят картину действительных стыков между зернами.

Этот эффект в значительной степени возрастает также и потому, что по границам зерен сосредоточиваются многие примеси, имеющиеся в металле или сплаве; травимость по границам зерен вследствие образования гальванических пар увеличивается, и темные линии, указывающие на границы зерен, выступают весьма отчетливо.

В сплаве, имеющем две или несколько фаз, эти фазы могут различаться по величине электрохимического потенциала; поэтому зерна каждой фазы по-разному ведут себя при травлении. Вследствие наличия некоторого количества косых световых лучей выступающие фазы отбрасывают тень на более сильно протравленные и расположенные ниже фазы, в результате чего образуются теневые картины. Этот эффект усиливается из-за рассеяния лучей, отраженных более глубоко расположенными и более сильно протравленными фазами.

Для травления шлифов применяют различные реактивы; некоторые, наиболее употребительные, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Реактивы для микроисследования структуры стали и чугуна

Наименование реактива	Состав реактива (относительная плотность)	Назначение и особенности применения
<i>Для травления углеродистых, низко- и среднелегированных сталей и чугуна</i>		
Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Рже-шотарского)	Азотная кислота (1,42) 1–5 мл Этиловый или метиловый спирт 100 мл	Реактивы окрашивают перлит в темный цвет, выявляют границы зерен феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска. Применяются также для выявления структуры азотированной и цементированной стали. С увеличением количества азотной кислоты возрастает скорость травления. Продолжительность травления — от нескольких секунд до минуты
Спиртовой раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	Пикриновая кислота (кристаллическая) 4г Этиловый или метиловый спирт 100 мл	
<i>Для травления высоколегированных сталей</i>		
Раствор азотной и соляной кислот в глицерине	Азотная кислота (1,42) 10 мл Соляная кислота (1,19) 20–30 мл Глицерин 30 мл	Для выявления структуры высокохромистой, быстрорежущей и аустенитной марганцовистой стали в закаленном состоянии рекомендуется производить попеременное травление и полирование

Царская водка	Соляная кислота (1,19) 3 части Азотная кислота (1,48) 1 часть	Для выявления структуры нержавеющей сталей и сплавов. Перед употреблением реактив надо выдержать 20–30 ч
Раствор щавелевой кислоты	Щавелевая кислота 10 г Вода 100 мл	Для выявления карбидов и основной структуры аустенитной нержавеющей стали. Травление проводится электролитическим методом; анодом является шлиф, а катодом — пластинка нержавеющей стали. Напряжение 3–6 В
<i>Для выявления карбидов, фосфидов, вольфрамовидов</i>		
Щелочной раствор пикрата натрия	Пикриновая кислота 2 г Едкий натр 25 г Вода 100 мл	Для выявления цементита, который окрашивается в темный цвет; карбиды хрома и вольфрама не окрашиваются. Реактив применяется в кипящем состоянии
Щелочной раствор красной кровяной соли	Красная кровяная соль 10 г Едкое кали 10 г Вода 100 мл	Применяется в горячем состоянии для выявления хромистых карбидов, вольфрамовидов в быстрорежущей и других сталях. Этот же реактив выявляет фосфиды в фосфидной эвтектике. Фосфид окрашивается в темный цвет
<i>Для выявления линий напряжений</i>		
Солянокислый раствор хлорной меди	Соляная кислота 40 мл Хлорная медь 5 г Вода 30 мл Этиловый спирт 25 мл	Для выявления напряжений и дисперсионного твердения стали. Реактив применяется на холоде. Время травления — до 10 сек

Электронная микроскопия

Электронная оптика основана на фокусирующем действии магнитного (или иногда электростатического) поля, симметричного относительно оси, на пучок электронов, расходящихся из одной точки, не слишком удаленной от оси поля и под небольшими углами к этой оси.

Прямое исследование в электронном микроскопе

Ряд объектов исследования структуры металлов можно рассматривать непосредственно в электронном микроскопе. Это тонкие (~ 0,1 мкм) металлические (главным образом конденсированные из паров) и окисленные пленки, частицы осадков, выделенных для фазового анализа, металлургические думы, частицы по-

рошков для порошковой металлургии и т. д. Дисперсные порошковые объекты наносят или непосредственно на медные или никелевые сеточки (150–300 меш) или на тонкие плоские пленки-подкладки, укрепленные на таких же сеточках.

Для того чтобы иметь возможность рассматривать отдельные частицы, применяют различные способы диспергирования. Для этого используют устройства, действующие по принципу пульверизатора, ультразвуковое облучение суспензии, перенос суспензии из жидкости с малым поверхностным натяжением в жидкость с большим поверхностным натяжением. Такое диспергирование в особенности необходимо при изучении частиц карбидных и интерметаллидных осадков, выделенных электролитически из сплава и легко слипающихся одна с другой.

Косвенное исследование структуры металлов с помощью сленков (реплик)

В большинстве случаев металлографический образец «непрозрачен» для электронов. Поэтому с помощью электронного микроскопа просвечивающего типа невозможно изучать его структуру непосредственно и приходится прибегать к косвенному методу исследования.

Косвенное изучение структуры проводится с помощью пленок-слепков толщиной порядка 10–100 нм, воспроизводящих рельеф поверхности протравленного шлифа.

Наконец, очень ценные и, главное, прямые данные о фазовом составе и состоянии гребней рельефа на поверхности протравленного шлифа дает электронно-дифракционная съемка «на отражение» (точнее — на просвет тонких выступов) при очень малых (≤ 1 град.) углах падения электронного пучка.

Тема 3. Входной контроль качества металла. Контроль химического состава и механических свойств.

Основными показателями качества металла являются: химический состав; микро- и макроструктура; основные и технологические свойства; размеры, геометрия и качество поверхности металлопродукции. Требования к качеству металла и продукции из него оговорены в национальных стандартах, технических условиях фирм (предприятий) или отдельных соглашениях между потребителем и поставщиком. Качество металла и надежные методы определения его основных показателей являются главными в технологической цепи производства. Качество металлопродукции, поступающей на предприятие, определяется при входном контроле (ВК).

Входной контроль — контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю, предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции. Входной контроль металлопродукции является обязательным на фирмах (предприятиях), разрабатывающих или изготавливающих промышленную продукцию, а также осуществляющих ее ремонт. Этот контроль организуется и проводится в соответствии с ГОСТ 24297–87, а также со стандартами и другой нормативно-технической документацией (НТД) предприятия.

Организация входного контроля качества металлопродукции

В соответствии с ГОСТ 24297–87 входной контроль проводит подразделение входного контроля — бюро входного контроля (БВК), входящее в состав службы технического контроля качества предприятия (ОТК).

Основными задачами входного контроля являются:
 проведение контроля наличия сопроводительной документации на продукцию;
 контроль соответствия качества и комплектности продукции требованиям конструкторской и нормативно-технической документации;
 накопление статистических данных о фактическом уровне качества получаемой продукции и разработка на этой основе предложений по повышению качества и, при необходимости, пересмотру требований НТД на продукцию;
 периодический контроль за соблюдением правил и сроков хранения продукции поставщиков.

Входной контроль необходимо проводить в специально отведенном помещении (участке), оборудованном необходимыми средствами контроля, испытаний и оргтехники, а также отвечающим требованиям безопасности труда.

Средства измерений и испытательное оборудование, используемые при входном контроле, выбирают в соответствии с требованиями НТД на контролируруемую продукцию и ГОСТ 8.002–86. Если метрологические средства и методы контроля отличаются от указанных в НТД, то потребитель согласовывает технические характеристики используемых средств и методы контроля с поставщиком.

На предприятии для обеспечения выполнения требований ГОСТ 24297, а также стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9 000 с учетом профиля и особенностей выпускаемой продукции разрабатывается собственная НТД. Например, на крупных предприятиях разрабатываются стандарты предприятия (СТП) «Входной контроль металлических материалов», «Технологическая инструкция (ТИ) входного контроля металлических материалов» и др.



Рисунок. 11. Типовая схема организации входного контроля

Входной контроль металлопродукции предусматривает следующие проверки:
 сопроводительной документации, удостоверяющей качество (сертификата, паспорта);
 маркировки, тары, упаковки;
 геометрических размеров;
 состояния поверхности;
 специальных свойств;

марки материала (химического состава), механических свойств, структуры.

Типовая схема организации ВК (рис. 11) заключается в следующем. На основании данных входного контроля, включая заключения ЦЗЛ, делается вывод о соответствии качества металлопродукции установленным требованиям.

Контроль геометрических размеров

Контроль размеров производится измерительными инструментами, обеспечивающими погрешность измерения, равную $\frac{1}{2}$ допуска на измеряемый параметр. В зависимости от вида сортамента (пруток, лента, лист и т. д.) контролю подлежат размеры, указанные в сертификате, при этом в ТИ оговорено, как и в каких местах проводятся измерения.

Контроль качества поверхности

Качество поверхности металла проверяют на соответствие требованиям НТД на поставку визуально без применения увеличительных приборов (кроме случаев, оговоренных особо).

Наиболее общие характерные дефекты поверхности металлопродукции приведены на рис. 12.

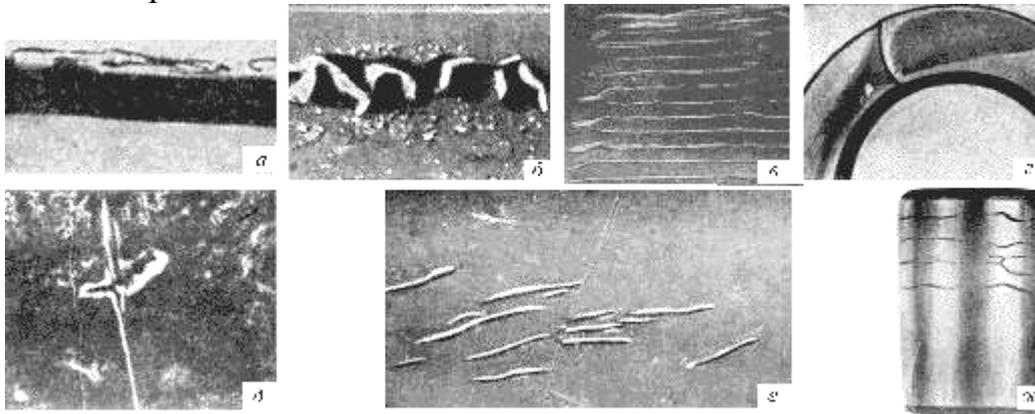


Рисунок. 12. Дефекты поверхности металлопродукции:

а) плены; б) пузыри на поверхности; в) трещины при сильном наклепе; г) трещина, вызванная шлифовальным прижогом; д) забоины; е) закалочные трещины; ж) шлифовочные трещины; (е и ж — выявлены магнитным порошком)

По заключению ЦЗЛ принимается решение о годности данной партии металла.

Контроль химического состава и механических свойств

Этот контроль проводится в ЦЗЛ на специально отобранных пробах от каждой партии металла с оформлением заключения по установленной форме.

Контроль химического состава

Данный вид контроля проводится с целью установления соответствия качественного и количественного химического состава металлопродукции нормам, заявленным в сертификате.

Норма отбора проб для контроля химического состава устанавливается в ТИ и составляет, как правило:

для листов и плит — от одного контрольного листа, плиты партии;

для лент, полос, проволоки — от одного контрольного рулона партии;

для прутков и профилей, имеющих поштучное клеймение завода-поставщика — от одного прутка, профиля, партии;

для прутков и профилей, имеющих маркировку на бирке — от 2-х, 3-х и 5-ти прутков, профилей для партий в количестве менее 30 шт., от 30 до 50 шт. и свыше 50 штук соответственно.

Отобранные пробы направляются в ЦЗЛ, где проводится контроль химического состава с использованием *химических и/или спектральных методов* анализа.

Химические методы анализа, в основе которых лежат химические реакции определяемых веществ в растворах, включают, главным образом, гравиметрический, титриметрический и колориметрический анализы.

Спектральный анализ — физический метод качественного и количественного определения состава вещества по его *спектрам*.

Для экспрессного и маркировочного анализа химического состава сталей, чугунов и цветных сплавов широко применяются спектрографы (ИСП-30, ДФС-13, ДФС-8) и квантометры (ДФС-41, ДФС-51, МФС-4, «Папуас-4»), в основу работы которых положена общепринятая схема эмиссионного спектрального анализа.

Контроль механических свойств

Как правило, механические свойства контролируются при испытаниях: на одноосное растяжение, на твердость, на ударную вязкость .

Для испытаний на растяжение металла круглого, квадратного и шестигранного сечения от каждой партии отбирают 2 пробы, длиной 60 мм от любого конца проката.

Для испытаний на растяжение проволоки, поступающей в бухтах для изготовления пружин, от одной бухты каждой партии отбирается проба длиной 600 мм, а для проволоки диаметром $\leq 0,9$ мм одна проба длиной 1500 мм на расстоянии не менее 1 м от конца бухты.

Для испытаний на растяжение листового проката от одного листа отбирают две пробы длиной 250 мм и шириной 50 мм вдоль направления прокатки, а от листов из алюминиевых и магниевых сплавов — поперек прокатки. Для лент и полос от одного рулона каждой партии отбирается проба длиной 400 мм на расстоянии не менее 1 м от конца рулона.

Для испытания на ударную вязкость от листов, полос толщиной не менее 11 мм, от труб с толщиной стенки не менее 14 мм, прутков диаметром не менее 16 мм от любого конца рядом с пробой для испытаний на растяжение отбирают 2 пробы размером 11×11×60 мм для изготовления образцов размером 10×10×55 мм. От проката толщиной до 10 мм отбирают 2 пробы для изготовления образцов размером 5×10×55 мм. Для испытаний на ударную вязкость при минусовых температурах отбирают 3 пробы.

Тема 4. Кристаллизация и свойства сплавов

4.1 Затвердевание металлических материалов. Термические кривые охлаждения при кристаллизации металлов. Применение правила фаз.

Кристаллизацией называется переход из жидкого в твердое состояние с образованием кристаллических решеток или кристаллов.

При образовании кристаллов их развитие идет в основном в направлении, перпендикулярном плоскостям с максимальной плотностью упаковки атомов. Это приводит к тому, что первоначально образуются длинные ветви, так называемые оси первого порядка. Одновременно с удлинением осей первого порядка на их ре-

брах зарождаются и растут перпендикулярные к ним такие же ветви второго порядка. В свою очередь на них растут оси третьего порядка и т.д. Образуются кристаллы древовидной - дендритной формы. Преимущественный рост кристалла происходит в направлении отвода тепла.



Рис. 13.

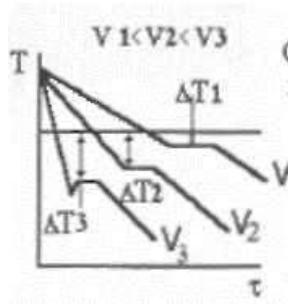
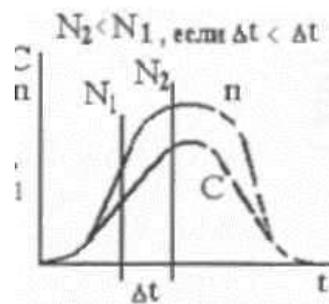


Рис. 14.



.. Рис. 15.

Рисунок. 13. Изменение свободной энергии F металла в жидком (F ж) и твердом состоянии (F т) в зависимости от температуры T.

Рисунок. 14. Кривые охлаждения полученные при кристаллизации металла.

Рисунок. 15. Зависимость скорости образования центров n и скорости роста кристаллов C от переохлаждения.

При tпл, определенной для каждого металла, твердый металл переходит в жидкий. Многие свойства при этом меняются незначительно.

Металлическая жидкость по своему строению близка к твердому телу. Кристаллическая решетка сохраняется до температуры плавления. После расплавления решетка разрушается, но сохраняется динамический ближний порядок. Затвердевание происходит при температуре tzатв, она меньше tпл. Существует переохлаждение и перенагрев рис. 13.

При температуре Tп величины свободных энергий жидкого и твердого состояния равны. Процесс кристаллизации протекает при температуре, меньшей Tп. Для начала затвердевания необходимо переохлаждение (разность энергий). Переохлаждение тем больше, чем больше скорость изменения температуры (рис. 14).

В 1878 году русский ученый - металлург Д.К. Чернов установил, что процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов: зарождения центров (скорость - n в сек⁻¹ * см⁻³) и роста кристаллов (скорость C в см*сек⁻¹).

Установлено, что n и C зависят от переохлаждения рис. 15. Это определяет размер зерен : 3/4

$$N = a * (C / n) \quad (3)$$

N - размер зерна ; коэффициент “a” приблизительно равен 1.

Практически кривые n и C располагаются друг относительно друга таким образом, что, чем больше переохлаждение, тем мельче получаются кристаллы, или чем больше скорость охлаждения, тем мельче кристаллы.

Критический размер зародыша первичного кристалла находится из выражения:

$$Rk = (4 * \sigma) / \Delta f_v \quad (4)$$

где σ - поверхностное натяжение; Δf_v - разность объемных свободных энергий жидкого и твердого металлов.

ПРИМЕЧАНИЕ: Ф.4. справедлива для небольших значений ΔT

Образованию зародыша способствует неравномерное распределение энергии между атомами - флуктуации.

При температуре близкой к $T_{пл}$, размер критического зародыша должен быть очень велик и вероятность его образования мала. С увеличением степени переохлаждения Δf_v возрастает (см. рис. 13), а поверхностное натяжение на границе раздела фаз изменяется не значительно. Чем больше ΔT , тем меньше R_k , тоже самое для σ . При небольшой степени переохлаждения (малой скорости охлаждения) число зародышей мало. В этих условиях будет получено крупное зерно. С увеличением степени переохлаждения скорость образования зародышей возрастает и размер зерна в затвердевшем металле уменьшается.

Размер зерна влияет на свойства, особенно на вязкость, которая значительно выше у металлов с мелким зерном.

Применение правила фаз.

Металлические материалы применяемые в технике в большинстве случаев являются сплавами.

Сплавом называют вещество, полученное сплавлением нескольких (двух и более) элементов, преимущественно металлических. Строение сплавов более сложно, чем строение чистого металла. В сплаве могут наблюдаться зерна чистых металлов и других компонентов, твердых растворов и химических соединений.

Твердыми растворами называют сплав, у которого ионы растворенного элемента расположены в кристаллической решетке растворителя.

Твердые растворы разделяются на три типа: замещения, внедрения и вычитания, или твердые растворы на базе химических соединений.

Существуют также упорядоченные твердые растворы.

Фазой называется однородная часть системы, имеющая одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние и отделяющееся от остальных частей системы поверхностями раздела.

Фазы могут быть газообразными, жидкими и твердыми. В сплаве могут присутствовать несколько фаз.

Вещества, образующие систему, называются компонентами. Число степеней свободы (вариантность) системы это число внешних и внутренних факторов (t , P и концентрация C %), которые можно изменять, не изменяя число фаз в системе. Оно определяется правилом фаз:

$$f = n - K + 2 \quad (5)$$

где f - число степеней свободы; n - число компонентов; K - число фаз.

Если давление не учитывать: $f = n - K + 1$

Правило фаз применяется при анализе процессов, совершающихся в сплавах при нагреве и охлаждении для расчета числа фаз в конкретных термодинамических условиях.

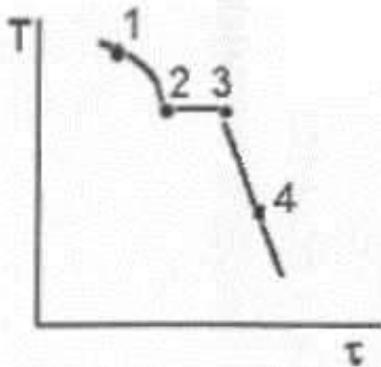


Рисунок. 16 . Иллюстрация к применению правила фаз.

Применим правило фаз для четырех точек однокомпонентного сплава (рис. 16) :

$$f = n - K + 1$$

1. $f = 1 - 1 + 1 = 1$ – это значит, что система одновариантна: мы можем изменить температуру – сплав останется жидким

2 и 3 . $f = 1 - 2 + 1 = 0$ – система безвариантна- любое изменение вызывает изменение числа фаз

Факторы, влияющие на процесс кристаллизации. Модифицирование жидкого металла.

Кристаллизация происходит с образованием теплового эффекта. От его величины зависит размер зерна.

$$Rk = [4 * \sigma * Ts / Q] / \Delta T \quad (6)$$

где Q - тепловой эффект затвердевания на единицу объема; Ts - температура затвердевания.

Выражение справедливо для гомогенной кристаллизации. Теоретическое число центров кристаллизации значительно ниже числа реально образующихся зародышей. Это связано с присутствием примесей в расплавах. На примесях происходит гетерогенная кристаллизация.

В реальных процессах примеси являются основными центрами кристаллизации. При перегреве расплавленного металла одна часть примесей расплавляется, другая дезактивируется.

Изменить число центров и размер зерна можно четырьмя методами:

- изменить скорость охлаждения и тем самым величину переохлаждения;
- увеличить или уменьшить перегрев металла перед разливкой;
- ввести в жидкий металл мельчайшие нерастворимые примеси;
- уменьшить путем добавки активных растворимых примесей поверхностное натяжение.

Последние два метода осуществляются при модификации , соответственно гетерогенной и гомогенной. Модифицирование осуществляют введением специальных добавок, образующих тугоплавкие соединения (карбиды, нитриды и оксиды).

Процесс кристаллизации начинается от стенок формы, которые играют ту же роль, что и нерастворимые примеси. На поверхности слитков образуется трудно-обрабатываемый слой из мелких кристаллов, который удаляют в металлургическом переделе .

4.2 Материалы аморфного строения и их применение.

К материалам аморфного строения принадлежат стекла из неорганических веществ, металлов и ряд пластмасс. Аморфное состояние характеризуется отсутствием дальнего порядка в расположении атомов упаковки.

Неорганическое стекло. Основной химический состав конструкционных стекол: двуокись кремния и алюминия с добавками ангидридов бора, фосфора и двуокисей металлов - титана, ванадия и циркония.

Стекло по сравнению с кристаллическим веществом не имеет определенной точки плавления; будучи нагретым, оно постепенно размягчается, переходя из твердого хрупкого состояния в высоковязкое, и затем в жидкое (стекломассу). При понижении температуры вязкость стекла непрерывно возрастает и происходит обратный переход в твердое хрупкое состояние.

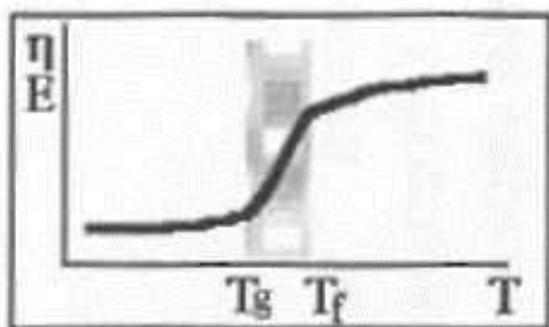


Рисунок. 17. Зависимость свойств стекла от температуры.

T_g - температура стеклования T_f - температура перехода в жидкое состояние η - вязкость E - удельный объем или теплоемкость

В интервале температур T_g - T_f (рис. 17) свойства стекла скачкообразно изменяются. Стекло относится к термодинамически неустойчивым системам. При температуре T_g стекло склонно к кристаллизации.

Пластические массы в большинстве случаев аморфные тела. Изменение свойств с температурой происходит также как у неорганических стекол рис. 17.

4.3 Полиморфные превращения в металлах. Жидкие кристаллы.

Металлы и сплавы в зависимости от температуры могут сосуществовать в разных кристаллических формах, или в разных модификациях. При полиморфном превращении одна кристаллическая решетка сменяет другую.

Полиморфное превращение происходит в том случае, если при данной температуре может существовать металл с иной кристаллической решеткой и меньшим уровнем свободной энергии. На рис. 18 показана кривая охлаждения чистого железа и полиморфные превращения в металле.

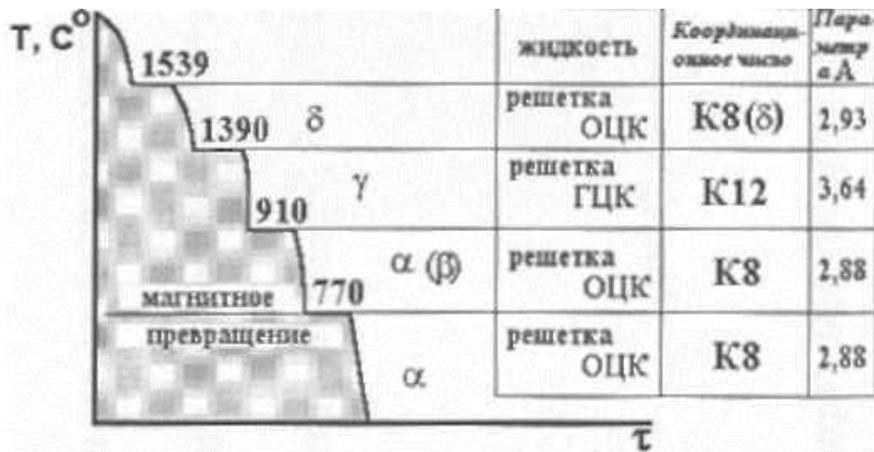


Рисунок. 18. Кривая охлаждения чистого металла (железа).

Вновь образующиеся кристаллы закономерно ориентированы по отношению к кристаллам исходной модификации. В результате полиморфного превращения образуются новые зерна, имеющие другой размер и форму. Происходит скачкообразное изменение свойств материала.

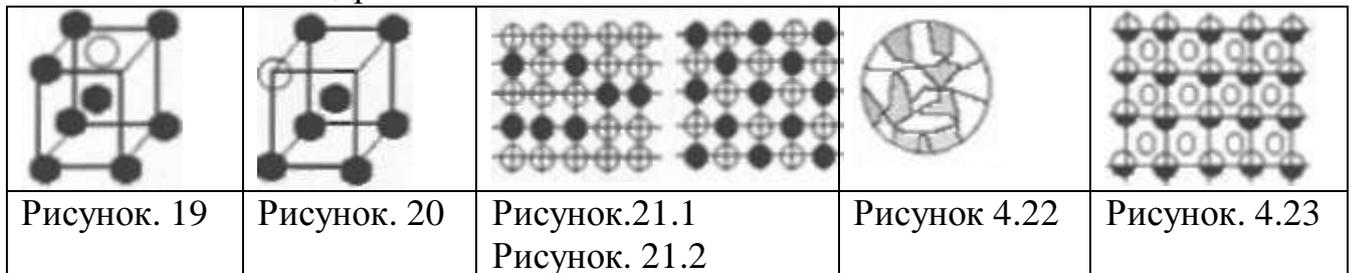
Полиморфное превращение также называют перекристаллизацией. Если нагрев металла проведен до температуры, немного превышающей температуру полиморфного превращения (критической точки), получается очень мелкое зерно. Это явление используется в практике термической обработки металлов.

4.4 Структура и свойства типовых двухкомпонентных сплавов.

Строение и свойства типовых двухкомпонентных сплавов определяются типом твердого раствора. При образовании твердых растворов электрическое сопротивление, твердость возрастают, а теплопроводность, пластичность - обычно падают.

Рассмотрим наиболее важные из них.

Твердый раствор внедрения. Чем больше поры и меньше атом внедрения, тем легче само внедрение. Рис. 19.



Твердый раствор замещения. Он может быть ограниченным и неограниченным. Последние образуются у изоморфных металлов, незначительно отличающихся по размерам атомных радиусов (8-10%), близких к друг другу в таблице Д.И.Менделеева. Чем больше разница в элементах, тем меньше растворимость. Рис. 20. Неупорядоченные и упорядоченные твердые растворы. В обычных твердых растворах атомы растворенного элемента располагаются в решетке растворителя беспорядочно.

При определенных условиях - медленном охлаждении, способствующем диффузии, атомы занимают определенные места в решетке растворителя. Процесс называют упорядочением. Рис. 21.1 и 21.2.

Если два компонента не способны к взаимному растворению в твердом состоя-

нии и не образуют химического соединения, создается механическая смесь. Сплав будет состоять из кристаллов каждого компонента. Рис. 4.22.

Твердые растворы на базе химического соединения.

Рис.4.23. Здесь сохраняется решетка соединения, при этом часть атомов решетки растворителя заменяется атомами растворяющегося элемента или возникают не занятые узлы (растворы вычитания). В сплавах существуют электронные соединения - фазы Юм-Розери, Лавеса и внедрения.

Тема 5. Механические свойства металлов. Методы определения.

5.1 Статические испытания. Определение твердости металлов.

К статическим относятся испытания на растяжение, сжатие, кручение и изгиб. Чаще применяют испытания на растяжение, используют стандартные образцы (ГОСТ 1497-73). Машины для испытания снабжены прибором, записывающим диаграмму растяжения. (Рис. 14).

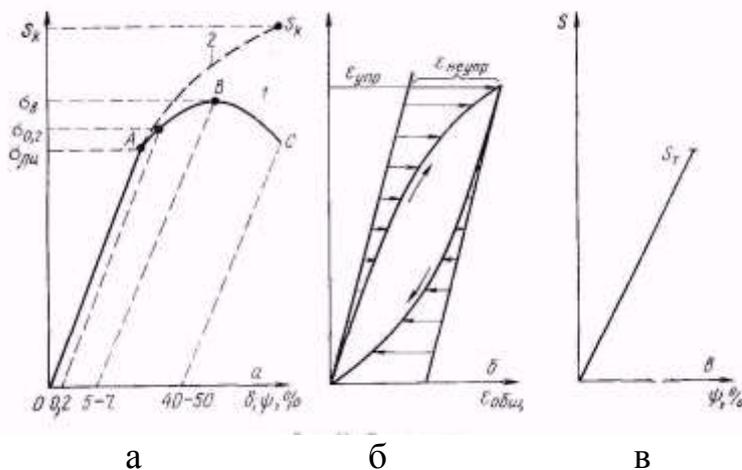


Рисунок 14. Диаграммы:

а-растяжения металлов в условных (сплошные) и истинных (штриховые) напряжениях;

б-образования петли гистерезиса за счет появления и снятия неупругой деформации;

в-диаграмма истинных напряжений для хрупкого металла.

Кривая 1 характеризует поведение (деформацию) металла под действием напряжений, величина которых является условной (σ), ее вычисляют делением нагрузки P в данный момент времени на первоначальную площадь поперечного сечения образца F_0 ($\sigma = P/F_0$, кгс/мм²). Кривая 2 описывает поведение (деформацию) металла под действием напряжений (S), величина которых является истинной, ее вычисляют делением нагрузки P в данный момент времени на площадь поперечного сечения образца в этот же момент. При испытании на растяжение обычно пользуются диаграммой условных напряжений. Как видно из рис. 14, до точки А деформация пропорциональна напряжению. Тангенс угла наклона прямой ОА к оси абсцисс характеризует модуль упругости материала $E = \sigma/\delta$ ($\sigma = E\delta$). Модуль упругости лишь весьма незначительно зависит от структуры металла и определяется силами межатомной связи. Все другие механические свойства являются структурно чувствительными и изменяются в зависимости от структуры

(обработки) в широких пределах.

Закон пропорциональности между напряжением и деформацией является справедливым лишь в первом приближении. При точных измерениях, даже при небольших напряжениях в упругой области, наблюдаются отклонения от закона пропорциональности. Это явление называют неупругостью. Оно проявляется в том, что деформация, оставаясь обратимой, отстает по фазе от действующего напряжения. Поэтому при нагрузке-разгрузке на диаграмме растяжения вместо прямой линии получается петля гистерезиса, так как линии нагрузки и разгрузки не совпадают между собой (14, б).

Напряжение, соответствующее точке А, называют пределом пропорциональности ($\sigma_{\text{пц}}$). Обычно определяют условный предел пропорциональности, т. е. напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между напряжениями и деформациями достигает такой величины, что тангенс угла наклона, образованного касательной к кривой деформации с осью напряжений, увеличивается на 50% от своего значения на линейном (упругом) участке.

Напряжения, не превышающие предела пропорциональности, практически вызывают только упругие деформации. Поэтому нередко предел пропорциональности отождествляют с условным пределом упругости ($\sigma_{0,05}$). Это не вполне точно, неприемлемо для многих случаев практики. Предел упругости определяется как напряжение, при котором остаточная деформация достигает 0,05% (или еще меньше) от первоначальной длины образца.

Напряжение, вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2%, называют условным пределом текучести ($\sigma_{0,2}$).

Предел текучести чаще всего выбирают в качестве одного из показателей прочности. Величины $\sigma_{\text{пц}}$ и $\sigma_{0,2}$ характеризуют сопротивление малым и умеренным деформациям. Дальнейшее повышение нагрузки вызывает более значительную пластическую деформацию во всем объеме металла. Напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называют пределом прочности ($\sigma_{\text{в}}$) (рис. 14, точка б).

У пластичных металлов, начиная с напряжения, отвечающего величине $\sigma_{\text{в}}$, деформация сосредоточивается в одном участке образца, где появляется местное сужение поперечного сечения, так называемая шейка. При этом нагрузка падает и в некоторый момент образец разрушается (точка С на рис. 14, а). Для пластичных металлов предел прочности $\sigma_{\text{в}}$ характеризует сопротивление металла значительным пластическим деформациям.

При испытании на растяжение определяют, кроме того, характеристики пластичности. К ним относятся относительное удлинение

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%$$

и относительное сужение

$$\varphi = \frac{F_0 - F}{F_0} 100\%$$

где: l_0 и l - длина образца до и после разрушения;

F_0 и F - площадь поперечного сечения образца до разрушения и после разруше-

ния соответственно.

Истинное сопротивление разрушению S_k характеризует сопротивление металла сдвигу. Истинное сопротивление разрушению при хрупком разрушении S_T (рис.14,б), реализуемое в области упругих деформаций, определяет сопротивление металла отрыву. Кривая 2 на рис. 14,а показывает, что в процессе растяжения металл испытывает упрочнение (наклеп), поскольку для его деформации требуется прилагать все возрастающие напряжения.

Если пренебречь упругими деформациями, то коэффициенту упрочнения K , характеризующий способность металла к упрочнению при пластической деформации, будет равен

$$K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{S_k - \sigma_{0,02}}{l}$$

где l - истинное удлинение, равное $\ln F_0/F_x$.

Определение твердости металлов. Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое.

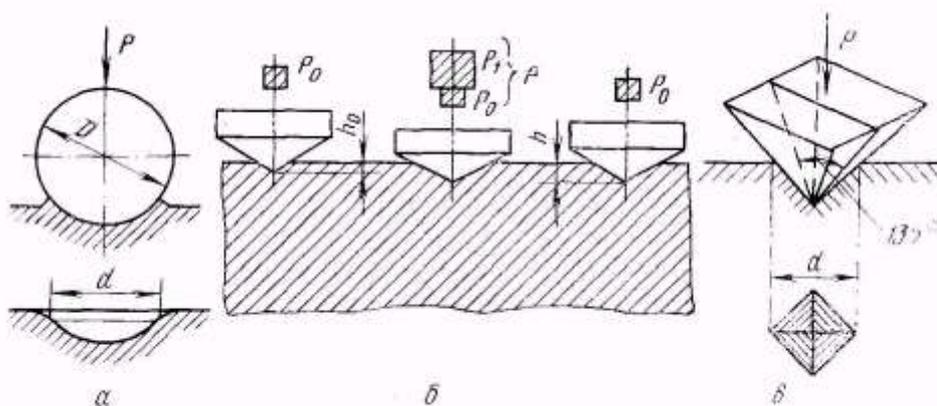


Рисунок 15. Схемы определения твердости:
а- по Бринеллю; б – по Роквеллу; в - по Виккерсу

Измерение твердости вследствие быстроты и простоты осуществления, а также возможности без разрушения изделия судить о его свойствах, получило широкое применение для контроля качества металла в металлических изделиях и деталях.

Определение твердости по Бринеллю. Метод основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливается под постоянной нагрузкой P твердый стальной шарик (рис. 15,а).

После снятия нагрузки в испытуемом металле образуется отпечаток (лунка).

Если поверхность отпечатка выразить через диаметр шарика D и отпечатка d , то твердость по Бринеллю определяется по формуле

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

При испытании стали и чугуна устанавливают: $D=10$ мм и $P=3000$ кгс ($P=30D^2$), при испытании меди и ее сплавов $D = 10$ мм и $P=1000$ кгс ($P = 10 D^2$) и при испы-

тании очень мягких металлов (алюминий, баббиты и др.) $D = 10$ мм и $P = 250$ кгс ($P=2,5D^2$).

Для определения твердости измеряют диаметр лунки d и находят по нему твердость в прилагаемых к прибору таблицах. Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов твердостью более НВ 450, так как шарик может деформироваться, что исказит результаты испытания.

Определение твердости по Роквеллу. В этом методе твердость определяют по глубине отпечатка. Наконечником служит алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик ($d=1,588$ мм). Алмазный конус применяют для испытания твердых металлов, а шарик - для мягких металлов.

Конус и шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками (рис. 5.2,б): предварительной $P_0=10$ кгс и основной $P_1=90$ кгс для шарика (шкала В), 140 кгс для алмазного конуса (шкала С) и 50 кгс для алмазного конуса при испытании очень твердых и более тонких материалов (шкала А).

Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Твердость по Роквеллу HR определяют по формулам:

$HR = 100 - e$ (при измерении по шкалам А и С);

$HR = 130 - e$ (при измерении по шкале В).

Величину e определяют по следующей формуле (рис. 15.б):

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}.$$

где h - глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с составлением предварительной нагрузки P_0 ;

h_0 - глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием нагрузки P_0 .

Твердость по Роквеллу обозначается HRA (испытание алмазным конусом) при нагрузке 60 кгс и HRC при нагрузке 150 кгс и HRB (испытание стальным шариком при нагрузках 100 кгс) сразу указывается по шкале прибора.

Метод Роквелла широко применяется. промышленности.

Определение твердости при вдавливании алмазной пирамиды по Виккерсу. Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Твердость определяют вдавливанием в испытуемую поверхность (шлифованную или даже полированную) четырехгранной алмазной пирамиды (рис. 5.2,в). Твердость по Виккерсу HV определяют по формуле:

$$HV = \frac{2P \sin \alpha / 2}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}.$$

где P - нагрузка на пирамиду 5, 10, 20, 30, 50, 100 или 120 кгс (обозначения твердости HV5, HV10, HV20 и т.д.);

α - 136° - угол между противоположными гранями пирамиды;

d - среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеряемых после снятия нагрузки, мм.

Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка. Твердость по Виккерсу

определяется по специальным таблицам по измеренной величине α (диагональ отпечатка).

Определение микротвердости. Определение микротвердости необходимо для изделий мелких размеров и отдельных структурных составляющих сплавов. Прибор для определения микротвердости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды под небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытуемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 15-500 гс. Твердость H определяют по той же формуле, что и твердость по Виккерсу; $H = 1,8544 P/d^2$, где P - нагрузка, гс; d - диагональ отпечатка, мкм.

Образцы для измерений должны быть подготовлены так же, как микрошлифы.

5.2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях. Вязкое и хрупкое разрушение.

Динамические испытания на **ударный изгиб** выявляют склонность металла к хрупкому разрушению. Наиболее часто испытывают образцы с надрезом. Ударная вязкость (α_n) определяется работой (A_n), необходимой для излома образца, отнесенной к рабочей площади поперечного сечения (F):

$$\alpha_n = \frac{A_n}{F} \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{см}^2.$$

Образец устанавливают на двух опорах, затем наносят удар посередине образца (рис.16.) со стороны, противоположной надрезу. Работу разрушения образца определяют по специальной шкале маятникового копра. Этот вид испытания широко применяется для стали.

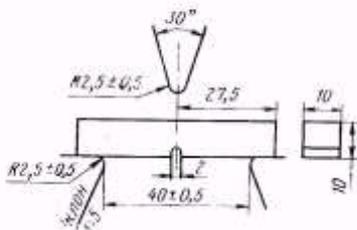


Рисунок 16 Схема испытания на удар и вид образца

Механические свойства при переменных (циклических) нагрузках

Металл, испытывающий в работе многократные переменные и особенно знакопеременные нагрузки, разрушается при напряжении, которое не только ниже предела прочности σ_b , но и ниже предела текучести σ_T . Разрушение металла под действием повторных или знакопеременных напряжений называют усталостью металла.

При усталостном разрушении излом состоит из двух зон

Первая зона имеет гладкую, притертую поверхность и называется зоной усталости. Образование этой зоны происходит постепенно. Первоначально образуется микротрещина (трещина от усталости), которая развивается в макротрещину в результате многократно повторяющихся силовых действий на металл. После того, как трещина усталости займет значительную часть сечения, происходит разрушение по второй части сечения. Вторая зона (долома) у хрупких металлов имеет грубокристаллическое, а у вязких - волокнистое строение.

Трещина чаще возникает на поверхности в первой зоне. Сопротивление металла циклическому нагружению характеризуется пределом выносливости, т. е. наибольшим напряжением, которое может выдержать металл без разрушения за большое (специально устанавливаемое) число циклов N (105-108 и более).

Предел выносливости чаще определяют на вращающемся образце (гладком или с надрезом), с приложением изгибающей нагрузки, вызывающей знакопеременные напряжения (растяжение - сжатие) по симметричному циклу $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$

Для определения предела выносливости испытывают не менее шести образцов. Первый образец испытывают при напряжении σ_1 , (для стали $\sigma_1 = 0,6 \sigma_B$), при этом определяют число циклов N , вызвавшее разрушение образца. Для второго и последующих образцов напряжения σ_2, σ_3 и т. д. каждый раз снижают или повышают на (2 или 4 кгс/мм²), в зависимости от числа циклов, вызвавшего разрушение первого образца.

Результаты испытаний наносят на диаграмму в координатах напряжение σ - число циклов N в пропорциональном или логарифмическом масштабах.

Горизонтальный участок, т. е. максимальное напряжение, не вызывающее разрушения при бесконечно большом числе перемен нагрузки, соответствует пределу выносливости. Пределы выносливости выражают в номинальных напряжениях и обозначают σ_R (R - коэффициент асимметрии цикла).

Вязкое и хрупкое разрушение. Этапы процесса хрупкого разрушения.

От конструкционного материала требуется не только высокое сопротивление деформации (упругой, характеризуемой модулями E и G ; пластической - пределами b_v и $b_{0,2}$), но и высокое сопротивление разрушению. Общее сопротивление деформации объединяют в общее понятие прочность, а сопротивление разрушению - надежность.

Если разрушение происходит не за один, а за многие акты нагружения, причем за каждый акт происходит микроразрушение, то это характеризует долговечность материала.

Если материал пластичен, то превышение определенного уровня напряжения приводит в движение дислокации, которые скапливаются у каких - то непреодолимых для них препятствий (включения, границы зерен и др.). (Рис.17).

При большом скоплении дислокаций эти зоны вообще становятся неспособными к пластическому деформированию и дальнейший рост напряжений ведет в этом месте к образованию микротрещин. Можно констатировать, что дефекты строения и несплошности являются концентраторами напряжений, т.е. по краям дефекта напряжения могут существенно отличаться от среднего.

Концентрация напряжения (K) тем больше, чем острее дефект и больше его длина, что выражается следующей формулой:

$$K = 2 (l/r)^{0,5}$$

Не только внутренние дефекты, но и поверхностные, в том числе надрезы различной длины (l) и остроты (r) способствуют концентрации напряжений.

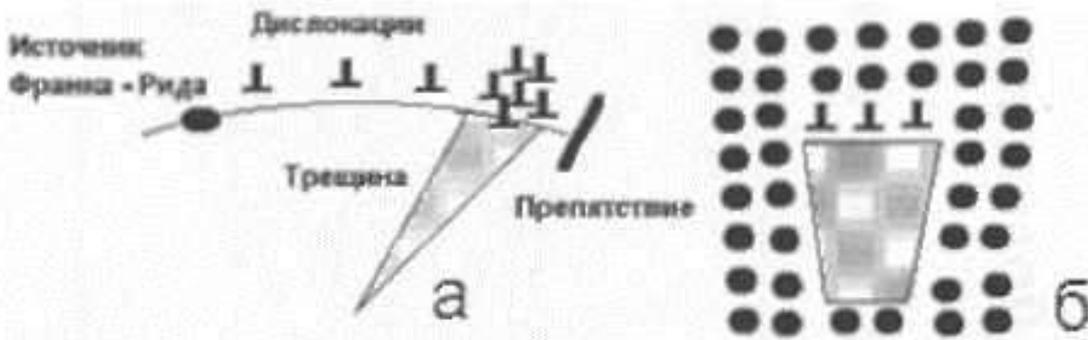


Рисунок. 17. Скопление дислокаций у препятствий (а), скопление и образование зародышевой трещины (б).

Величина r может быть очень малой, т.е. трещина очень острая, но она не может быть меньше 0.1 нм, т.е. меньше, чем диаметр атома, и надо полагать, что минимальный радиус трещин составляет примерно 10 нм (10^{-5} мм). Для такой предельно острой трещины величина K составляет:

K	600	200	60
L	1	0.1	0.01

Если такая предельно острая трещина доросла до 1 мм, то в ее вершинах напряжение в 600 раз больше среднего. Если принять теоретическую прочность на отрыв $\sigma_{теор} = E/10 = 21000$ Мпа, то при среднем напряжении всего лишь 100 Мпа в устье трещины ($l=0.1$ мм) возникает напряжение, равное теоретической прочности, и разрушение произойдет путем отрыва одних слоев атомов от других.

Начинавшийся лавинный процесс разрушения будет протекать до тех пор, пока трещина не разделит металл, так как по мере роста длины трещины, что следует из приведенного выше уравнения, требуется все меньшее и меньшее напряжение.

Разрушение происходит путем образования трещины и ее роста до критической величины. Описанный механизм характеризует так называемое хрупкое разрушение.

Гриффитсом было установлено, что существует некоторая критическая длина трещины, рост которой происходит самопроизвольно и сопровождается уменьшением энергии в системе.

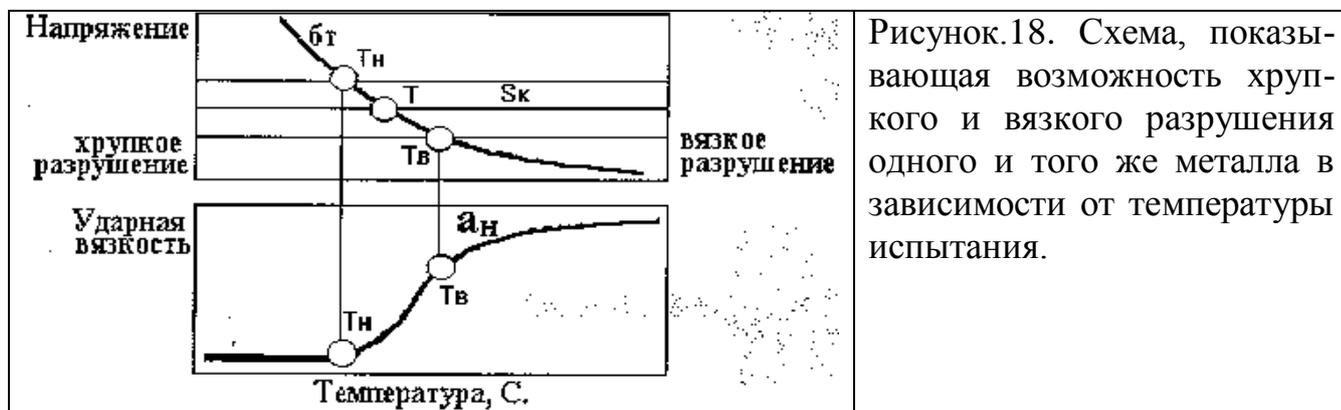
Если трещина будет раскрываться и радиус в ее вершине увеличиваться, т.е. не только l , но и r будет расти, то для ее движения будет требоваться все большее и большее напряжение (если дробь l/r будет уменьшаться).

В этом случае трещина так и не достигнет критического размера, хотя может распространяться на все сечение. Такое разрушение является вязким.

Влияние температуры, порог хладноломкости.

Вид разрушения зависит от многих факторов – состава металла, его структурного состояния, условий нагружения и особенно от температуры.

Для многих металлов, в первую очередь имеющих объемноцентрированную кубическую или гексагональную решетку, при определенных температурах изменяется механизм разрушения, хрупкое разрушение при высокой температуре сменяется вязким (Рис. 18).



Чем выше сопротивление отрыву S_k , тем меньше металл склонен к хрупкому разрушению, т.е. тем ниже температура перехода металла или сплава из вязкого в хрупкое состояние. Склонность к хрупкому разрушению возрастает с повышением скорости деформирования и с увеличением размеров изделия (масштабный фактор).

5.3. Требования к механическим свойствам конструкционных материалов.

Сталь, применяемая для изготовления деталей машин, строительных конструкций и других сооружений, должна обладать высоким комплексом механических свойств, а не высоким значением какого - либо одного свойства.

Материал, идущий на изготовление деталей, подвергющийся большим нагрузкам, должен хорошо сопротивляться таким нагрузкам и наряду с высокой прочностью обладать вязкостью, чтобы сопротивляться динамическим и ударным воздействиям.

Другими словами, материал должен обладать прочностью и надежностью. В деталях, испытывающих знакопеременные нагрузки, металл должен обладать высоким сопротивлением усталости, а трущиеся детали - сопротивлением износу. Во многих случаях требуется хорошее сопротивление коррозии, ползучести и другим постоянным воздействиям, т.е. детали должны быть долговечности.

Пути повышения прочности металлических материалов.

При разработке составов конструкционных сталей и режимов их термической обработки нужно рассматривать в первую очередь такие способы, при которых пластические и вязкие свойства уменьшаются в минимальной степени.

Применение закалки с последующим отпуском позволяет широко изменять прочностные свойства от максимальных, соответствующих закаленному состоянию, до минимальных, соответствующих отожженному.

Повышение прочности, за счет температуры отпуска ведет к повышению порога хладноломкости и следовательно, уменьшению доли волокна в изломе и уменьшению работы распространения трещины.

Путь повышения надежности стали при высокой прочности - это сочетание ее мелкозернистости, № 10 - 12 номер зерна (применение ВТМО) и уменьшение содержания вредных примесей, $O + N < 200$ анм, что достигается использованием чистой шихты и вакуумирования. В этом случае при $\sigma_{\text{в}} = 1800 - 2000$ Мпа, $\sigma_{\text{р}} = 400 - 600$ кДж/м².

Высокий комплекс механических свойств принадлежит продуктам отпуска мартенсита или бейнита, поэтому при закалке следует добиваться сквозной про-

каливаемости. Важно, чтобы при закалке образовался не верхний, а нижний бейнит, так как после отпуска карбидная фаза из нижнего бейнита (и мартенсита) выделяется в виде дисперсных частиц. Влияние легирующих элементов двойко: с одной стороны, они углубляют прокаливаемость и тем самым снижают порог хладноломкости, с другой стороны, они, растворяясь в феррите, повышают порог хладноломкости. Избыточное легирование становится вредным. Исключение составляет никель, который понижает порог хладноломкости.

5.4. Высокопрочные материалы. Долговечность.

Стали, обработанные на прочность более 1500 Мпа, называются высокопрочными. Высокая прочность достигается подбором стали и специфической обработкой. К высокопрочным сталям относят:

- стали обычного состава, но мелкозернистые и высокочистые;
- никелесодержащие стали (18Х2Н4ВА), кроме того стали легированные кобальтом;
- особомелкозернистые стали № зерна 13-14 (30Х5М2СФА после ВТМО);
- стали со структурой среднеуглеродистого мартенсита после МТО. Здесь после небольшой пластической деформации уже термически обработанной стали прочность не возрастает, предел текучести достигает практически предела прочности;
- стали с карбонитридным упрочнением, в результате которого образуются упрочняющие дисперсные карбонитридные фазы при легировании стали ванадием и ниобием (иногда дополнительно алюминием и титаном) в сочетании с повышенным содержанием азота (до 0.030 %). 15ГФ, 15Г2СФ и 10Г2Б.
- стали интерметаллидного упрочнения (мартенсито - стареющие), в которых при закалке получатся практически безуглеродный мартенсит, а затем при отпуске происходит выделение интерметаллидных фаз (Н18К9М5Т, Н18К12М5Т2, Н16К4М5Т2Ю);
- трип - стали, в них состав должен быть таков, чтобы закалкой (с 1000 – 1100°С) фиксировалась при комнатной температуре чистая аустенитная структура (точка Мн должна лежать ниже комнатной температуры, а Мd - выше (*Мd - температура, выше которой деформация не вызывает мартенситного превращения*)). Типичный состав трип - стали таков: 0.3 % С, 9 % Cr, 8 % Ni, 4 % Mo, 2 % Mn, есть и другие составы.

Особенно важное свойство сталей - высокое сопротивление развитию трещины, что связывается с долговечностью материала. Например, вязкость разрушения (интенсивность напряжения в устье трещины К1С у обычной хромоникельмолибденовой стали при $\sigma_{0,2} = 15$ ГПа составляет около $35 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2$, у мартенсито - стареющей стали при той же прочности - около $95 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2$, а у трип - стали - свыше $157 \text{ МПа} \cdot \text{м}^2$.

К высокопрочным материалам принадлежат композиты с волоконным армированием нитевидными кристаллами, дисперсноупрочненные композиты и композиты направленной кристаллизации - эвтектические композиционные материалы.

Тема 6. Теория сплавов

6.1. Виды сплавов. Фазы. Компоненты. Понятие о физико-химическом анализе.

В сплавах в зависимости от физико-химического взаимодействия компонентов

могут образовываться следующие фазы: жидкие растворы, твердые растворы, химические соединения.

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

Различают твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения.

Твердые растворы замещения могут быть с ограниченной и неограниченной растворимостью.

Например, неограниченно растворяются в твердом состоянии следующие металлы с г. ц. к. решеткой: Ag и Au (при $\Delta R = 0,22$); Ni и Cu ($\Delta R = 2,7\%$); Fe – Co; Fe – Cr и др.

Такие металлы, как Na, Ca, K, Pb, Sr и др., имеющие большой атомный диаметр, в Fe, Cu и Ag нерастворимы.

Твердые растворы внедрения могут возникать только в тех случаях, когда диаметр атома растворенного элемента невелик. Поэтому твердые растворы этого типа получаются лишь при растворении в металле (например, в железе, молибдене, хrome и т.д.), углерода (атомный радиус $0,77 \text{ \AA}$), азота ($0,71 \text{ \AA}$), водорода ($0,46 \text{ \AA}$), т.е. элементов с малым атомным радиусом.

Процесс кристаллизации металлических сплавов и связанные с ним многие закономерности строения сплавов описывают с помощью диаграмм состояния или диаграмм равновесия. Эти диаграммы в графической форме показывают фазовый состав и структуру в зависимости от температуры и концентрации. Диаграммы состояния строят для условий равновесия или достаточно близких к ним.

Поэтому рассмотрение диаграмм состояния позволяет определить фазовые превращения при нагреве и в условиях очень медленного охлаждения или нагрева.

Это состояние сплава зависит, следовательно, от внешних условий (T , P) и характеризуется числом и концентрацией образовавшихся фаз. Закономерность изменения числа фаз в гетерогенной системе определяется правилом фаз (Законом Гиббса).

Правило фаз устанавливает зависимость между числом степеней свободы, числом компонентов и числом фаз и выражается уравнением

$$C = K + 1 - \Phi,$$

где C – число степеней свободы системы (или вариантность);

K – число компонентов, образующих систему;

1 – число внешних факторов;

Φ – число фаз, находящихся в равновесии.

Под числом степеней свободы (вариантностью системы) понимают возможность изменения T , P и концентрации без изменения числа фаз, находящихся в равновесии.

Применяя правило фаз к металлам, можно принять изменяющимся только один фактор – T .

Так как C не может быть меньше 0, то $K - \Phi + 1 \geq 0$, и $\Phi \leq K + 1$, т.е. число фаз в сплаве, находящемся в равновесном состоянии, не может быть больше, чем число компонентов, плюс единица.

Чистый металл при температуре затвердевания представляет однокомпонентную систему ($K = 1$), состоящую из двух фаз (жидкий и твердый металл). В этом случае система инвариантна (безвариантна), т.к. $C=1+1-2=0$

При $C = 1$ систему называют моновариантной (одновариантной); при $C = 2$ – бивариантной (двухвариантной).

Например, сплав из двух компонентов при температуре затвердевания является двухкомпонентной и двухфазной системой.

В этом случае $C = 1$, следовательно (в определенных пределах) изменять внешний фактор равновесия – температуру без изменения числа фаз, но при этом каждой заданной температуре будет отвечать определенная концентрация этих фаз.

Понятие о физико-химическом анализе.

Физико-химический анализ материалов проводится для детального изучения свойств. Результаты его обычно выражаются в графической форме, иллюстрирующей зависимость показателей от химического состава.

К физико-химическому анализу принадлежат резистивный метод, магнитного резонанса, термический анализ.

В материаловедении результаты физико-химического анализа объединяют с результатами структурных исследований. Широко распространен термический анализ, применяемый для обнаружения критических точек стали и сплавов, построения диаграмм состояния.

6.2. Диаграммы состояния.

Диаграмма состояния систем с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

Диаграммы состояния показывают изменение состояния в зависимости от температуры и концентрации. Давление во всех случаях постоянно, а скорость охлаждения достаточно мала для протекания всех процессов. Фактор времени таким образом исключается.

Схема установки для проведения термического анализа приведена на рис. 29.

Диаграммы (равновесного) состояния строятся экспериментально по термическим кривым (Рис. 30).

В интервале температур ab выпадают кристаллы твердого раствора переменной концентрации. Состав выпадающих кристаллов показывает линия солидуса, состав оставшегося жидкого раствора линия ликвидуса.

Сначала выпадают кристаллы, богатые никелем, как более тугоплавкие; в конце затвердевают кристаллы, богатые более легкоплавкой медью.

В процессе затвердевания непрерывно происходит диффузия, которая стремится выравнять состав. Однако в реальных условиях она не успевает завершиться.

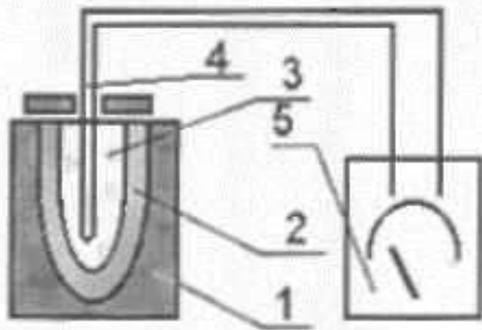


Рисунок. 29. Схема установки для изучения процесса кристаллизации термическим методом.

1 - печь. 2 - тигель. 3 - расплав. 4 - термопреобразователь (термопара).
5 - милливольтметр (гальванометр).

После окончательного затвердевания всего сплава имеется неоднородность - ликвация (дендритная, междендритная, зональная).

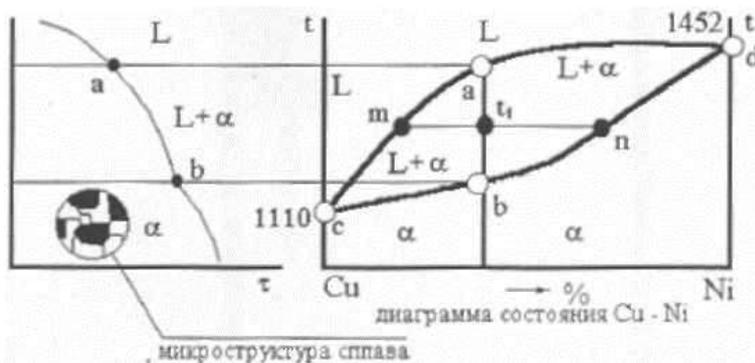


Рисунок. 30. Построение диаграммы состояния Cu-Ni по термическим кривым. На рис. L - жидкий расплав; α - твердая фаза из кристаллов Cu-Ni переменной концентрации; cad – линия ликвидуса; cbd - линия солидуса. Линия mn, соединяющая состав, находящийся в равновесии называется конодой.

Применение правила отрезков.

Правило отрезков или правило рычага применяется для определения количественного соотношения фаз, находящихся в равновесии при данной температуре. Согласно этому правилу для определения весового или объемного количества твердой фазы необходимо взять отношение длины отрезка, примыкающего к составу жидкой фазы, к длине всей коноды. Для определения количества жидкой фазы берется отношение длины отрезка, примыкающего к составу твердой фазы, к длине коноды. (Рис. 6.2).

$$a = [(t_1 m) / (mn)] * 100 \% \quad (7)$$

$$Ж = [(t_1 n) / (mn)] * 100 \% \quad (8)$$

Правило отрезков применимо не только к кристаллизующимся сплавам, но вообще ко всем двухфазным сплавам независимо от их агрегатного состояния.

Внутрикристаллическая ликвация.

В результате неравновесной кристаллизации химический состав образующегося кристалла по сечению оказывается переменным. Оси первого порядка, образу-

ющиеся в начальный момент кристаллизации, обогащены более тугоплавким элементом. Периферийные слои кристалла и межосные пространства, кристаллизующиеся в последнюю очередь, будут обогащены компонентом, понижающим температуру плавления сплава, и их состав близок к концентрации, соответствующей исходной концентрации сплава.

Такая неоднородность состава сплава внутри кристалла называется внутрикристаллической, или дендритной ликвацией.

Дендритная ликвация устраняется отжигом при температурах, обеспечивающих достаточную скорость диффузии.

Диаграммы состояния систем с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии с эвтектическими и перетектическими превращениями.

Диаграммы состояния систем с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии с эвтектическими и перетектическими превращениями.

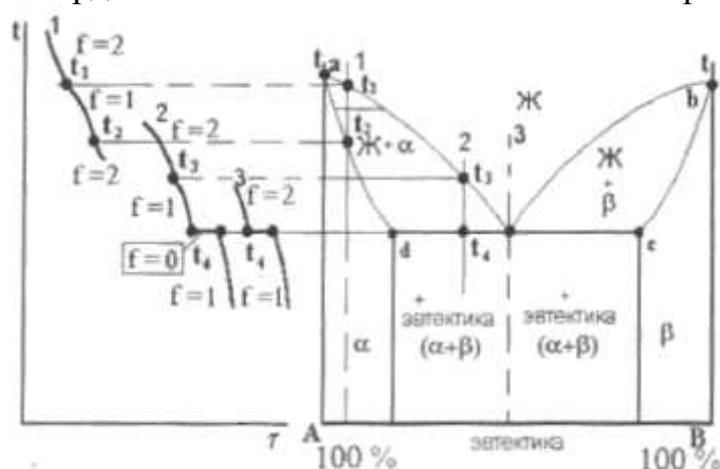


Рисунок. 31. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику.

На рис. 6.3. точка d характеризует предельную растворимость компонента β в компоненте α , а точка c компонента α в компонента β . Сплав, соответствующий точке 3, затвердевает при постоянной температуре T_4 . При температуре несколько ниже жидкий сплав оказывается насыщенным по отношению к обеим фазам (α и β - твердым растворам), так как точка 3 принадлежит сразу двум ветвям ликвидуса. Поэтому из жидкости состава 3 при температуре T_4 одновременно выделяются предельно насыщенные кристаллы твердого раствора α_d и β_c , образующие механическую смесь.

Сплавы, в которых происходит одновременная кристаллизация α и β фаз при постоянной и самой низкой для данной системы сплавов температуре, называют эвтектическими.

Структура, состоящая из механической смеси двух (или более) твердых фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкого сплава, называется эвтектикой. В переводе с греческого - "легкоплавящаяся".

Сплавы, располагающиеся влево от эвтектического состава и имеющие концентрацию в пределах точек d b 3, называются доэвтектическими, а справа в пределах концентрации точек 3 и c заэвтектическими.

При кристаллизации эвтектик сначала зарождаются и растут кристаллы

α – твердого раствора, богатого компонентом А. Жидкость, окружающая этот кристалл, обогащается вторым компонентом В, и в результате этого происходит выделение кристалликов α и β – твердого раствора. Жидкость, прилегающая к образовавшимся кристалликам β – фазы, в свою очередь, обогащается металлом А, и поэтому вновь выделяются кристаллики α – фазы, богатые компонентом А.

В результате переменного пересыщения жидкости по отношению к α и β – фазам образуется эвтектическая колония.

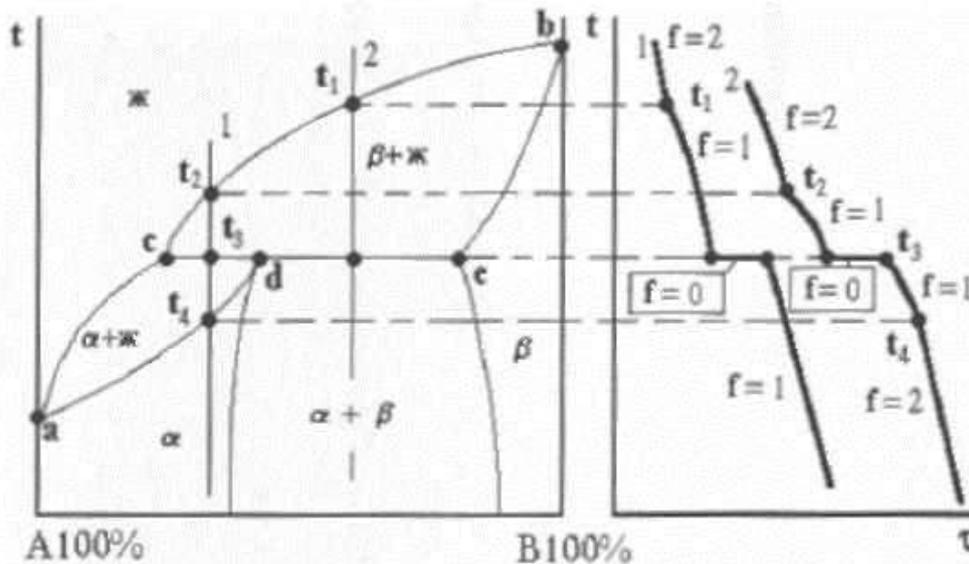


Рисунок. 32. Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и перетектику.

Процесс кристаллизации эвтектики протекает при постоянной температуре, так как согласно правилу фаз при одновременном существовании трех фаз постоянного состава система безвариантна. На кривой охлаждения образуется площадка. Одновременно кристаллизуются две фазы. После затвердевания сплав состоит из кристаллов эвтектики.

Диаграмма состояния сплавов с перетектикой приведена на рис. 6.4. Линия $асв$ на диаграмме соответствует линии ликвидус, а линия $адеb$ – линии солидус.

Точка d характеризует максимальную растворимость компонента В в компоненте А, а точка e – предельную растворимость компонента А в компоненте В. Линия $сde$ – линия перетектического превращения. Это превращение, как и эвтектическое, протекает в условиях существования трех фаз – жидкой и двух твердых α и β .

Перетектическое превращение отличается от эвтектического. При перетектическом превращении кристаллизуется только одна фаза, образующаяся в результате взаимодействия ранее выделившейся твердой фазы и жидкой части сплава определенного состава (точки c). Процесс перетектического превращения происходит при постоянной температуре ($f=0$).

Процесс кристаллизации перетектического превращения не заканчивается при температуре t_3 , а продолжается и заканчивается, например для сплава 2 в точке, соответствующей температуре t_4 . Для сплава 1 при достижении температуры t_3 на линии $сde$ выделяются кристаллы как α – так и β – фазы.

В процессе перетектического превращения α – фаза зарождается на поверхно-

сти β -кристаллов, обволакивает их и растёт. В результате перетектической реакции могут образовываться не только твердые растворы, но и неустойчивые химические соединения, которые плавятся инконгруэнтно, т.е. при плавлении состав жидкого расплава не совпадает с составом соединения.

Диаграммы состояния системы, образующей химическое соединение.

Диаграмма состояния системы с наличием устойчивого химического соединения показана на рис. 6.5.

В связи с особыми свойствами химического соединения на диаграмме появляется ордината этого соединения, соответствующая его составу. На этой ординате откладывается температура плавления этого химического соединения t_3 . Ордината делит диаграмму состояния на две части, каждая из которых представляет простейший эвтектический тип диаграмм состояния.

Химическое соединение не является компонентом, так как образуется путем взаимодействия компонентов А и В.



Рисунок.33. Диаграмма состояния системы, образующей устойчивое химическое соединение.

Выше точки 1 присутствует жидкость, несколько ниже точки 1 происходит образование и рост кристаллов $AmBn$. В точке 2 жидкий раствор состава E_2 будет кристаллизоваться с образованием эвтектики, состоящей из кристаллов компонента А и химического соединения $AmBn$.

В итоге кристаллизации расплав состава 1 будет состоять из кристаллов компонента $AmBn$ и эвтектики, состоящей из кристаллов химического соединения $AmBn$ и кристаллов компонента А.

Если химическое соединение неустойчиво, образуется диаграмма со скрытым максимумом. Сначала будут кристаллизоваться чистые компоненты, затем выпадут кристаллы химического соединения.

Взаимодействием двух фаз будет образована третья: произойдет перетектическое превращение.

6.3. Механические и технологические свойства сплавов, связь с типом диаграмм состояния.

Механические и технологические свойства сплавов связаны с типом диаграмм состояния. Эту связь устанавливает закон Н. С. Курнакова.

В соответствии с законом Курнакова закономерность изменения свойств в зависимости от концентрации определяется типом взаимодействия компонентов си-

стемы или типом диаграммы. Это представлено графически на рис. 6.6.

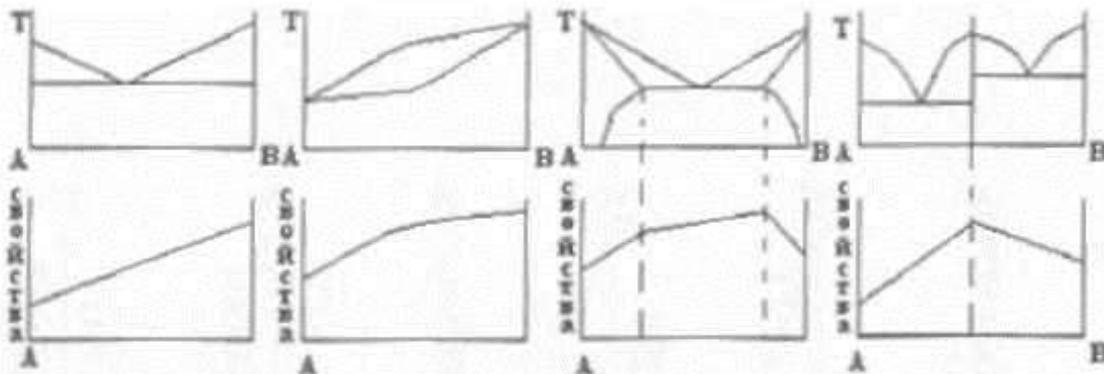


Рисунок 34. Зависимость технологических свойств металлов от типа диаграммы состояния сплавов.

Закон Курнакова позволяет на основании диаграммы состояния приблизительно решать вопрос о свойствах сплавов.

Например, известно, что чистые металлы обладают низким электро - сопротивлением. Чтобы получить сплав с высоким электросопротивлением, нужно выбрать систему сплавов второго типа, у которой (твердые растворы) свойства меняются по кривой с максимумом.

6.4. Понятие о трехкомпонентных системах.

Для изображения состава тройного сплава обычно пользуются равносторонним треугольником. Точки на вершинах обозначают чистые компоненты, каждая сторона - соответствующий двойной сплав, а плоскость - тройные сплавы. (Рис. 35.).

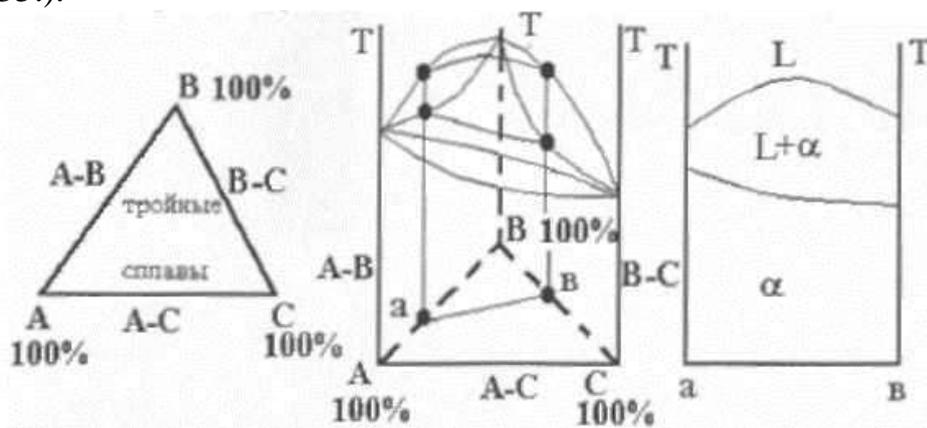


Рисунок. 35. Концентрационный треугольник.

Рис. 36. Тройная диаграмма второго типа.

Рис. 37. Политермическое сечение.

Диаграмма тройного сплава для случая полной взаимной растворимости в твердом и жидком состояниях и отсутствием химических соединений изображена на рис. 36

Изучение диаграмм тройных сплавов обычно производят при помощи горизонтальных, изотермических и вертикальных политермических сечений, (рис. 37).

Имея вертикальное сечение а - в или псевдобинарную диаграмму, можно легко находить критические точки, строить кривые охлаждения и представить все изменения в структуре сплава. Недостатком политермического сечения является не-

возможность определения концентрации равновесных фаз.

Преобразования в сложных системах сплавов, в которых больше трех компонентов, производится с помощью политермических сечений, предполагаемых диаграмм (ложных двойных диаграмм).

Тема 7. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Главные из сплавов железа – сталь и чугун – представляют собой сплавы железа с углеродом. Для получения заданных свойств в сталь и чугун вводят легирующие элементы.

7.1. Диаграмма состояния железо - цементит

Компоненты и фазы в системе железо – углерод

Температура плавления железа 1539°C . Железо известно в двух полиморфных модификациях α и γ . α - Fe существует при температуре ниже 910°C и выше 1392°C . Для интервала температур 1392 - 1539°C α - Fe нередко обозначается как δ - Fe.

Кристаллическая решетка α - Fe – объемноцентрированный куб с периодом решетки $2,8606 \text{ \AA}$. До температуры 768°C α - Fe магнитно (ферромагнитно). Критическую точку (7688°C), соответствующую магнитному превращению, называют точкой Кюри.

Кристаллическая решетка α - Fe – гранецентрированный куб с периодом $3,645 \text{ \AA}$ при $T = 910^{\circ}\text{C}$.

Плотность γ - Fe выше, чем α - Fe ($8,0$ – $8,1$ против $7,68 \text{ г/см}^3$). Превращении $\alpha \rightarrow \gamma$ происходит сжатие. Объемный эффект сжатия составляет $\sim 1,0 \%$.

Углерод – неметаллический элемент, плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 3500°C . Углерод полиморфен. В обычных условиях он находится в виде модификаций графита.

Углерод растворим в железе в жидком и твердом состояниях, а также может быть в виде химического соединения – цементита, а в высокоуглеродистых сплавах и в виде графита.

Феррит – твердый раствор углерода в α - железе. Низкотемпературный.

α - феррит имеет растворимость углерода до $0,02\%$.

Феррит обладает небольшой твердостью и высокой пластичностью.

Аустенит – твердый раствор углерода в γ - железе с предельной концентрацией $2,14 \%$ C.

Аустенит обладает высокой пластичностью, низкими пределами текучести и прочности; сталь со структурой аустенита немагнитна, имеет хорошую пластичность и вязкость.

Цементит – это химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe_3C . В цементите содержится $6,67\%$ углерода. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита точно не определена в связи с возможностью его распада и принимается $\sim 1550^{\circ}\text{C}$. До температуры 210°C (точка A_0) цементит ферромагнитен.

К характерным особенностям цементита относятся высокая твердость ($\text{HV} \sim 1000$) и очень малая пластичность (большая хрупкость). Цементит является метастабильной фазой. В условиях равновесия в сплавах с высоким содержанием углерода образуется графит.

Графит это углерод в свободном состоянии, располагается в основной массе металла и имеет развитую объемную форму в виде пластинок или завихрений; кроме пластинчатого графита, можно получить графит компактных форм (шаровидный или хлопьевидный), образующийся за счет распада цементита или выделяющийся из пересыщенных твердых растворов железа с углеродом.

К структурным составляющим железоуглеродистых сплавов относятся:

- перлит – механическая смесь феррита и цементита, образующаяся при эвтектонидном распаде аустенита (0,8%С); сталь, имеющая структуру перлита, обладает большими прочностью и твердостью;

- ледебурит – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита (4,3% С); ниже температуры 723°С аустенит в ледебурите превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита.

Диаграмма состояния железо – цементит

Диаграмма приведена на рисунке 38. Она показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67% С). Система Fe – Fe₃C метастабильна.

Образование цементита вместо графита дает меньший выигрыш свободной энергии, однако кинетическое образование карбида железа более вероятно.

Линии диаграммы Fe – Fe₃C, определяющие процесс кристаллизации, имеют следующие обозначения и физический смысл.

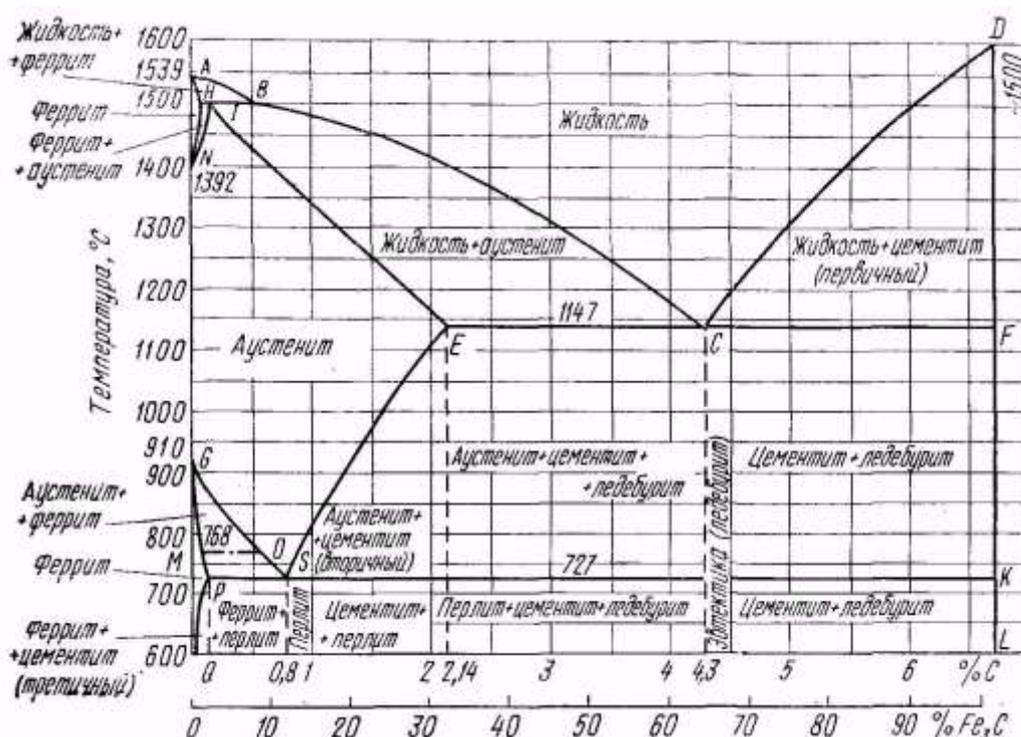


Рисунок 38. Диаграмма состояния железо-цементит.

AB (линия ликвидус) показывает температуру начала кристаллизации δ - феррита из жидкого сплава; BC (линия ликвидус) соответствует температуре начала кристаллизации аустенита из жидкого сплава; CD (линия ликвидус) соответствует температуре начала кристаллизации первичного цементита (Fe₃C) из жидкого сплава; AN (линия солидус) является температурной границей области жидкого сплава и кристаллов δ - феррита; ниже этой линии существует только δ - феррит;

НВ – линия перитектического невариантного ($C = 0$) равновесия (1499°C); по достижении температуры, соответствующей линии НВ, протекает перитектическая реакция (жидкость состава В взаимодействует с кристаллами δ - феррита состава Н с образованием аустенита состава I.).

Перитектическое превращение отличается существенно от эвтектического. Если при эвтектическом превращении из жидкой фазы одновременно кристаллизуются две твердые фазы, то при перитектическом превращении кристаллизуется только одна фаза, образующаяся в результате взаимодействия ранее выделившейся твердой фазы с жидкой фазой сплава определенных составов.

Линия ECF (линия солидус) соответствует кристаллизации эвтектики – ледебурита.

При температуре 1147°C аустенит достигает предельной концентрации, соответствующей точке E ($2,14\% \text{ C}$), а оставшаяся жидкость – эвтектического состава точке C ($4,3\% \text{ C}$). При данной температуре заканчивается первичная кристаллизация.

Линия PSK – эвтектоидная¹ линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации.

Линия нижних критических точек A_1 . При охлаждении происходит распад аустенита ($0,8\% \text{ C}$) с образованием эвтектоида – феррито-цементитной структуры, - перлит.

Линия GSE – начало процесса вторичной кристаллизации из твердого раствора. Линия GS показывает температуру выделения феррита из аустенита (линия верхних критических точек A_3).

Линия SE- выделения вторичного цементита и является линией предельной растворимости углерода в аустените (линия верхних критических точек A_{τ}).

Сплавы, содержащие до $2,14\% \text{ C}$ называют сталью; более $2,14\% \text{ C}$ – чугуном. Принятое разграничение между сталью и чугуном совпадает с предельной растворимостью углерода в аустените. Стали после затвердевания не содержат хрупкой структурной составляющей – ледебурита и при высоком нагреве имеют только аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью.

По сравнению со сталью чугуны обладают значительно лучшими литейными свойствами (более низкими температурами плавления, меньшей усадкой). Это объясняется присутствием в структуре чугунов легкоплавкой эвтектики (ледебурита).

Стали, содержащие от $0,02$ до $0,8\% \text{ C}$ называют доэвтектоидным; после окончательного охлаждения эти стали имеют структуру феррит + перлит. Чем больше в стали углерода, тем меньше в структуре избыточного феррита и больше перлита. По количеству перлита можно определить содержание в этой стали углерода, если учесть, что каждая десятая доля процента углерода образует около $12,5\%$ пер-

PQ – в условия равновесия эта линия соответствует температурам начала выделения третичного цементита, а при нагреве – полному его растворению.

Сплавы, содержащие менее $0,02\% \text{ C}$ (точка P) называют техническим железом.

лита.

Сталь, содержащую 0,8% С, называют эвтектоидной. В этой стали по достижении температуры 727°С (точка S) весь аустенит превращается в перлит.

Перлит чаще имеет пластинчатое строение, т.е. состоит из чередующихся пластинок феррита и цементита. После спецобработки перлит может иметь зернистое строение.

Стали, содержащие углерод от 0,8 до 2,14% называют заэвтектоидными. Выше линии SE будет только аустенит. При температуре ниже линии SE сплавы становятся двухфазными (аустенит + вторичный цементит). Аустенит, содержащий 0,8 % С (точка S) превращается в перлит.

Чугун, содержащий 4,3%С называют эвтектическим, менее 4,3%С – доэвтектическим, более 4,3%С – заэвтектическим.

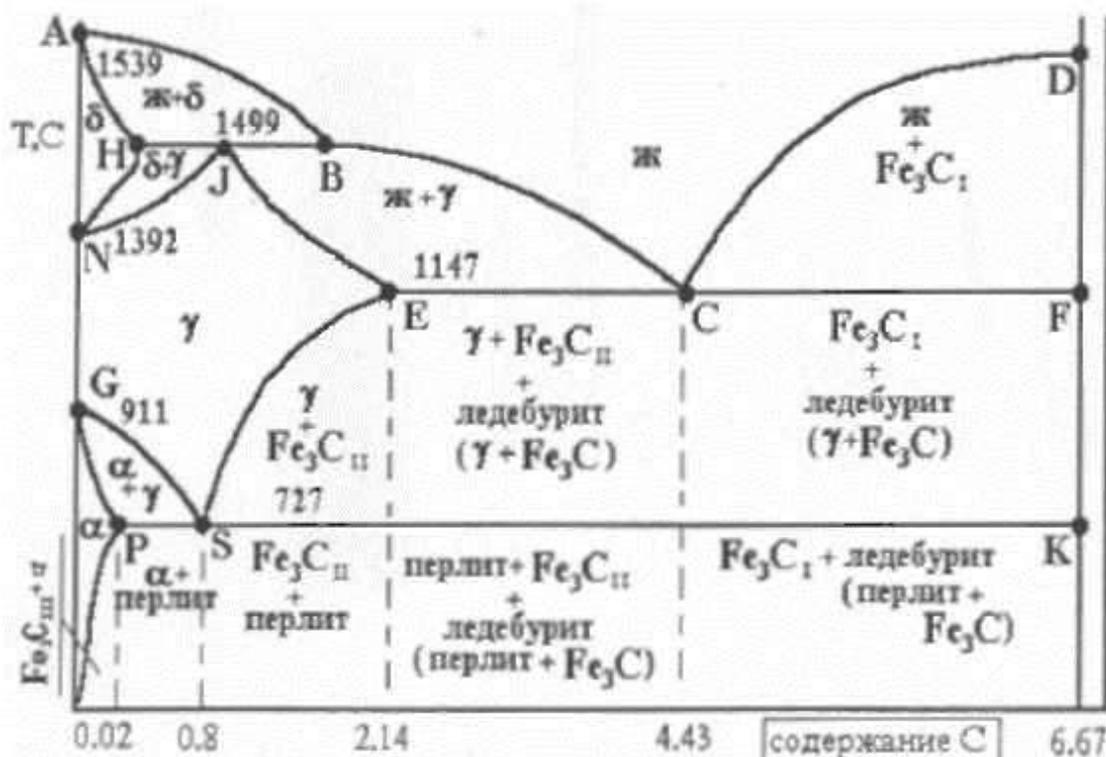


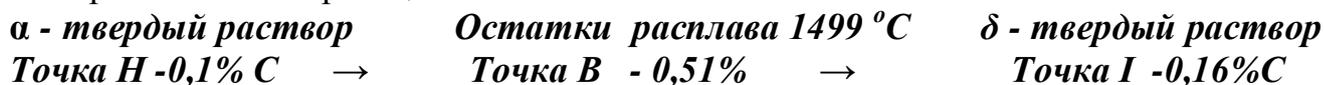
Рисунок. 39. Диаграмма железо-цементит (метастабильная).

При содержании в железоуглеродистом сплаве $\geq 1,5\%$ Si или при очень медленном его охлаждении вместо цементита может выделиться графит (процесс графитизации). Если при эвтектической кристаллизации выделяется только графит, то чугун называют серым, если графит и цементит – половинчатым; и если только цементит – белым.

Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах. Диаграмма железо-цементит.

На рис. 39. представлена диаграмма железо-цементит. При охлаждении железоуглеродистых расплавов происходят фазовые превращения:

1. Перетектическая реакция:



2. Эвтектическая реакция:

становится двухфазным (жидкий сплав и кристаллы δ - феррита).

Степень свободы системы равна единице. $f = 2 + 1 - 2 = 1$. Состав твердого раствора при понижении температуры меняется по линии солидус, а состав жидкого сплава по линии ликвидус.

Например, при температуре t_1 (1499°C) в равновесии находится δ - феррит состава точки H (0.1 %) и жидкая фаза состава точки В (0.51 % С). При температуре 1499 °С ($f = 2 + 1 - 3 = 0$) протекает перетектическая реакция. Ниже перетектической температуры из жидкого сплава кристаллизуется аустенит. При температуре t_3 сплав полностью затвердевает. В интервале температур $t_3 - t_4$ ($f = 2 + 1 - 1 = 0$) существует только аустенит. При понижении температуры несколько ниже критической точки A_3 (линия GS) из аустенита выделяется феррит.

Сплав получает двухфазное состояние: аустенит и феррит ($f = 2 + 1 - 2 = 1$). Состав аустенита при понижении температуры изменяется по линии GS, а феррита - PG. При $t = 727^\circ\text{C}$ (A_1) содержание углерода в аустените достигает 0.8 % (точка S).

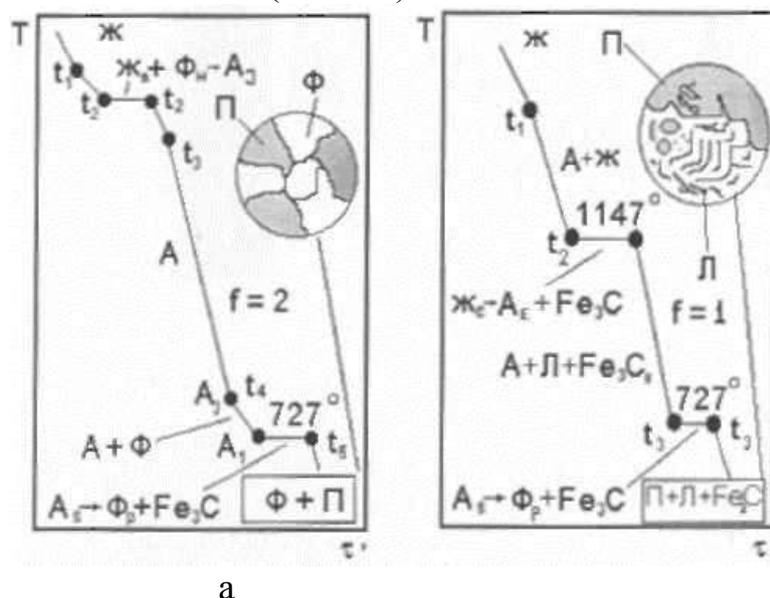


Рисунок. 40. Кривые охлаждения доэвтектоидной стали (а) и доэвтектического чугуна (б).

Аустенит, имеющий эвтектоидный состав, распадается с одновременным выделением из него феррита и цементита, образующих перлит. Эвтектоидный распад аустенита протекает при 727°C . Система безвариантна. Присутствуют три фазы: феррит (0.02% С), цементит и аустенит (0.8% С). ($f = 2 + 1 - 3 = 0$).

Аналогичные превращения протекают в любой доэвтектоидной стали. Структура доэвтектоидной стали феррит плюс перлит.

В заэвтектоидной стали на кривой охлаждения отсутствует выделение δ - феррита. На кривой охлаждения наблюдается перелом, вызываемый выделением из жидкости кристаллов аустенита ($f = 2 + 1 - 2 = 1$).

Состав кристаллов меняется по линии солидус JE, а жидкой фазы по линии ликвидус BC. До критической точки Am (SE) сплав состоит только из кристаллов аустенита. Ниже линии SE сплав двухфазный (аустенит + цементит вторичный). На линии PSK аустенит распадается с образованием перлита. Структура заэвтек-

тоидных сталей перлит и цементит вторичного.

Сплав 2 (рис. 40, б) иллюстрирует охлаждение чугуна. Ниже температуры t_1 сплав имеет двухфазное состояние: жидкость и кристаллы аустенита.

$f = 2 + 1 - 2 = 1$. При температуре 1147°C (линия EC) аустенит достигает предельной концентрации, указываемой точкой E (2.14% C), а оставшаяся жидкость - эвтектического состава 4.3% C (точка C). Она затвердевает при одновременной кристаллизации двух фаз (аустенита и цементита), образующих ледебурит. Процесс эвтектической кристаллизации протекает при постоянной температуре (на кривой охлаждения имеется площадка). Присутствуют три фазы аустенит (2.14 % C), цементита (6.67% C) и жидкости (4.3% C). $f = 2 + 1 - 3 = 0$.

После затвердевания чугун состоит из кристаллов аустенита предельной концентрации и ледебурита (аустенит + цементит). При дальнейшем охлаждении из аустенита выделяется цементит. Состав аустенита изменяется по линии SE. При температуре 727°C (линия PSK) аустенит, обедненный углеродом до эвтектоидного состава (0.8 % C), указываемого точкой S, распадается одновременным выделением двух фаз: феррита и цементита, образующих перлит.

Структура доэвтектических чугунов состоит из перлита, ледебурита и вторичного цементита. Эвтектический чугун (4,3 % C) кристаллизуется при температуре 1147°C (площадка на кривой охлаждения).

Структура эвтектического чугуна ледебурит. При дальнейшем охлаждении из аустенита выделяется вторичный цементит, а при температуре 727°C происходит эвтектоидный распад аустенита, содержащего 0.8 % C (точка S) с образованием перлита. При температуре выше 727°C ледебурит состоит из аустенита и цементита, а при температуре ниже 727°C - из перлита и цементита.

7.3. Строение и свойства чугунов. Диаграмма состояния железо - графит. Фазовые превращения в чугунах.

На рис. 41 показана диаграмма железо - углерод. Тонкие линии соответствуют выделению графита, жирные - цементита.

Возможность реализации одной или другой диаграммы в сплавах определяется условиями нагрева до высоких температур, величиной скорости охлаждения, а также присутствием различных часто неизбежных примесей или специально введенных элементов.

В стабильной системе (рис.41).при температурах, соответствующих линии C'D', кристаллизуется первичный графит.

При температуре 1153°C (линия E'C'F') образуется графитная эвтектика: аустенит + графит. По линии E'S' выделяется вторичный графит, а при температуре 738°C (линия S'K') образуется эвтектоид, состоящий из феррита и графита.

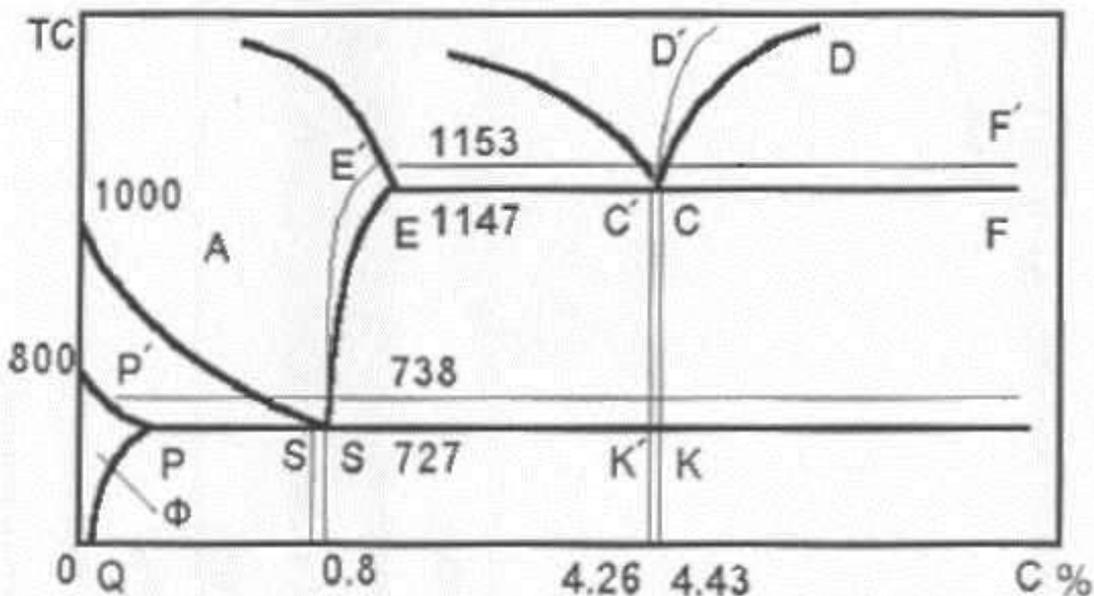


Рисунок. 41. Стабильная диаграмма железо - углерод.

Если при эвтектической кристаллизации выделяется только графит, то чугун называют *серым* (ГОСТ 1412 -85), если графит и цементит - *половинчатым*, и если только цементит - *белым*.

Структура чугунов. Влияние примесей и скорости охлаждения (толщины отливки) на структуру чугунов.

В жидком чугуне присутствуют различные включения (графит, SiO_2 , Al_2O_3 и др.). Эти частицы облегчают образование и рост графитных включений. При наличии готовых зародышей процесс образования графита может протекать и при температурах, ниже 1147°C . Этому способствует легирование чугуна кремнием, который интенсифицирует процесс графитизации.

Графит в чугунах существует в следующих формах:

- *пластинчатый* графит, в виде лепестков, прожилок; - *вермикулярный* (или мелкопластинчатый) графит, разновидность первого, при этом пластины похожи на нити; - *шаровидный* (глобулярный) графит; - *хлопьевидный* графит.

Возможные формы графита в чугуне показаны на рис. 42.



Рисунок. 42. Возможные формы графита в чугунах. 1 - пластинчатый, 2 - мелкопластинчатый (вермикулярный), 3 - хлопьевидный, 4 - шаровидный графит.

Для получения шаровидного графита при плавке чугуна применяют присадку магния (или церия). Такая форма графитовых включений в структуре материала создает значительно меньшую концентрацию механических напряжений. Чугун с глобулярным графитом называют высокопрочным. Марки ВЧ30, ВЧ100. ГОСТ 7293 - 85.

При отжиге, используя неустойчивость цементита, происходит распад цементита. Образующийся графит приобретает компактную, почти равноосную, но не шаровидную форму. Такой графит называют *хлопьевидным*. В практике такой чугун называют *ковким*. Марки КЧ 33 - 8, КЧ 80 - 1,5. ГОСТ 1215 - 79.

7.4. Механические свойства чугуна:

Сопротивление разрыву, изгибу, кручению, обусловлены количеством и формой графита. Предел прочности при сжатии и твердость чугуна зависят от строения металлической основы. Влияние формы графитовых включений и структуры металлической основы на пластичность, твердость чугуна показано в табл. 5.

Таблица 5.

Влияние формы графитовых включений и структуры металлической основы на пластичность, твердость чугуна

Графит	Пластинчатый	Хлопьевидный	Шаровидный
δ , %	0.2 - 0.5	5 - 10	10 - 15
Чугун	Ферритный	Феррито - перлитный	Перлитный
Твердость НВ	150	200	250

Наличие структурно свободного графита обеспечивает хорошую обработку со снятием стружки. Антифрикционные свойства чугуна, например, подшипников лучше, чем стали.

В табл. 6. приведена данные физико - механических свойств чугуна.

Т а б л и ц а 6

Физико - механические свойства чугуна

марка	σ_b , МПа	δ , %	НВ, МПА	металл еская основа	Графит	Пределы ре- жимы ра- боты/ v	ГОСТ
СЧ10	98		1430- 2290	феррит - перлит	пластин- чатый	нет данных	1412 - 85
ВЧ 35	1000	2	2700- 3600	бейнит	шаро- видный	нет данных	7293- 85
КЧ 30-6	294	6	1000- 1630	феррит	хлопье- видный	нет данных	1215- 79
АЧС-1	нет данных	Нет данных	1800- 2410	перлит	пластин- чатый	5/5	1585- 85
ЧС15М4	60		2949- 3940	ледебурит	нет	нет данных	77769 -82

Необходимые свойства получаются благодаря тому, что средства смазки вымывают графит, и могут образовываться накопления смазочного материала. К антифрикционным чугунам принадлежат марки: АЧС, АЧК, АЧВ.

ГОСТ 1585 - 85

Такие чугуны при плавке легируют никелем, хромом, титаном, алюминием, свинцом и магнием не более 0.5 %. Легированные сорта чугуна обладают стойкостью против морской воды и обладают хорошей устойчивостью против многих кислот и щелочей.

По химическому составу различают несколько групп легированных чугунов: хромистые (ЧХ16М2), кремнистые (ЧС15М4), алюминиевые (ЧЮ6С5), марганцевые (ЧГ7Х4) и никелевые (ЧНХТ), а по условиям эксплуатации: жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, коррозионностойкие и немагнитные. При этом один и тот же легирующий элемент придает чугуну несколько специальных свойств.

Тема 8. Углеродистые и легированные стали. Строение и свойства сталей.

Углеродистой сталью называется сплав железа с углеродом, содержащим до 2% С и постоянные примеси: кремний до 0.5 %, марганец до 1%, сера и фосфор до 0.05%. Элементы, специально вводимые в сталь при ее производстве в определенных концентрациях с целью повышения ее свойств называют легирующими, а сталь - легированной. Основным элементом, при помощи которого изменяются свойства стали, является углерод. К числу наиболее часто используемых специальных легирующих элементов относятся Cr, Ni, Mo, V, Ti, W, Si и Mn.

Свойства стали в значительной степени определяются тем, какие фазы образуются при сплавлении с легирующими элементами, в результате термической обработки.

8.1. Влияние углерода и постоянных примесей на структуру и свойства стали. Классификация сталей.

Влияние содержания углерода на основные механические свойства стали показано на рис. 43. С увеличением содержания углерода изменяется структура стали.

Сталь, содержащая углерода меньше 0.8%, состоит из феррита и перлита, при содержании углерода, равном 0.8%, сталь состоит только из перлита, при увеличении содержания углерода более 0.8% в стали кроме перлита появляется вторичный цементит. Изменение химического состава приводит к изменению структуры стали и ее свойств. Увеличение содержания углерода приводит к повышению прочности и понижению пластичности.

Хрупкой фазой в стали является цементит. Увеличение содержания углерода приводит в стали к образованию структур на основе перлита (феррит + цементит), в связи с чем при $C = 0.8 \%$ прочность стали при растяжении начинает падать, а твердость продолжает увеличиваться. Для сохранения прочностных свойств стремятся получить не пластинчатый, а зернистый цементит после термической обработки.

Постоянными примесями в стали считают марганец, кремний, фосфор, серу, а также газы (водород, азот, кислород). Обычно содержание их ограничивается верхними пределами: % 0.8 Mn; 0.5 Si; 0.05 S; 0.05 P.

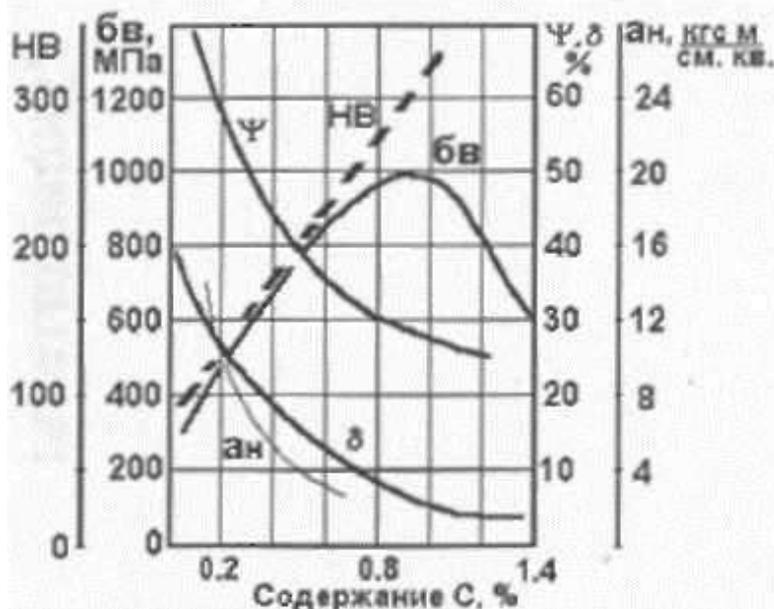


Рисунок. 43. Влияние содержания углерода на механические свойства стали.

М а р г а н е ц - вводят в сталь при раскислении для устранения вредного влияния закиси железа. Mn повышает прочность горячекатанной стали, прокаливаемость, упругие свойства. При содержании более 1.5% сообщает склонность к отпускной хрупкости. При содержании более 13% и выше придает стали аустенитную структуру, противоударную стойкость, высокую износостойкость. При нагреве способствует росту зерна.

К р е м н и й - вводится для раскисления. Полностью растворим в феррите. Увеличивает прочность, износостойкость и придает антифрикционные и упругие качества. Более 2% - снижает пластичность. Повышает прокаливаемость, но увеличивает температуры заковки, нормализации и отжига.

Ф о с ф о р - Растворяясь в феррите, вызывает хладноломкость стали. При совместном действии С и Р (Р не более 1.2%) вызывается фосфидная эвтектика, плавящаяся при Т менее 1100 С. Фосфор - вредная примесь стали. Однако повышает обрабатываемость резанием и в присутствии меди повышает сопротивление коррозии.

С е р а - нерастворима в железе, образует с Fe соединение FeS сульфид железа. Последний входит в состав эвтектик, плавящихся при 988 С. Наличие зерен хрупкой и легкоплавящейся эвтектики по границам зерен стали делает ее при температурах 800 С и выше (в районе температур красного каления) - **к р а с н о л о м к о й**. В т.ж. время, сера повышает обрабатываемость резанием.

Вредное влияние серы нейтрализуют введением марганца, образующего с ней сульфид MnS. MnS при горячей обработке давлением деформируется и создает продолговатые линзы - строчки. Их присутствие стали, как и других включений, в стали не допустимо для ответственных изделий. MnS стремятся перевести в шлак при плавке стали.

В о д о р о д, а з о т, к и с л о р о д - растворяются в стали. Кислород и азот образуют твердые труднодеформирующиеся вредные включения. Водород вызывает флокены. А газы вообще - эффекты деформационного старения, снижающие усталостные характеристики (вязкость и порог хладноломкости).

Неметаллические включения после обработки давлением создают - **п о л о с ч**

а т о с т ь (или с т р о ч е ч н о с т ь), вызывающую сильную анизотропию свойств. Для устранения вредного влияния растворяющихся газов применяют вакуумную разливку стали и специальные приемы раскисления.

Классификация сталей по составу, качеству и структурным классам.

В соответствии с современными стандартами углеродистые и легированные стали разделяют на: конструкционные легированные стали, стали обыкновенного качества, углеродистые качественные конструкционные стали, повышенной обрабатываемости (автоматные) стали, рессорно - пружинные стали, подшипниковые стали, углеродистые инструментальные стали, инструментальные легированные стали, литейные стали, коррозионностойкие стали, порошковые стали.

Множество сталей относится к группе машиностроительных материалов с повышенной и высокой прочностью.

В этом случае стали разделяют на углеродистые и низколегированные стали, высокопрочные среднелегированные стали, высокопрочные высоколегированные (мартенситно - стареющие) стали.

Легированные стали классифицируют по четырем признакам: по равновесной структуре, по структуре после охлаждения на воздухе, по составу, по назначению.

По содержанию углерода стали разделяются на малоуглеродистые до 0.2 - 0.6 %, среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали 0.6 - 1.7 % С. По структуре - доэвтектоидные (феррит + перлит), эвтектоидные (перлит) и заэвтектоидные (перлит + цементит) стали.

По способу выплавки стали делятся на кипящую, полуспокойную и спокойную сталь. Слитки кипящей стали имеют в структуре большое количество газовых пузырей - результат раскисления стали в изложницах и выделения СО. Кроме того, различают стали на мартеновские, полученные в конвертерах и электропечах, в установках непрерывной разливки стали и т.п. Способ выплавки влияет на химический состав: содержание примесей и неметаллических включений, в итоге на качество стали.

Конструкционные стали (машиностроение) разделяются по технологическим признакам на цементуемые (С обычно не более 0.2%), улучшаемые (подвергающиеся ТО - улучшению) и автоматные стали.

По качеству : обыкновенного качества - углеродистая широкого применения, качественная - для деталей машин, рессор, пружин и т.д., высококачественную – с минимальным содержанием серы, фосфора, минимальным содержанием металлических включений.

Конструкционные стали.

Конструкционными называются стали, применяемые для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений.

Конструкционными могут быть как углеродистые, так и легированные стали. Содержание углерода в этой группе не превышает 0.6 %. Конструкционные углеродистые стали разделяют так же по назначению, технологическим признакам: (табл. 7.).

Таблица 7.

Разделение конструкционных углеродистых сталей по назначению.

Марка стали					
Стали общего назначения ГОСТ 380 - 88	Стали специального назначения				Качественные конструкционные стали ГОСТ 1050 - 74
	Нелигированные и легированные для отливок ГОСТ 977 - 75	Рессорно - пружинные ГОСТ 1459 - 79	Повышенной и высокой обрабатываемости резанием ГОСТ 1414-74	Среднеуглеродистые пониженной прокаливаемости	
Ст0, Ст1кп	15Л		A11		05
Ст1пс	20Л	65	A12	НИПРА	08
Ст1сп	25Л	70	A20	50ППП	10
Ст3пс	30Л	75	A30		15
Ст3кп	35Л	80	A35		20
Ст3Гсп	40Л	85	A40 Г		25
Ст4кп	45Л		AC40		30
Ст5Гпс	50Л				35
Ст6пс	55Л				40

Стали общего назначения изготавливаются: кипящие (кп), полуспокойные (пс), спокойные (сп). Для обозначения повышенного содержания марганца после номера марки ставят букву Г.

Стали общего назначения изготавливаются: кипящие (кп), полуспокойные (пс), спокойные (сп). Для обозначения повышенного содержания марганца после номера марки ставят букву Г.

Сталь качественная углеродистая по способу раскисления подразделяется на: кипящую, полуспокойную и спокойную. Марки кипящей качественной углеродистой стали: 05кп, 10кп, 20кп, - полуспокойной 08пс, 10пс, 15пс, 20пс, - марки спокойной стали в данной таблице перечислены без индекса. Кроме указанных в таблице, ГОСТ 1414 - 75 предусматривает еще одиннадцать, а ГОСТ 14959 - 79 еще двенадцать марок легированных сталей. ГОСТ 977 – 79 распространяется на легированные стали для литейной технологии.

Стали общего назначения применяются, как правило, без термообработки или после нитроцементации или цементации, для изготовления деталей неответственного назначения, воспринимающих большие нагрузки.

Стали марок Ст5Гпс, Ст6сп, а так же подобные им воспринимают закалку и низкий отпуск. Углеродистые качественные стали (за исключением 05кп, ..., 10пс) обычно проходят цементацию, улучшение или закалку с отпуском, а так же применяются после ТВЧ - марки 40 ... 58 (55ПП). Обычная ТО рессорно - пружинных сталей: закалка и средний отпуск 470 ... 520°С.

Кроме углеродистых в машиностроении для ответственных деталей применяют конструкционные легированные стали ГОСТ 4543 - 71.

Эти стали разделяются на группы: хромистая, марганцовистая, хромомарганцевая, хромокремнистая, хромокремнемарганцевая, хромоникелевая и другие стали. По технологическим признакам их разделяют на цементуемые стали, стали для азотирования, улучшаемые стали, воздушнозакаливающиеся стали и т.п.

Цементуемые и улучшаемые стали.

Цементуемые стали разделяются на три группы: углеродистые стали с неупрочняемой сердцевиной, низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной и относительно высоколегированные стали с сердцевиной, сильноупрочняемой при термической обработке.

Стали последней группы называют высокопрочными цементуемыми сталями. К ним относят стали с невысоким содержанием легирующих элементов, но с повышенным содержанием углерода (0.25 - 0.30 %).

Улучшение это - закалка в масле и высокий отпуск (550 - 650 С). Чем больше в стали легирующих элементов, тем большее ее прокаливаемость. Поскольку механические свойства стали разных марок после улучшения в случае сквозной прокаливаемости близки, то не механические свойства, а прокаливаемость определяет выбор стали для той или иной детали.

Дефекты легированных сталей.

В легированных сталях появляются различные дефекты, встречающиеся реже в углеродистых сталях.

К ним относят: отпускная хрупкость дендритная ликвация и флокены.

- **дендритная ликвация** - появление ее обусловлено неравновесной кристаллизацией сплавов, чему способствует наличие легирующих элементов. Создается разница в концентрациях между ранее и позднее выпавшими из жидкости кристаллами, в результате после прокатки иковки появляются волокна, вытянутые вдоль направления деформации. Это создает анизотропию механических свойств.

Для устранения дефекта стали ее подвергают длительному отжигу при 1000 - 1200 С.

- **флокены** - представляют собой в изломе пятна (хлопья), а в поперечном микрошлифе - трещины. Флокены образуют растворившийся в жидкой стали водород, который при охлаждении стали создает сильные внутренние напряжения.

Флокены устраняются ковкой на меньший размер.

Рессорно - пружинные стали и сплавы общего и специального назначения.

Главное требование к рессорно - пружинной стали: высокий предел упругости (текучести).

Это достигается закалкой с последующим средним отпуском (300 – 400°С). Пружины изготавливают из сталей с повышенным содержанием углерода (0.5 - 0.7 %), часто с добавками марганца и кремния. Для особо ответственных пружин применяют сталь 50ХФ, содержащую хром и ванадий и обладающие наиболее высокими упругими свойствами.

Часто пружины изготавливают из шлифованной холоднотянутой проволоки (*серебрянки*). Наклеп от холодной протяжки создает высокую твердость и упругость. (У7, У8, У9, У10)

Для повышения предела упругости пружины после навивки отпускают для сня-

тия внутренних напряжений (250–350°С).

Стойкость пружин, испытывающих знакопеременные нагрузки, повышают обработкой (обдувкой) поверхности детали дробью - поверхностный наклеп. Режимы термической обработки приведены в табл. 8.

Таблица.8.

Режим термической обработки пружин и рессор.

Марка стали	Т, С закалки	Среда закалки	Т, С отпуска	НВ
50С2	870	Масло или вода	460	365-410
60С2	870	Масло	460	390-480
50ХФА	850		520	390-480
60С2Х2	870		420	420-475

Для особых условий работы упругих элементов применяют сплавы специального назначения.

К ним относят следующие группы:

- **коррозионностойкие** (ГОСТ 5632 - 72) стали - 20Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, аустенитные сплавы, упрочняемые дисперсионным твердением (ГОСТ 10994 - 74): 36ХНТЮ, 36ХНТЮ8М;

- **немагнитные**: 17Х18Н9, 37Х12Н8Г8МФБ стали и в редких случаях сплавы: 36ХНТЮ, 36ХНТЮ8М,

- **с низким температурным коэффициентом модуля упругости** (сплавы обеспечивающие повышенную точность работы упругих элементов). Это ферромагнитные сплавы на железоникельхромовой основе: 42НХТЮ, 42НХТЮА, 44НХТЮ (ГОСТ 10994-74),

- **высокоэлектропроводные пружинные сплавы**. К ним относят сплавы на основе меди - бронзы.

Жаропрочные стали и сплавы.

Различают жаростойкие и жаропрочные металлы и сплавы. Под жаростойкостью понимают способность сопротивляться окислению (окалиностойкость). Жаропрочными сталями с сплавами понимают материалы, обладающие повышенными механическими свойствами при повышенных температурах. В таких условиях прочность металла определяется двумя факторами - температурой и временем.

Для железа и его сплавов прочность при 200 – 300°С выше прочности при комнатной температуре, а пластичность и вязкость ниже.

Это явление носит название *синеломкости*.

Жаропрочные материалы классифицируют на:

- **жаропрочные перлитные и мартенситные стали** 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, подвергаемые длительному механическому воздействию 200000 ч при температуре не выше 500 – 600°С.

- **аустенитные стали**. Их применяют для изготовления клапанов двигателей, лопаток газовых турбин и других “горячих” деталей реактивных двигателей 600 – 700°С. Аустенитные стали легируют хромом, определяющим окалиностой-

кость, и никелем, обеспечивающим устойчивость аустенита.

- **никелевые и кобальтовые жаропрочные сплавы.** В случаях особых требований жаропрочности применяют преимущественно гомогенные (*нихромы и инконели*) и стареющие (*нимоники*) сплавы. Нимоники представляют собой четверной сплав Ni (ост.)- Cr (20%) - Ti (2 %) - Al (1%).

Коррозионностойкие стали.

Поверхностное разрушение металла под действием внешней среды называется *коррозией*. Введение в сталь >12% Cr скачкообразно придает ей коррозионную стойкость. (Рис. 44).

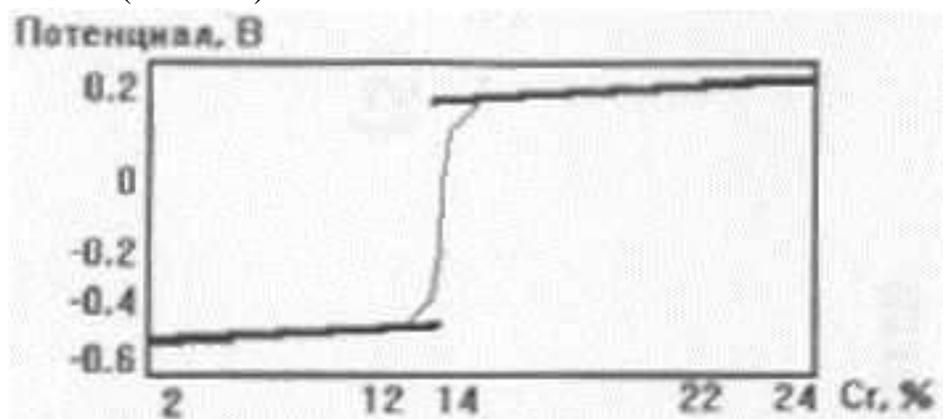


Рисунок. 44. Потенциал железохромистых сплавов.

Сплавы, содержащие менее 12 % Cr, практически столь же подвержены коррозии, как и простое железо. Сплавы, содержащие более 12 % Cr, ведут себя как благородные металлы (Au, Pt и т.п.), обладая положительным потенциалом, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей.

Коррозионно стойкие стали разделяют на:

- **хромистые стали.** Они применяются трех типов: с 3, 17 и 27 % Cr. В зависимости от состава принадлежат к ферритному, мартенситно - ферритному и мартенситному классам.

Стали типа X13 применяются для бытовых назначений и в технике (лопатки гидро турбин, лопатки паровых турбин).

Стали с низким содержанием углерода (087X13, 20X13) пластичны, из них штампуют детали.

Стали 20X13 и 40X13 обладают высокой твердостью и повышенной прочностью.

Стали с 17 % Cr обладают более высокой коррозионной стойкостью. Их можно применять как жаростойкие до 900°C. Присадка к ним Ni приводит к появлению $\alpha - \gamma$ превращения, протекающего не до конца, но дающего заметное упрочнение (сталь X17H2 является высокопрочной).

Стали с 25 - 28 % Cr применяются для деталей печей (муфели, чехлы термопар, реторты) при 1050 – 1100°C. Хромистые стали при определенных нагревах (450 и 700°C) чувствительны к охрупчиванию. Оно устранимо, если в стали менее 0.005% углерода. Такие стали называют *суперферритами*. -

-**хромоникелевые стали.** Введение достаточного количества никеля в 18%

хромистую сталь делает ее аустенитной, что обеспечивает лучшие механические свойства, меньшую склонность к росту зерна, а также более коррозионностойкой и не хладоломкой. Наибольшее распространение получили стали состава 18% Cr : 10% Ni. По структуре хромоникелевые стали делятся на:

- аустенитные стали с устойчивым аустенитом (12X18H10, 04X18H10, 17X18H9);
- аустенитно - мартенситные стали (возможно образование мартенсита при охлаждении на воздухе или при обработке холодом или при пластической деформации) (08X15H8Ю),
- аустенито - ферритные стали, здесь аустенит может быть устойчивым и неустойчивым (08X22H6Т, 12X22H5Т, 08X21H6M2Т).

В аустенитных сталях происходит выделение карбидов, что в неблагоприятных случаях может приводить к появлению *межкристаллитной коррозии*. Аустенитные стали также склонны к так называемой *коррозии под напряжением*. (На поверхности образца, находящегося под нагрузкой в коррозионной среде и имеющего внутренние остаточные напряжения образуются тонкие трещины, проходящие по телу зерна).

Сохранение высоких антикоррозионных свойств достигают соблюдением режима термообработки. Для аустенитных (и аустенитно - ферритных) сталей ТО - закалка в воду от 1050-1100°C, для аустенитно - мартенситных - требуется дополнительная обработка холодом для перевода остаточного аустенита в мартенсит и последующий отпуск для дисперсионного твердения в α - фазе.

Для работы при низких отрицательных температурах применяют *криогенные стали и сплавы (до 5°K)*, одновременно являющиеся коррозионностойкими (аустенитные). Здесь наибольшее распространение получили марки сталей: 12X18H10, 12X18H20, 12X13AG19.

8.2. Магнитные стали и сплавы. Электротехнические сплавы.

Магнитные стали и сплавы разделяются на две группы: **магнитнотвердые** и **магнитномягкие**. Первые характеризуются большим значением коэрцитивной силы (H_c) и применяются для постоянных магнитов, вторые обладают низким значением H_c и малыми потерями на гистерезис (перемагничивание), применяются для сердечников трансформаторов и магнитопроводов. Природу магнитных явлений объясняет *теория доменов*.

Магнитнотвердые стали и сплавы разделяют:

- углеродистые стали. У10 - У12, которые после закалки имеют $H_c = 60 \dots 65$ Э.
- хромистые стали. (1 % C и 1.5 ... 3 % Cr). Приблизительно те же свойства.
- кобальтовые стали (легированные дополнительно 15 % Co). $H_c = 100 \dots 170$ Э.
- сплавы Fe - Ni - Al (11 - 14 % Al, 22 - 34 % Ni, ост. Fe)- *альнико или ЮНДК*. $H_c = 400 \dots 500$ Э.

Сплавы альнико изготавливают методами порошковой металлургии. Высокие магнитные свойства получают, используя дисперсионнотвердеющие системы сплавов типа Fe - V - Co, Fe - Mo - Co. Однако кобальт и молибден являются остродефицитными металлами. Среди магнитных сталей широкое распространение получили марки EX3, EB6, EX5K5, EX9K15M2 ГОСТ 6862 - 71.

Магнитномягкие материалы разделяются на:

- техническое железо (очищенное от углерода и примесей). $H_c = 0.01 \dots 1 \text{ Э}$.
- электротехническая сталь. Здесь высокая магнитная проницаемость и низкая H_c обеспечена легированием Si до 3% и специальной прокаткой и рекристаллизационными отжигами, позволяющими получить крупное ферритное зерно. Прокатка т.ж. создает текстуру (ориентирует зерна в направлении максимальной магнитной проницаемости). Текстурированная сталь называется трансформаторной, а нетекстурированная - динамной.

В динамной стали нет анизотропии свойств и ее применяют для изготовления деталей электродвигателей переменного тока. Марки электротехнических сталей Э11, Э12 .. Э1200 ГОСТ 21473 - 75.

Первая цифра - содержание кремния, вторая уровень электротехнических свойств, "00" - холоднокатанная слаботекстурированная.

- **железоникелевые сплавы (пермаллои)** Ni около 78.5 %. Они имеют исключительно высокую начальную магнитную проницаемость, в 10 раз больше чистого Fe, что позволяет их использовать для работы в очень слабых магнитных полях (радио, телеметрия и т.п.).

Магнитомягкие материалы изготавливаются преимущественно порошковой металлургией.

Электротехнические сплавы.

Кроме магнитных материалов в технике применяют **электротехнические сплавы**. Они разделяются на сплавы с минимальным (проводники) и максимальным удельным электрическим сопротивлением (реостатные).

Для проводников применяют чистые медь (бескислородные марки М0, М1 ГОСТ 859 - 78) и алюминий (техническая чистота А1 ... А6 ГОСТ 11069 - 74). Для особых случаев серебро или золото, как правило, в виде покрытия на проводниках из меди.

Для изготовления сплавов с высоким омическим сопротивлением используют системы сплавов, образующих твердые растворы. Обычно это нихромы Х20Н80, Х15Н60 и фехраль Х13Ю4.

8.3. Инструментальные материалы.

Вообще инструментальными материалами называют класс материалов, который по своим физико - механическим свойствам (прочность, твердость, износостойкость, рабочая температура и т.п.) превосходит другие материалы, что позволяет их применять для обработки других (в первую очередь резанием и давлением).

Для режущего инструмента является характерным сохранение режущей кромки в течение длительного времени. У режущего инструмента работает на износ тонкая полоска металла при значительных давлениях. Она должна иметь высокую твердость (выше 60 HRC) и сохранять ее при длительном нагреве (*краснотойкость или теплостойкость стали*)

Для измерительного инструмента также характерна высокая твердость и есть требования по стабильности размеров во времени и при изменении температуры.

Штампы испытывают значительные тепловые и ударные нагрузки, распределенные как в кромках, так и в поверхности. Здесь важны вязкость и наилучшее

сочетание ее с твердостью.

В особую группы входят **твердые сплавы**, работающие при максимальных скоростях резания и специфических давлениях обработки материалов, кроме того к ним принадлежат **сверхтвердые материалы** (алмазы, нитрид бора кубической модификации и т.п.).

Углеродистые и легированные стали.

Углеродистые инструментальные стали применяются для изготовления инструмента некрупных сечений: плашки развертки, зубила, матрицы для холодной штамповки.

К таким сталям принадлежат марки У7 ... У12 ГОСТ 1435 - 74, Х05, Х06, 65ХФ, 85ХФ ГОСТ 5950 - 73. Для такого инструмента выполняются правила: чем выше твердость (больше углерода, низкий отпуск), тем выше износостойчивость, но меньше прочность.

К легированным инструментальным сталям повышенной прокаливаемости принадлежат стали, содержащие легирующие элементы в количестве 1 - 3 % и поэтому обладающие повышенной прокаливаемостью.

В отличие от первой группы инструмент из таких сталей закалывают в масле или соли насквозь.

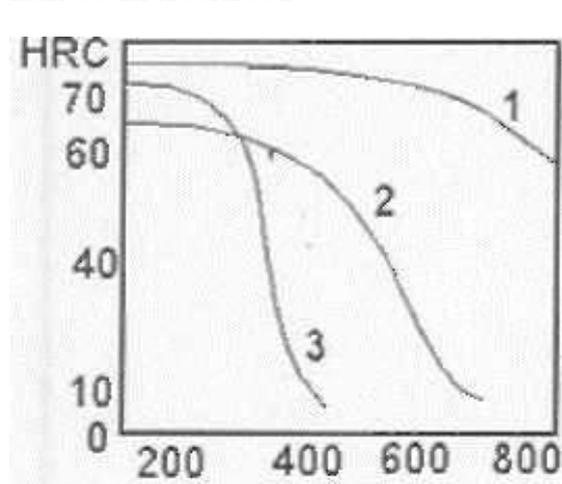


Рисунок. 45.

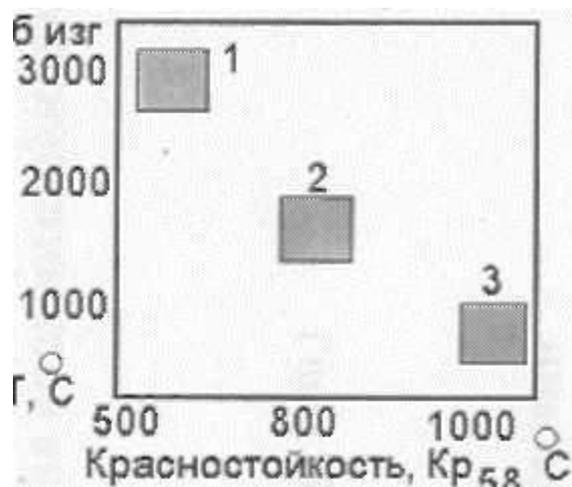


Рисунок. 46.

Рис. 45. Твердость инструментальных материалов в нагретом состоянии: 1 - твердый сплав, 2 - быстрорежущая сталь, 3 - углеродистая сталь.

Рис. 46. Прочность и красностойкость инструментальных материалов: 1 – быстрорежущая сталь; 2 - твердый сплав; 3 - минералокерамика.

Инструментальные легированные стали применяют для изготовления сложного по форме инструмента.

Быстрорежущие вольфрамсодержащие стали и их термическая обработка.

Быстрорежущая сталь (высокая скорость резания) должна обладать высокой горячей твердостью и красностойкостью, обратимой и необратимой твердостью. (рис. 45 и рис. 46).

Чем выше температура закалки (1200 - 1280°C), тем выше красностойкость. Быстрорежущие стали обозначают буквой "Р" - рапид (скорость).

ГОСТ 19265 - 73. Р6М5 (0.9 % С, 6 % W, 5 % Cr, 2 % V) Р9, Р18, РЗМЗФ2, Р6М5К5. В связи с дефицитностью вольфрама марка Р6М5 заменяется безволь-

фрамовыми сталями P0M5Ф1 (0.9 % С, 5 % Мо, 1.5 % V) и P0M2Ф3.

Основные недостатки быстрорежущих сталей - нафталинистый излом и карбидная ликвация.

Первый избегают, применяя предварительный высокотемпературный отжиг.

Второй - специальными приемами ковки, дробящими карбидную сетку. в быстрорежущих сталях изготовленных порошковой металлургией карбидная ликвация отсутствует.

Безвольфрамовые теплостойкие стали.

Безвольфрамовые теплостойкие стали нашли применение для изготовления разнообразных штампов.

Штамповые стали должны обладать сочетанием определенных свойств, например, жаропрочность, теплостойкость, термостойкость, вязкость, прокаливаемость, отпускная хрупкость, слипаемость.

Для обработки давлением при относительно невысоком нагреве (накатные плашки, ролики, фильеры для волочения и др.) применяют высокохромистые стали (12% Cr при 1 - 1.5 % C), что приводит к образованию большого числа карбидов Cr₇C₃.

Эти стали обладают высокой износостойкостью, повышенной теплопроводностью, малой деформируемостью при термической обработке и некоторыми другими особыми свойствами.

Твердые сплавы. Твердые сплавы ВК, ТК, ТТК, ТН и др.

Для скоростного резания металлов применяют инструмент, оснащенный твердым сплавом (ТС).

ТС изготавливают в виде пластин различного профиля и сечения методами порошковой металлургии.

Для этого используют смеси порошков карбида вольфрама и кобальта, которые прессуют в формах, а затем спекают в водороде до получения компактного изделия.

Готовые пластины соединяют пайкой с державкой режущего инструмента. Твердость ТС достигает 92 HRA.

ТС по химическому составу разделяют на вольфрамовые, титановольфрамовые, титановые и танталовольфрамовые карбидовые сплавы.

Введение титана и других элементов обусловлено стремлением сократить дефицит вольфрама. Введение металла связи - кобальта в ТС повышает сопротивление изгибу, но снижает твердость.

ТС применяются не только для изготовления режущих пластин, но и для деталей вырубных и высадочных штампов (BK8), элементов пресс - форм порошковой металлургии.

Свойства твердых сплавов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Гарантируемые свойства твердых сплавов.

Марка	WC	TiC	Co	Сопротивление изгибу, Мпа	Плотность, г/см ³	Твердость HRA
BK2	98		2	1000	15.0 - 15.4	90

T5K10	85	5	10	1150	12.3 - 13.2	88.5
T30K6	66	30	4	90	9.5 -9.8	92

Сверхтвердые материалы (алмазы и др.).

В промышленности применяют инструменты из таких твердых веществ, как алмаз, нитрид бора, окись алюминия и нитрид кремния, в монокристаллической форме или в виде порошков и спеков порошков, в качестве лезвийного инструмента, шлифовальных кругов, суспензий и паст и др.

Алмазы применяются в монокристалльной форме для изготовления фильер волочения тонкой проволоки и резцов, пил скоростной обработки цветных металлов, пластмасс, минералов и полупроводников.

В виде порошков алмазы используются как абразивный наполнитель в спеченных порошковых материалах с металлической матрицей из бронзы, латуни, мельхиора для изготовления сверхтонких отрезных кругов.

Режущий инструмент на основе **нитрида бора** кубической модификации обычно получают из поликристаллических спеков (эльбор - Р) в виде пластин разнообразного профиля. Эльбор - Р в ряде случаев успешно заменяет твердый сплав и минералокерамику, особенно при точении чугуна и стали.

Гексанит – Р на основе нитрида бора является самым износостойким материалом, хотя уступает эльбору при непрерывном точении особо твердых закаленных сталей.

Инструментальная минералокерамика является материал на основе оксида алюминия.

Повышение режущих свойств минералокерамики достигается введением в их структуру твердых соединений.

Широко применяют марки ВОК - 3 или В - 3. В состав последней входит **карбид титана**. Материал имеет твердость $H_m = 30 - 33$ Гпа, $\sigma_{сж} = 1 - 1,8$ Гпа, $\sigma_{и} = 0,3 - 0,5$ Гпа, термостоек до 1500°C .

Минералокерамика всех видов имеет повышенную хрупкость и поэтому находит применение в условиях непрерывного чистового или получитового точения отбеленных чугунов.

Силинит - Р – минералокерамика на основе **нитрида кремния** (до 97 %) Применяется для обработки термически необработанных чугуна и стали в условиях непрерывного точения применяют Он имеет ту же твердость, но вдвое большую прочность при сжатии и растяжении чем В - 3.

Минералокерамика изготавливается порошковой металлургией. В качестве металла - связки используют железо, кобальт и тугоплавкие металлы.

Тема 9. Фазовые превращения в сплавах железо - углерод в твердом состоянии при нагеве и охлаждении.

При нагреве стали протекают следующие превращения:

1. Превращения перлита в аустенит, протекающие выше точки A_1 , выше температуры стабильного равновесия аустенит - перлит; при этих температурах из трех

основных структур минимальной свободной энергией обладает аустенит.



2. Превращение аустенита в перлит, протекающие ниже A_1 :



Превращение перлита в аустенит в полном соответствии с диаграммой состояния Fe - C может совершиться лишь при очень медленном нагреве. При реальном нагреве превращение запаздывает, превращение происходит лишь при температурах перегрева (несколько более высоких, чем на диаграмме Fe - C).

Перенагретый выше критической точки перлит с различной скоростью в зависимости от степени перенагрева превращается в аустенит.

Процесс превращения перлита в аустенит изображен графически на рис. 47.

Расположение кривых показывает, что чем выше температура, тем быстрее (т.е. за меньший отрезок времени) протекает превращение. Луч соответствует нагреву стали с какой-то определенной скоростью V_2 . Он пересекает линии начала и конца превращения в точках a'' и b'' . Следовательно, при непрерывном нагреве со скоростью V_2 фиксируется превращение, протекающие в интервале температур от точки a'' до точки b'' .

Если нагрев был более медленным, то луч V_1 пересекает кривые превращения при более низких температурах (точка a' и b') и превращение произойдет тоже при более низких температурах.



Рисунок. 47. Превращение перлита в аустенит при постоянной температуре для стали, содержащей 0.86 % C.

Кривые конца и начала превращения, асимптотически приближаясь к горизонтальной A_1 пересекут ее в бесконечности.

Нагрев с бесконечно малой скоростью пересечет горизонталь A_1 в бесконечности, что соответствует превращению по диаграмме Fe - Fe₃C.

Реально существует интервал температур и времени перехода $\text{П} \rightarrow \text{А}$. Окончание превращения соответствует исчезновению перлита и образованию аустенита. Образовавшийся аустенит неоднороден в объеме зерна. В пластинках или зернах перлитного цементита содержание углерода больше, чем в феррите, из-за этого аустенит неоднороден.

Рост зерна аустенита. Мелкозернистые и крупнозернистые стали.

Схема изменения размера зерна перлита при нагреве представлена на рис. 48.

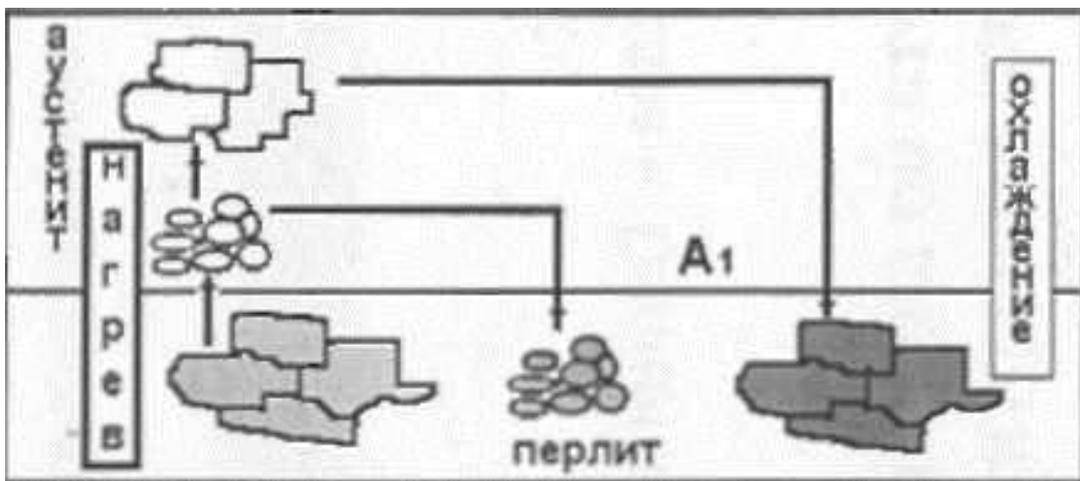


Рисунок. 48.. Схема изменения размера зерна перлита в зависимости от нагрева в аустенитной области

Первые зерна образуются на границе между ферритом и цементитом – структурными составляющими перлита. В 1 см. кв. площади граница между ферритом и цементитом составляет несколько м. кв., из-за чего превращение начинается с образования множества зерен и образуется большое число малых зерен аустенита. Размер этих зерен характеризует так называемую величину *н а ч а л ь н о г о* зерна аустенита.

Дальнейший нагрев (или выдержка) по окончании превращения вызывает рост аустенитных зерен. Рост зерна - самопроизвольный процесс. Различают два типа сталей: *наследственно мелкозернистую* и *наследственно крупнозернистую*; первая характеризуется малой скоростью к росту зерна, вторая повышенной склонностью.

Переход через критическую точку A_1 сопровождается резким уменьшением зерна. При дальнейшем нагреве зерно из мелкозернистой стали не растет до $950 - 1000^{\circ}\text{C}$, после чего устраняются факторы, препятствующие росту, и зерно начинает быстро расти.

У крупно зернистой стали рост начинается после перехода через критическую точку. Размеры перлитных зерен тем больше, чем крупнее зерна аустенита. Последующие охлаждение не измельчает размер зерен.

Различают три типа зерна стали: *н а ч а л ь н о е* зерно, размер зерна аустенита в момент окончания перлитно - аустенитного превращения; *н а с л е д с т в е н н о е* зерно (природное) зерно - склонность аустенитных зерен к росту; *д е й с т в и т е л ь н о е* зерно - размер зерна аустенита в данных конкретных условиях.

Сталь раскисленная только ферромарганцем (кипящая сталь) или ферромарганцем и ферросилицием наследственно крупнозернистая сталь, а сталь, дополнительно раскисленная алюминием, - мелкозернистая.

Понятия о превращениях в переохлажденном аустените (перлитное, бейнитное, мартенситное). Метастабильные структуры.

Распад аустенита при охлаждении стали сопровождается двумя процессами: снижением температуры (увеличение переохлаждения), с одной стороны, увеличи-

вают разность свободных энергий аустенита и перлита, что ускоряет превращение, а с другой стороны, уменьшает скорость диффузии углерода D , а это замедляет превращение.

При высокой скорости охлаждения становится возможным бездиффузионное превращение аустенита в ферритоподобную структуру с содержанием углерода наследуемым из аустенита.

Такое превращение получило название мартенсита. Протекает в металлических сплавах с полиморфными превращениями.

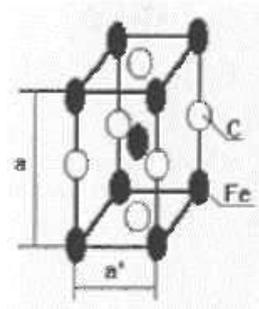


Рис. 49.

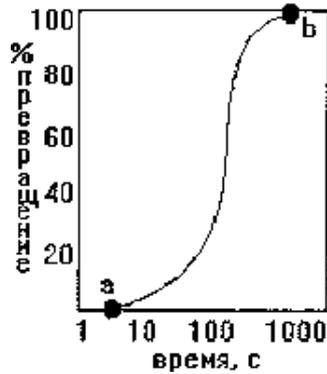


Рис. 50.

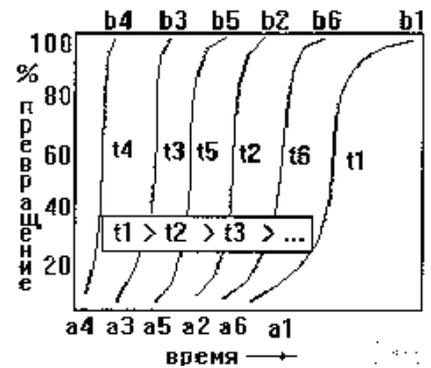


Рис. 51.

Рисунок. 49. Ячейка мартенсита. Рисунок. 50. Кинетическая кривая превращения перлита в аустенит. Рисунок. 51. Кинетические кривые превращения аустенита в перлит при различных температурах.

На рис. 49. показана кристаллическая ячейка мартенсита. Мартенсит это пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе. Решетка мартенсита тетрагональная. Увеличение содержания углерода увеличивает тетрагональность, степень искажения решетки и твердость мартенсита. Последний имеет пластинчатое строение, однако при исследовании шлифов они воспринимаются как иглы из-за высокой дисперсности строения. Мартенситное превращение носит с д в и г о в о й характер.

Процесс образования перлита - это процесс зарождения центров перлита и роста перлитных кристаллов. Для этого нужны надлежащие физические условия: Процесс происходит во времени и может быть изображен в виде так называемой кинетической кривой превращения, показывающей количество образовавшегося перлита за время превращения (Рис. 50).

Точка a на кривой показывает момент, когда обнаруживается начало превращения, а точка b - завершение превращения. На положение кривых оказывает влияние степени переохлаждения. Рис. 51.

При высокой температуре t_1 (малая степень переохлаждения) превращение развивается медленно и продолжительность инкубационного периода и время превращения сокращаются.

Максимум скорости превращения соответствует температуре t_4 , дальнейшее снижение температуры приведет уже к уменьшению скорости превращения.

Кинетические кривые превращения аустенита в перлит полученные для разных температур используются для построения диаграмм изотермического превращения аустенита.

Диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустени-

та.

Если точки а и в кинетических кривых превращения $A \rightarrow П$ расположить по вертикали по мере снижения температуры, то получим диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита.

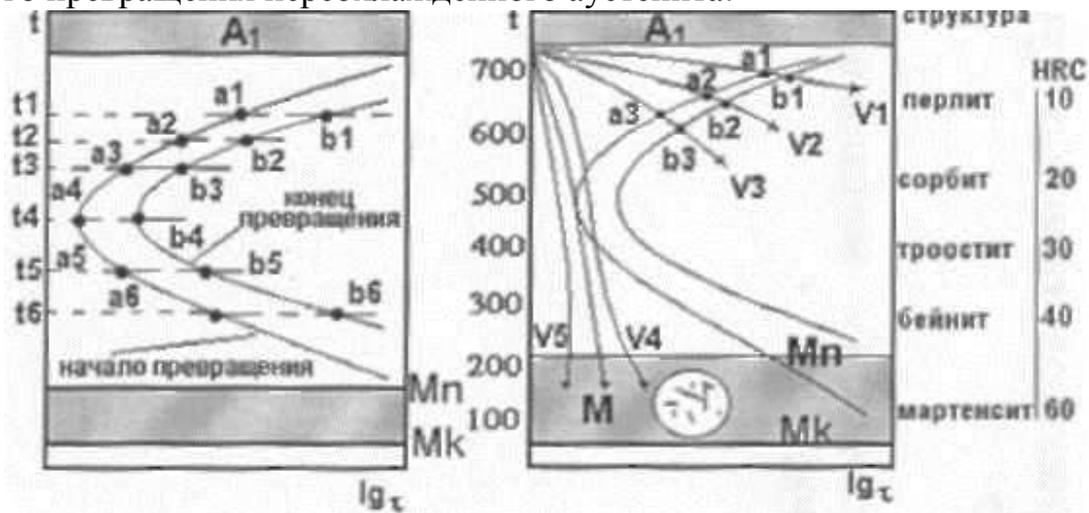


Рисунок. 52. Диаграмма изотермического превращения аустенита.

На рис. 52. показано время превращения аустенита в перлит в зависимости от степени переохлаждения. Превращение переохлажденного аустенита при постоянной температуре, поэтому такие диаграммы называют диаграммами изотермического превращения аустенита. Кривые на диаграмме имеют вид буквы С, поэтому называются С-образными.

При высоких температурах (при малой степени переохлаждения) получается грубая смесь феррита и цементита - перлит. При увеличении степени переохлаждения дисперсность структур возрастает. Более тонкого строения перлит получил название сорбит.

При температуре, приблизительно совпадающей с С-образной кривой, дисперсность продуктов возрастает настолько, что их нельзя дифференцировать под микроскопом, но пластинчатое строение выявляется электронными средствами. Такая структура называется троостит.

Образующаяся ниже изгиба С-образной кривой и до начала мартенситного превращения игольчатая структура получила название бейнита. По имени ученого Э. Бейна. Особенностью бейнитного превращения является то, что оно протекает в интервале температур, когда возможна только диффузия углерода. (От $T=200$ до $T=450^{\circ}\text{C}$).

Бейнитное превращение еще называют промежуточным. Вначале аустенит обедняется из-за выделения карбида углерода и при достижении необходимого обеднения происходит мартенситная реакция. Чем выше температура изотермической выдержки, тем больше обеднение аустенита, тем менее углеродистый аустенит переходит в мартенсит, теряя типичные черты мартенсита.

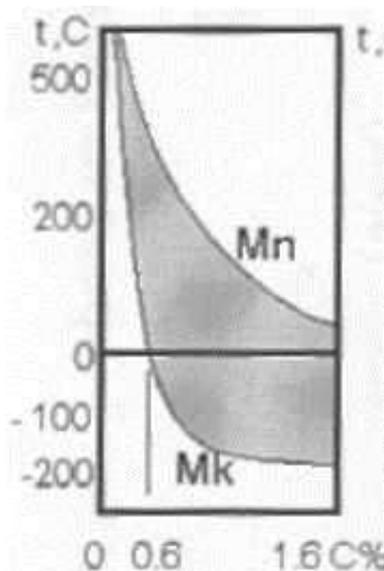


Рисунок. 53. Влияние содержания углерода на мартенситные точки стали.

Минимальная скорость охлаждения, необходимая, для переохлаждения аустенита до мартенситного превращения, называется *критической скоростью закали*. Точка Mn - начало, а точка Mk - конец мартенситного превращения. На положение Mn и Mk влияет содержание углерода. (Рис. 53.). Для сталей, у которых температура мартенситного превращения, ниже 0°C , проводят обработку холодом.

Тема 10.Технология термической обработки стали.

10.1. Виды и назначение термической обработки материалов. Обычная термическая обработка состоит из трех основных этапов: нагрева, изотермической выдержки и охлаждения.

В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения различают следующие основные виды термической обработки: отжиг, закалку, отпуск и старение (рис. 54.).

Фазовый состав формируется при охлаждении с заданной скоростью. Нагрев также производится с заданной температурой.

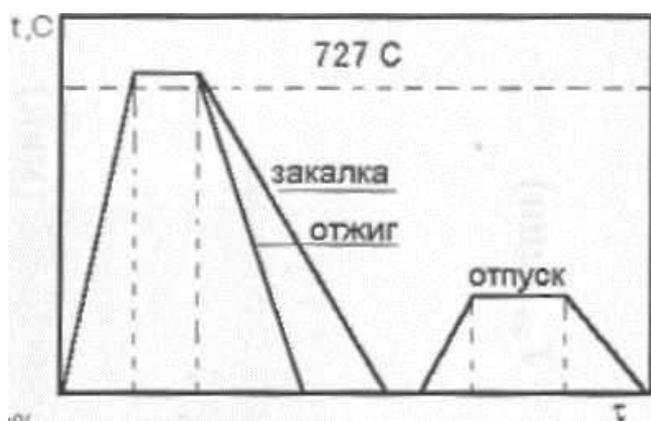


Рисунок. 54. Виды термической обработки стали.

Назначение термической обработки.

Технология термической обработки стали основана на использовании процессов фазовых превращений в стали при нагреве и охлаждении, взаимодействии со средой обработки для изменения комплекса физико - механических свойств-

машиностроительной детали, с целью улучшения их по сечению и в поверхности изделия.

Технология термической обработки стали (сокращенно ТО) опирается на параметры: время или скорость нагрева, выдержки, охлаждения, температура процесса, цикличность и среда проведения ТО.

Современная ТО применяет специальное оборудование, осуществляющие указанные процессы: печи различной конструкции (электropечи, газопламенные, элеваторные, конвейерные, шахтные и т.п.), закалочные баки, соляные ванны и многое другое.

К видам ТО принадлежат: закалка - объемная, поверхностная, местная, отжиг - нормализационный, гомогенизирующий, рекристаллизационный и д.р., улучшение, химико - термическая обработка, закалка ТВЧ, лазерным нагревом, электроимпульсным полем, термообработка в процессе пластического деформирования, обработка холодом и т.п..

Полный и нормализационный отжиг. Отжиг на зернистый перлит.

Отжиг - термическая обработка, при которой сталь нагревается выше A_{c3} (или только выше A_{c1} - неполный отжиг) с последующим медленным охлаждением.

Нагрев выше A_{c3} обеспечивает полную перекристаллизацию стали. Охлаждение происходит вместе с печью. Медленное охлаждение при отжиге приводит к распаду аустенита и создает перлитные структуры.

Нормализация - разновидность отжига, производимого на спокойном воздухе, дающем ускоренное охлаждение от верхнего района температур. Нормализация более экономичная операция.

Основные задачи отжига: перекристаллизация стали и устранение внутренних напряжений или исправление структуры.

Обе эти задачи выполняются обычным полным отжигом.

Гомогенизирующий или диффузионный отжиг. Применяется для устранения дендритной неоднородности литой стали.

В результате высокого нагрева и длительной выдержки наблюдается сильный рост зерна (крупнозернистая структура), для исправления которой применяют последующий обычный отжиг.

Неполный отжиг приводит к перекристаллизации только перлитной составляющей структуры.

Неполный отжиг заэвтектоидной стали также называют сфероидизацией. Для получения зернистого перлита нагрев должен не намного превосходить A_{c1} , в противном случае получается пластинчатый перлит.

Зернистая структура обеспечивает лучшую обрабатываемость режущим инструментом и малую склонность к перегреву при закалке стали.

Изотермический отжиг применяют для сокращения времени отжига и повышения качества отожженной стали. Здесь нагретая выше A_{c1} сталь охлаждается быстро до температуры на 100 град. С ниже A_{c1} и при этой температуре выдерживается для протекания фазового превращения $A \rightarrow П$, затем сталь произвольно охлаждают.

Закалка стали.

З а к а л к а - термическая операция, состоящая в нагреве закаленного сплава выше температуры превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением для получения структурно неустойчивого состояния сплава.

Для сталей различают закалку до - и заэвтектоидных сталей.

В структуре закаленной стали преобладает мартенсит. Мартенсит имеет высокую твердость и низкую вязкость, как конструкционный материал не употребляется.

Для доэвтектоидных сталей температура закалки должна быть на 30 - 50 град. выше A_{c3} , а для заэвтектоидных - на 30 - 50 град. выше A_{c1} .

При закалке доэвтектоидной стали с температуры выше A_{c1} , но ниже A_{c3} в структуре наряду с мартенситом сохраняется часть феррита, который снижает твердость в закаленном состоянии и ухудшает механические свойства после отпуска. Такая закалка называется неполной.

Для заэвтектоидных сталей оптимальная температура закалки лежит в интервале между A_{c1} и A_{c3} и теоретически является неполной. Здесь наряду с мартенситом закалки сохраняется часть оставшегося цементита, наличие которого полезно.

Нагрев выше A_{c3} приводит к вредным перегреву и обезуглероживанию стали.

Закалка бывает объемной (под закалку нагревают насквозь все изделие) и поверхностной (осуществляют местный, чаще поверхностный нагрев).

Способы объемной закалки.

В зависимости от состава стали, формы и размеров детали и требуемых в термически обработанном состоянии свойств выбирают оптимальный способ закалки, наиболее просто осуществимый и одновременно обеспечивающий нужные свойства.

1. Закалка в одном охладителе. (рис. 55., кривая 1) - здесь нагретую деталь погружают в жидкость, где она остается до полного охлаждения. Способ применяется для геометрически простых деталей из углеродистых и легированных сталей. Охладитель - вода и масло.

2. Прерывистая закалка, или закалка в двух средах. (рис. 55, кривая 2)

Деталь сначала охлаждается в быстро охлаждающей среде, а затем в медленно охлаждающей (Вода и масло).

В мартенситном интервале сталь охлаждается медленно, что способствует уменьшению внутренних напряжений.

3. Струйная закалка - заключается в обрызгивании детали интенсивной струей воды. Обычно применяют, когда нужно закалить часть детали. При этом способе не образуется паровая рубашка, что дает более глубокую прокаливаемость.

4. Закалка с самоотпуском. В обычных закалке и отпуске свойства по сечению детали одинаковы. Для создания требуемого распределения твердости закалывают лишь часть детали, а аккумулированное тепло неохлажденной части приводит отпуск.

Такой способ применяют, например, для слесарного инструмента Зубила, молотки, наковальни и т.п.). Распределение твердости достигают, регулируя закалку

по цветам побежалости.

5. Ступенчатая закалка. (Рис. 55., кривая 3) Деталь охлаждают в среде, имеющей температуру выше мартенситной точки. Делают выдержку для выравнивания температуры по сечению. Затем проводят медленное охлаждение, обеспечивающие мартенситное превращение. Разбивка на две ступени уменьшает напряжения первого рода, снижает закалочную деформацию. Применяется для крупных изделий.

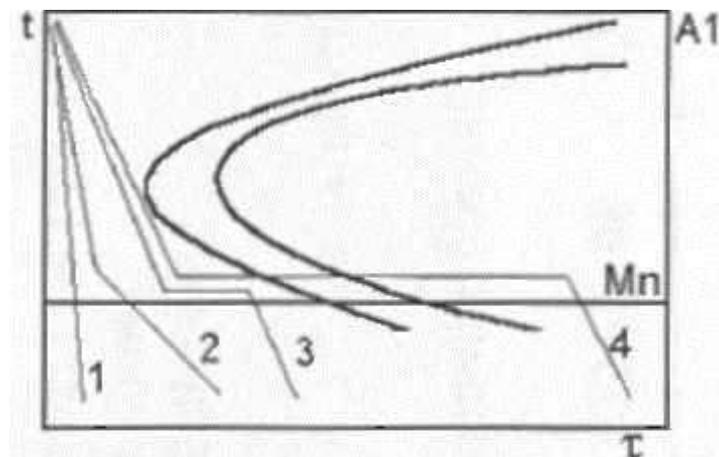


Рисунок. 55. Кривые охлаждения для различных способов закалки, нанесенные на диаграмму изотермического распада аустенита.

6. Изотермическая закалка. (Рис. 55.2., кривая 4) Здесь сталь выдерживается при температуре или в среде, обеспечивающих полное изотермическое превращение аустенита. Обычно 200 - 250°C. Образующаяся структура - бейнит.

Влияние термообработки на механические свойства.

В результате термической обработки существенно изменяются свойства стали. Наибольшее значение имеют механические свойства.

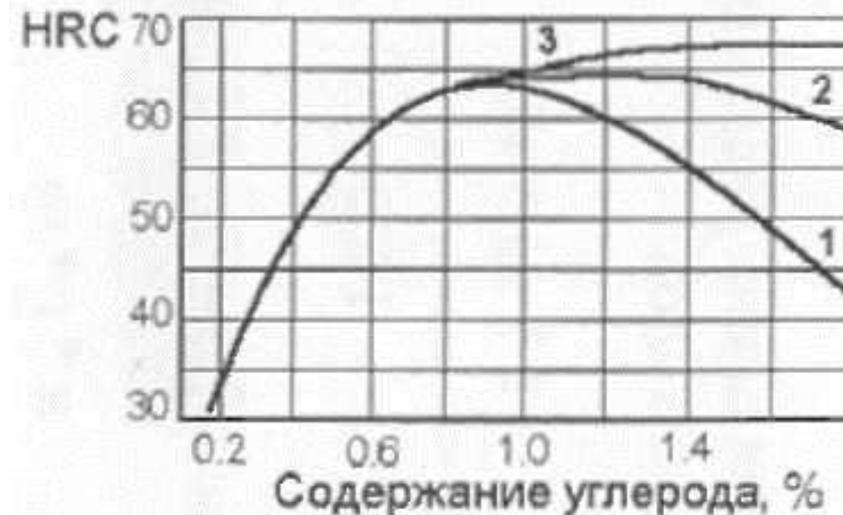


Рисунок. 56. Твердость стали в зависимости от содержания углерода и температуры закалки: 1 - нагрев выше A_{c3} , 2 - нагрев только выше A_{c1} , 3 – микротвердость мартенсита.

Большинство стальных изделий машиностроения подвергается нормализации или закалке с высоким и средним отпуском

($t_{отп} > 400^{\circ}\text{C}$). В отожженном, нормализованном или отпущенном состоянии сталь состоит из пластинчатого феррита и включений карбидов. Феррит обладает низкой прочностью и высокой пластичностью, цементит при нулевых значениях пластичности имеет твердость около 800 НВ.

При малом числе твердых включений пластическая деформация развивается беспрепятственно.

Если после ТО частицы цементита измельчаются, тогда они начинают препятствовать движению дислокаций и сталь упрочняется. На твердость мартенсита оказывает влияние дисперсность его игольчатой структуры и содержание углерода. (Рис. 56.).

Прокаливаемость стали.

Под закаливаемостью понимают максимальное значение твердости, которую может приобрести данная сталь.

Под прокаливаемостью подразумевают глубину проникновения закаленной зоны. Несквозная прокаливаемость связана с тем, что деталь быстрее охлаждается с поверхности, чем с сердцевины (Рис. 57.).



Рисунок 57. Схемы, показывающие различную скорость охлаждения по сечению

Распределение скорости охлаждения показано на рис. 57., а.

С уменьшением критической скорости закалки увеличивается и глубина закаленного слоя, и если V_k будет меньше скорости охлаждения в центре, то сечение закалится насквозь. Если сечение велико и скорость на поверхности меньше V_k , то сталь не закалится даже на поверхности.

Для практической оценки прокаливаемости используют величину - критический диаметр, т.е. максимальный диаметр (размер) образца, который прокаливается насквозь в данном охладителе.

Чем лучше свойства охладителя тем больше $D_{кр}$. Чтобы не ставить прокаливаемость в зависимости от способа охлаждения применяют идеальный критический диаметр. Для его определения используют метод торцевой закалки.

Цилиндрический стальной образец, нагретый под закалку, охлаждается с торца струей воды.

Измерив твердость по длине, строят зависимость твердости от расстояния от закаленного торца.

В ГОСТах приведены кривые прокаливаемости на базе из 100 и более плавок

одной марки стали, указываются верхний и нижний пределы. (Рис. 58.). За границу между закаленной и незакаленной зонами понимают полумартенситный слой (50% мартенсита + .50% троостита). Прокаливаемость учитывают при выборе марки стали.



Рисунок 58. Кривая прокаливаемости стали.

Преобразования при нагреве закаленной стали.

Отпуск заключается в нагреве закаленной стали, структура которой состоит из тетрагонального мартенсита и остаточного аустенита, до температур ниже A_{c1} , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении.

Структура закаленной стали является нестабильной, при нагреве (отпуске) протекают процессы, приводящие к равновесному состоянию. Оно достигается диффузией углерода из мартенсита и аустенита (Рис. 59.). При нагреве закаленной стали протекают стадии: I – выделение углерода из мартенсита, II - распад остаточного аустенита, III - полный распад мартенсита, VI - превращения и изменения структуры продуктов распада. (перлита, цементита и феррита).

Виды и назначение отпуска.

Отпуск - это термическая обработка закаленной на мартенсит стали, заключающаяся в одно - или многократном нагреве не выше A_{c1} , выдержке и охлаждении, при котором происходит распад и рекристаллизация мартенсита.

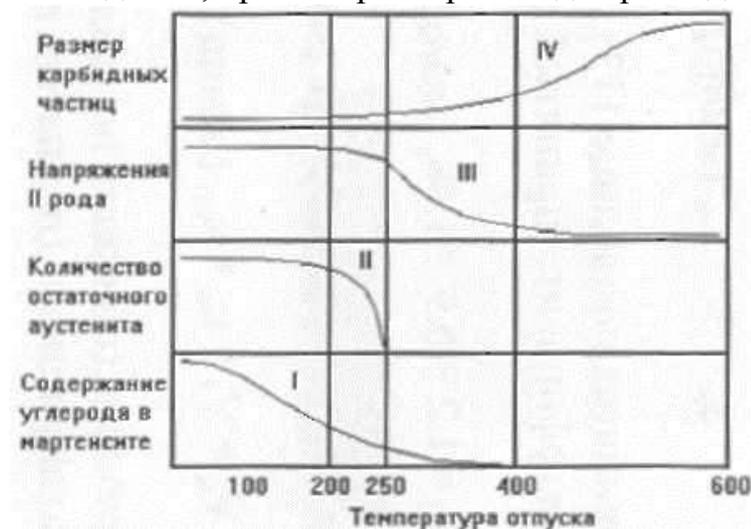


Рисунок. 59. Кривые процессов, совершающихся при отпуске.

Различают низкий отпуск (Он), средний отпуск (Ос), высокий отпуск (Ов).

После низкого отпуска при 120 - 250°C образуется *отпущенный мартенсит*, отличающийся большей травимостью. Он применяется для деталей с максималь-

ной твердостью, чаще применяется для инструмента

После среднего отпуска при 350 – 450°C образуется сильно травящаяся “игольчатая” структура *троостита отпуска*. Ос назначают для достижения максимального предела упругости (пружины).

Высокий отпуск при 450 - 650°C вызывает появление сорбита отпуска, имеющего точечное строение. Он создает наибольшую ударную вязкость, применяется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Недостатком ряда легированных конструкционных улучшаемых сталей является отпускная хрупкость (Рис. 60.).

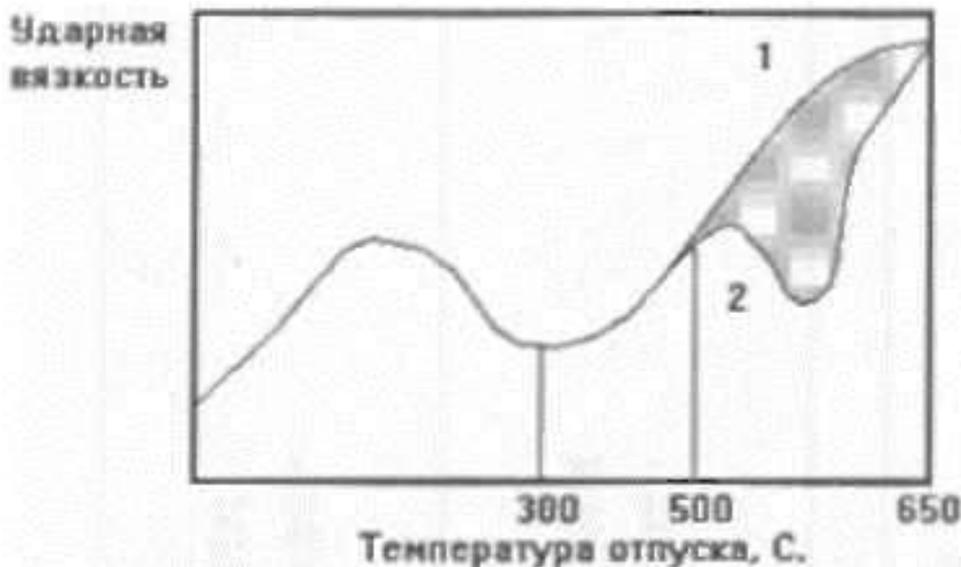


Рисунок 60. Влияние отпуска на ударную вязкость легированной стали (схема): 1 - быстрое охлаждение; 2 - медленное охлаждение.

При медленном охлаждении кривая имеет два минимума - для отпуска при 300°C и при 550°C. Это явление называют отпускной хрупкостью.

Отпускная хрупкость в районе 300 °C проявляется у всех сталей независимо от состава и скорости охлаждения при отпуске.

Падение ударной вязкости связано с распадом остаточного аустенита.

Отпускная хрупкость в районе 550°C проявляется в результате медленного охлаждения, при быстром - вязкость не уменьшается.

Поверхностная закалка стали.

Для получения большой твердости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает износостойчивость и одновременно высокую динамическую прочность, применяют поверхностную закалку или химико - термическую обработку.

Поверхностная закалка выгодно отличается от химико - термической обработки значительно меньшей продолжительностью процесса.

Все методы поверхностного упрочнения заключаются в нагреве только поверхностного слоя с последующей закалкой детали. Методы нагрева могут быть различными:

- в расплавленных металлах или солях
- пламенем ацетелено кислородной горелки (так называемая пламенная закалка),
- в электролитах,

- лучем лазера,
электротоком, индуцируемым в поверхностных слоях детали;

В этом случае ток высокой частоты индуцируется в поверхностных слоях закаливаемой детали (так называемая индукционная, или высокочастотная закалка).

Последний способ широко используют в машиностроении.

Сущность любого способа поверхностной заправки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагреваются выше критических точек и создается резкий градиент температур по сечению (Рис.61.)

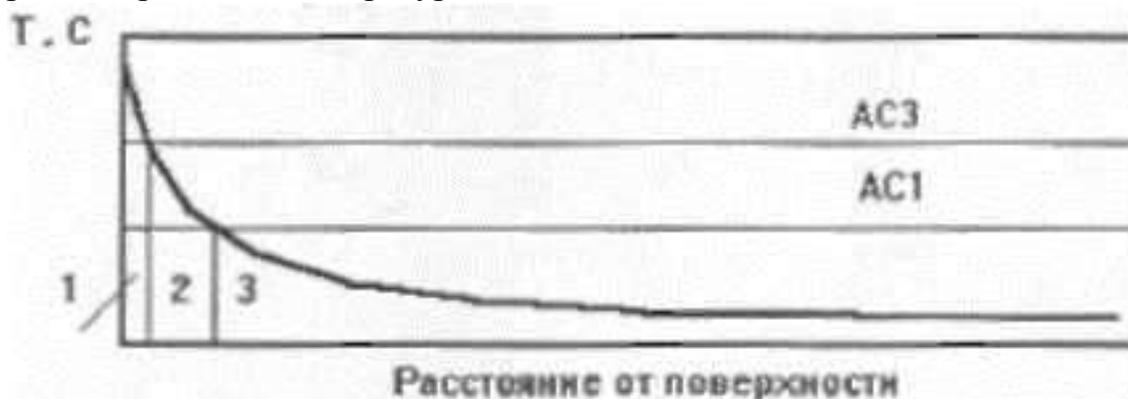


Рисунок. 61..Распределение температур по глубине при поверхностной заправке.

Если нагрев прервать и провести быстрое охлаждение, то слой металла нагретый выше A_{c3} (1), получит полную закалку: слой, нагретый выше A_{c1} , но ниже A_{c3} (2) - неполную закалку, а сердцевина (3) или вовсе не нагреется, или нагреется только ниже A_{c1} закалки не получит.

Нагрев поверхностных слоев значительно выше A_{c3} - явление обычное при всех способах заправки, однако это не обязательно приведет к перегреву и ухудшению структуры.

Чем больше скорость нагрева, тем при более высокой температуре происходят превращения и из-за кратковременности нагрева, в меньшей степени произойдет огрубление микроструктуры (рост зерна аустенита).

В практике термической обработки наибольшее распространение получила высокочастотная обработка поверхности. Здесь обычно стальная деталь помещается внутри индуктора, присоединенного к мощному высокочастотному генератору. Колебания электромагнитного поля в поверхности детали - проводника создает вихревые электротоки, которыми и нагревается, а поверхность.

Глубина поверхностной обработки зависит от мощности индуцируемого поля, удельного электросопротивления детали, магнитной проницаемости и частоты электроколебаний.

$$\delta = 5300 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

10.2.Химико - термическая обработка

Химико - термическая обработка - технологическая операция, состоящая в том, что деталь помещают в среду богатую элементом, который диффундирует в металл. В случае газового окружения (наиболее частый случай) при химико - термической обработке происходят три элементарных процесса: диссоциация, абсорб-

ция и диффузия.

Диффузия происходит движением насыщающего элемента по вакансиям и иным дефектам кристаллов.

При цементации происходит поверхностное насыщение стали углеродом, в результате чего получается высокоуглеродистый поверхностный слой. Так как для цементации берут низкоуглеродистую сталь, то сердцевина остается мягкой и вязкой, несмотря на то, что после цементации сталь подвергается закалке.

При твердой цементации детали запаковывают в ящик, наполненный карбюризатором - науглероживающим веществом. При газовой цементации герметически закрытая камера печи с размещаемыми в ней деталями наполнена цементирующим газом, или газ проходит через нее. Карбюризаторами является высокосортный древесный уголь, газом - CO.

Цементацию проводят значительно выше точки A_{c1} (так как α -железо не растворяет углерод), при 900 - 930°C, или даже при 950 - 970°C и выше.

Чем выше температура - тем больше содержание углерода в поверхностном слое, однако оно не превышает 1 %. Время цементации составляет десятки часов, а толщина диффузионного слоя обычно не превышает 2 мм.



Рисунок.62. Режимы термической обработки цементированных деталей.

Цементация в основном применяется в массовом производстве деталей машин. Ее проводят в толкательных электропечах непрерывного действия.

Структура поверхностного слоя состоит из нескольких зон. Поверхностная зона, в которой углерода содержание углерода больше 0.8 - 0.9 %, имеет структуру перлит + цементит; это так называемая заэвтектоидная зона;

Затем следует зона с содержанием углерода около 0.8 % - это эвтектоидная зона и, наконец, доэвтектоидная зона, содержащая углерода менее 0.7 %, плавно переходящая в структуру сердцевины.

Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая закалка, при которой на поверхности получается высокоуглеродистый мартенсит, а в сердцевине сохраняется низкая твердость и высокая вязкость(рис. 62.).

Обычно закалку проводят с цементационного нагрева.

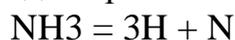
Если требуются повышенные механические свойства, охлаждение производят медленное и затем дается закалка с повторного нагрева или даже двойная закалка. В последнем случае требуется шлифовка "под размер" детали из-за изменения геометрии деталей, вызванной многочисленными фазовыми превращениями при нагревах.

В сердцевине цементированной детали из легированной глубокопрокаливающейся стали образуется мартенсит, который из-за низкого содержания С не обладает хрупкостью.

Азотирование. Нитроцементация стали.

Азотированием называют процесс насыщения стали азотом. По сравнению с цементацией, азотированный слой сам без какой-либо ТО приобретает высокую твердость, а размеры изделий после азотирования изменяются мало, что не требует шлифовки. *Азотирование - окончательная операция для деталей, прошедших ТО и шлифовку.*

Азотирование проводят при 500-600°C в среде диссоциированного аммиака:



Образующийся атомарный азот диффундирует в металл. С железом стали и ее легирующими элементами азот образует нитриды, резко повышающие твердость поверхности. В ходе процесса происходит последовательное образование насыщенных азотом слоев (рис. 63).

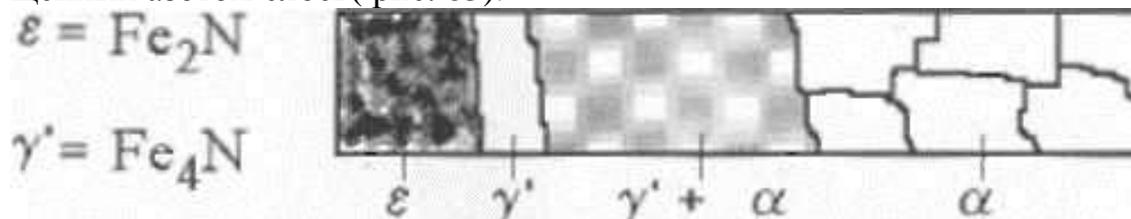


Рисунок 63. Строение азотированного слоя железа после медленного охлаждения от 650С.

Распределение азота имеет скачкообразный характер вследствие отсутствия переходных двухфазных слоев.

Азотирование применяют для повышения твердости, износоустойчивости, усталостной прочности, сопротивления коррозии.

Для массового производства автодеталей, подвергаемых цементации, разработаны специальные марки стали, легированные алюминием: 38ХМЮА, 38ХЮА. А - для азотирования.

Нитроцементация - одновременное насыщение поверхности стали азотом и углеродом в газообразной среде. Если процесс осуществляют в расплавах солей, содержащих цианистую группу - CN, тогда его называют цианированием. Нитроцементация позволяет несколько повысить и коррозионную стойкость, создать наибольшую твердость поверхности и совместить операцию с последующей закалкой.

10.3. Пластическая деформация. Термомеханическая обработка металлов. Сверхпластичность.

Под действием внешних сил металл изменяет свою форму. Это изменение состоит из двух частей: упругой или обратимой, исчезающей после снятия нагрузки, и необратимой, пластической, остающейся после снятия нагрузки.

При упругой деформации расстояние между атомами изменяется: увеличивается или уменьшается. После снятия нагрузки атомы возвращаются на прежние места.

При пластической деформации части кристалла перемещаются друг относительно друга необратимо, путем сдвигов или скольжений и двойникования.

Скольжение или сдвиги - параллельное смещение тонких слоев металла и одновременно поворот их.

Двойникование - смещение атомов, расположенных в плоскостях, параллельных плоскости двойникования, на расстояние пропорциональное расстоянию этих плоскостей от плоскости двойникования (Рис. 64).

Холодная пластическая деформация упрочняет металл. Это явление называют наклепом или нагартовкой. При этом изменяется структура и свойства. Зерна деформируются и смещаются друг относительно друга. Объем зерен разбивается поверхностями скольжений и двойникования на отдельные части

. На полированной поверхности металла и на микрошлифах видны часто линии сдвигов. Зерно таким образом измельчается.

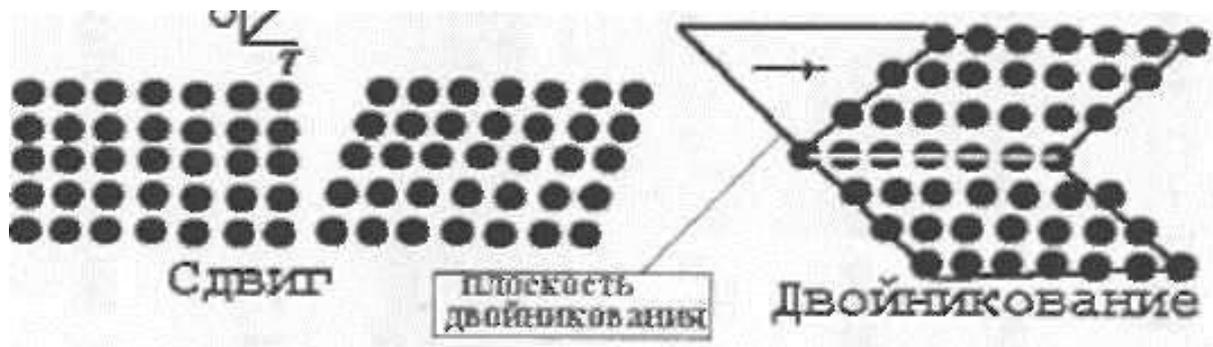


Рисунок. 64. Схемы сдвига и двойникования.

Появляется текстура: ориентировка зерен по направлению действующей силы, искажение и напряжение кристаллических решеток (рис. 65.).

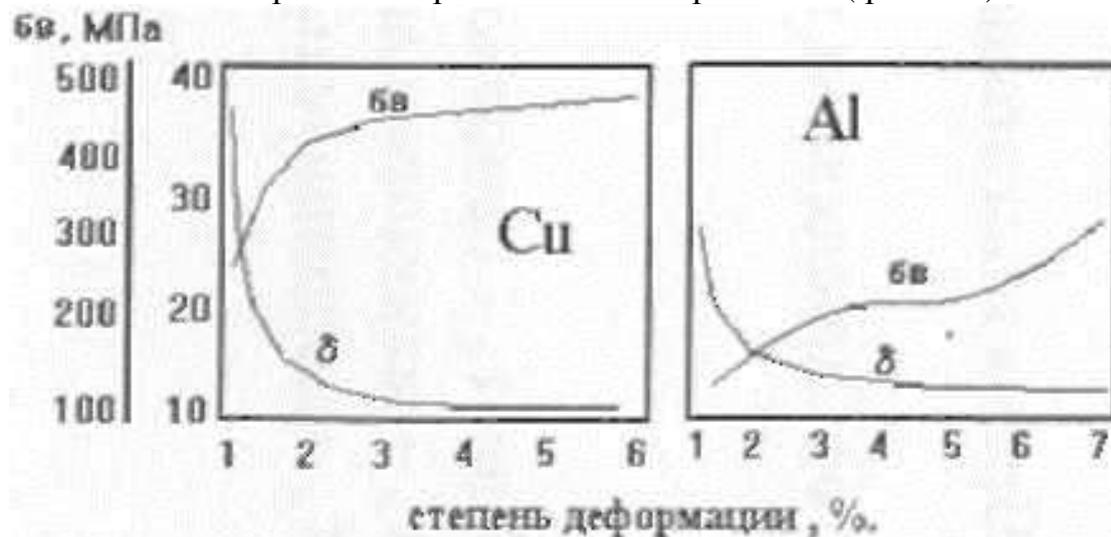


Рисунок. 65. Изменение механических свойств меди и алюминия в зависимости от степени пластической деформации.

Упрочнение металлов в результате деформации зависит от типа кристаллической структуры. Для металлов с кубической решеткой рост упрочнения в первом приближении носит параболический характер, для металлов с гексагональной решеткой упрочнение растет по линейному закону. Дислокационное упрочнение кристаллов разделяют на три стадии. (Рис. 66).

- первая характеризуется почти линейной зависимостью напряжений от величины деформации при малой степени деформационного упрочнения из-за малой плотности накапливаемых дислокаций.

- вторая стадия упрочнения характеризуется множественным скольжением дислокаций, их пересечением с образованием препятствий для дальнейшего движения (образуется ячеистая субструктура).

- третью стадию характеризует уменьшение деформационного упрочнения.

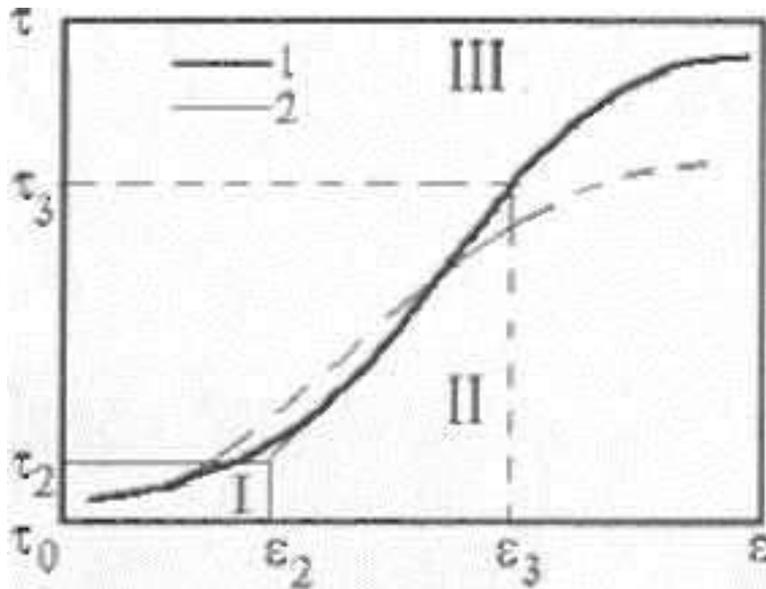


Рисунок. 66. Кривые упрочнения кристаллов (стадии 1 - 3) с ГЦК решеткой при температуре t_1 (1) и t_2 (2) при $t_2 > t_1$.

Рост величины деформации связан с поперечным скольжением и с увеличением сдвига по каждой системе скольжения. Происходит так называемый *динамический возврат*. Изменение механизма деформации в зависимости от температуры и напряжения, карты деформации (по Эшби).

Ползучесть. Зависимость прочности и пластичности от температуры.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформированных металлических тел: отдых, полигонизация, рекристаллизация.

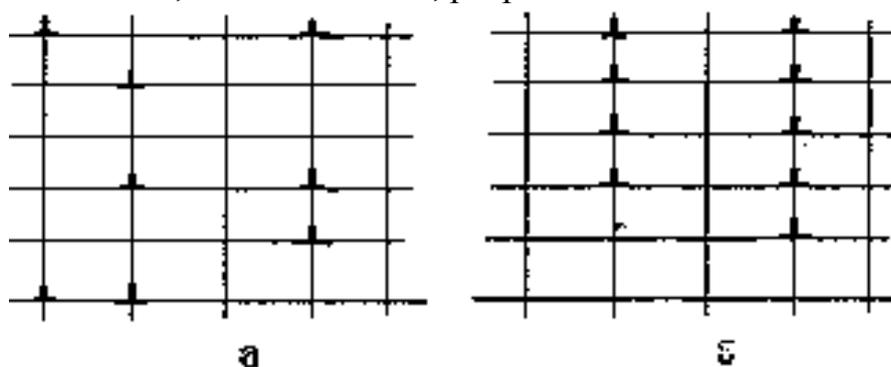


Рисунок. 67. Дислокационная структура (а) - после деформации и (б) - после нагрева, отвечающая полигонизационному типу.

Если деформация происходит при температуре так называемой теплой деформации (0.3 - 0.6) $T_{пл}$, тогда одновременно с развитием скольжения и (или) двой-

нирования происходит перераспределение дислокаций вследствие развития диффузионных процессов (самодиффузия), приводящих к явлению переползания краевых компонент дислокаций (Рис. 67). При теплой деформации создается более стабильная структура, хотя эффект упрочнения ниже.

Структурные изменения, происходящие при горячей деформации металлов, отвечающие температуре $> 0.6 T_{пл}$, проявляются в характере кривых напряжение – деформация (рис. 68).

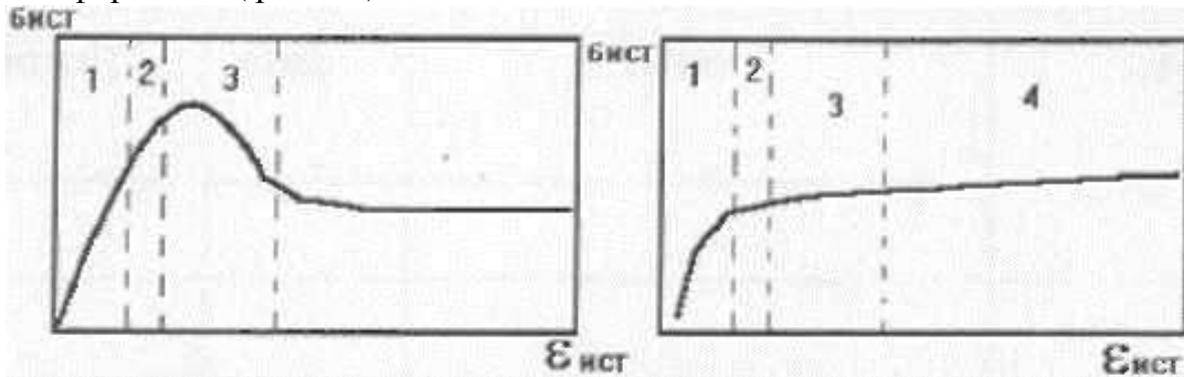


Рисунок. 68. Основные виды кривых напряжение - деформация при высоких температурах, а – с “горбом”, б - с плато.

На начальной стадии деформации наблюдается заметное упрочнение в результате развития процессов легкого и множественного скольжения, ведущих к росту плотности дислокаций, распределение которых отличается неоднородностью (горячий наклеп). При увеличении степени деформации это упрочнение растет до некоторого значения, а затем либо остается постоянным, либо заметно падает, но затем вновь стабилизируется.

С увеличением температуры характеристики прочности металлических материалов падают, а пластичности увеличиваются. Если нагрев происходит после деформации, то при нагреве уже при низких температурах будет происходить возврат или отдых - снятие внутренних напряжений.

Этот процесс носит название *рекристаллизации*.

При рекристаллизации старое зерно не восстанавливается, а заменяется совершенно новым. Для практики необходимо знать, с какой температуры начинается рекристаллизация при выдержке 0.1 - 1 часа. При этом условии оказывается, что для чистых металлов $T_{рек} = 0.4 T_{пл}$.

Термомеханическая обработка высокотемпературная (ВТМО) и низкотемпературная (НТМО)

Термомеханическая обработка основана на совмещении двух способов упрочнения - пластической деформации и фазовых изменений, заключается в наклепе аустенита с последующим его превращением.

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), состоит из деформирования аустенита выше температуры рекристаллизации (t_p) обычно выше критических точек и быстрого охлаждения (рис. 69.).

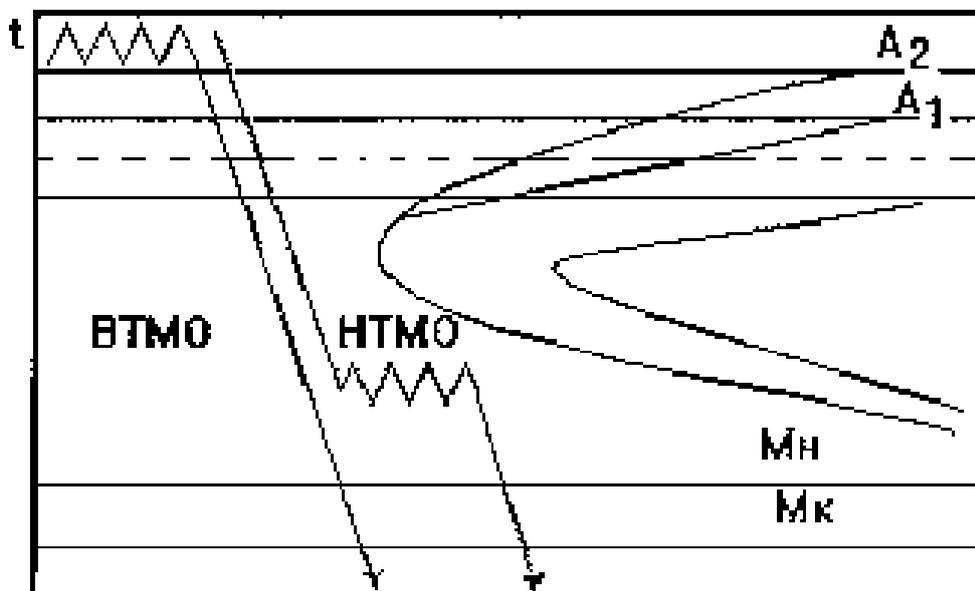


Рисунок. 69. Классификационная схема ТМО.

Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО), которая состоит из деформирования аустенита ниже t_p , т.е. нестабильного аустенита переохлажденного ниже критических точек с последующим охлаждением и фазовым превращением.

Сталь упрочняется за счет мартенситной реакции и за счет дефектов строения унаследованных мартенситом от деформированного аустенита.

При НТМО переохлажденный до 500 – 600°C аустенит деформируется (до 80-90 %) и наклепывается. При НТМО повышение прочности сопровождается понижением пластичности.

Имеется класс обработок, которые осуществляются в обратном порядке - превращение, а затем наклеп (механико - термическая обработка МТО).

МТО осуществляется деформацией на 3 - 5 % мартенсита и последующим низким отпуском, что создает повышение прочности на 10 – 20 %..

Сверхпластичность.

Под *сверхпластичностью* понимают способность металла к значительной равномерной деформации без деформационного упрочнения (наклепа).

Различают несколько видов сверхпластичности:

- *мелкозеренная сверхпластичность* проявляется при повышенных температурах, не ниже чем 0.4 $T_{пл}$, при очень мелком зерне размером в диаметре 3 - 5 мкм и малой скорости деформирования 0.0001 с⁻¹ (отсутствует сдвиговая деформация),
- *субкритическая сверхпластичность*. Имеет место при температурах вблизи или ниже фазовых превращений при определенной исходной структуре. Перед фазовым превращением или плавлением происходит значительное изменение свойств без изменения структуры. Например, E снижается в два - три раза.
- *мартенситная сверхпластичность*, при сдвиговом бездиффузионном превращении наблюдается повышенная пластичность,
- *рекристаллизационная сверхпластичность*. Выше температуры рекристаллизации заметного упрочнения не возникает. Влияние электромагнитного поля на структуру и свойства металлических материалов.

Тема 11. Цветные металлы и сплавы.

Цветные металлы и сплавы разделяют на группы: легкие металлы и сплавы (с плотностью 3.0 г/см^3 Al, Mg, Be); медные сплавы и специальные цветные сплавы - мельхиор, незильбер, драгоценные сплавы и т.п..

11.1 Сплавы алюминиевые, медные, магниевые, титановые, бериллиевые.

Сплавы алюминиевые разделяют на деформированные (применяемые в кованном, прессованном и катанном виде) и литейные. Границу между двумя группами определяет предел насыщения твердого раствора при эвтектической температуре.

Наличие эвтектической структуры резко уменьшает пластичность, способность прессовываться, коваться и при некотором содержании эвтектики (обычно не-большом) такая обработка становится не осуществимой.

Однако сплавы эвтектического состава (до 15 ... 20 % по объему) имеют высокую жидкотекучесть и в литейном производстве имеют наибольшее применение.

Деформируемые сплавы подразделяются на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые сплавы отличаются высокой пластичностью и применяются для изделий изготавливаемых глубокой штамповкой. К ним относят сплавы АМц (Al - Mn) и АМг (Al - Mg). Марганец повышает коррозионную стойкость алюминиевых сплавов, а магний, кроме того, снижает плотность алюминиевых сплавов и увеличивает прочность без изменения пластичности.

К наиболее распространенным сплавам, применяемым в деформированном виде и упрочняемым ТО, принадлежит дюралюминий. (Д1 ... Д16). Система Al - Cu - Mg. Если дюралюминий применяют в кованном состоянии то его обозначают АК1...4.

Высокопрочным дюралюминием являются четверные сплавы Al - Mg - Cu - Zn. Обозначаются В95.

Для фасонного литья применяют *силумины* - сплавы алюминия с большим содержанием кремния (12 - 13 % Si - заэвтектический сплав). Силумины упрочняются ТО. Обозначаются АЛ1 ... АЛ8.

Есть детали, изготавливаемые отливкой или штамповкой из алюминиевых сплавов, которые работают при температурах порядка 200 - 350 С, например, поршень, цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Применяемые для этих целей алюминиевые сплавы легируют Cu, Mn, Ni, Fe, Ti. Жаропрочность литейного алюминиевого сплава обусловлена образованием при кристаллизации жесткого каркаса из соединений Mg_2Si и $\text{Al}_x\text{Cu}_y(\text{Fe},\text{Ni})_z$.

Латуни.

Практическое применение имеют медные сплавы с содержанием цинка до 45%, которые называются латунями ГОСТ 17711 - 80.

Диаграмма состояния медь - цинк составлена из пяти простых перетектических диаграмм.

Механические свойства сплавов Cu - Zn в зависимости от содержания цинка приведены на рис. 70.

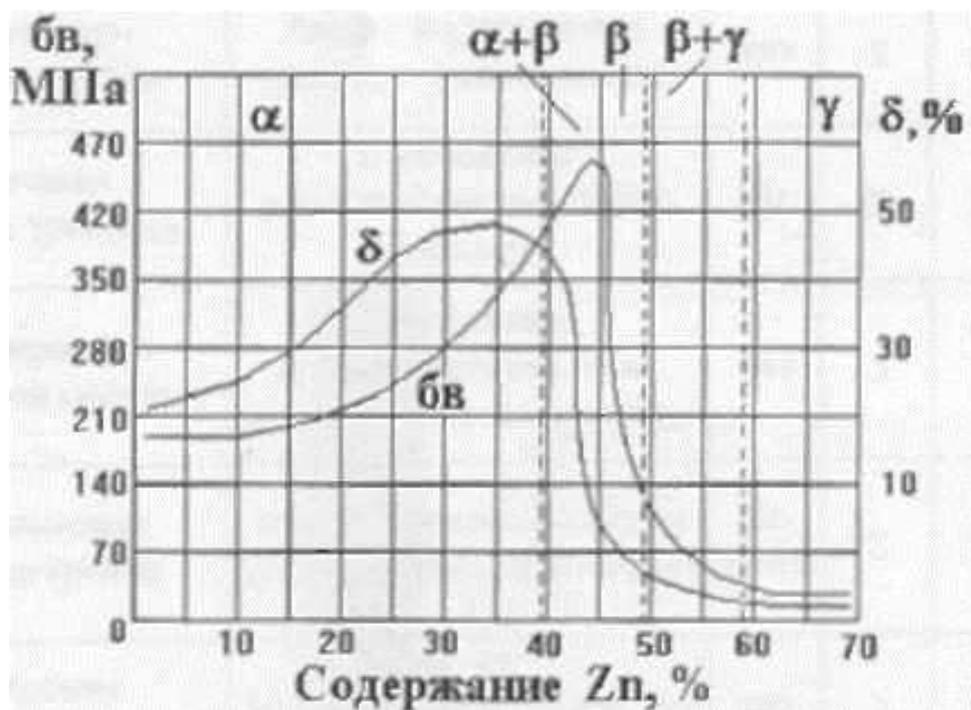


Рисунок. 70. Механические свойства сплавов Cu - Zn.

Цинк повышает прочность и пластичность сплава. Максимальной пластичностью обладает сплав с 30 % Zn. Переход через границу однофазной области (39% Zn) резко снижает пластичность;

β- латунь обладает максимальной прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 400$ МПа) при относительно низкой для латуней пластичности ($\delta=7\%$);

γ - латунь является весьма хрупкой.

Литейные свойства латуней характеризуются малой склонностью к ликвации, хорошей жидкотекучестью, большей усадкой.

α- латуни легко поддаются пластической деформации, поэтому из них изготавливают различный прокат Л62, Л68.

Латуни маркируют буквой Л, цифры обозначают среднее содержание меди в сплаве.

α + β - латуни имеют высокую обрабатываемость резанием, наиболее распространена марка Л59. Для улучшения обрабатываемости резанием в латунь вводят свинец. Латунь марки ЛС59 содержит около 40% Zn и 1...2 % Pb, она называется автоматной.

Олово в латунях добавляют для придания сплаву сопротивления коррозии в морской воде - морская латунь, алюминий и никель для повышения механических свойств. Механическая прочность не высока. Для α- латуней $\sigma_{\text{в}} = 300$ МПа, $\delta = 40\%$. α + β - латуни имеют более высокую прочность, но меньшую пластичность $\sigma_{\text{в}} = 350$ МПа, $\delta = 20\%$.

Бронзы оловянные, алюминиевые и др. Модулированные структуры.

Бронзами принято называть сплавы на основе системы медь - олово, в которых цинк и никель не являются основными легирующими компонентами.

Влияние олова на механические свойства меди аналогично влиянию цинка, но проявляется более резко. Уже при 5 % Sn пластичность начинает падать.(рис. 71.).

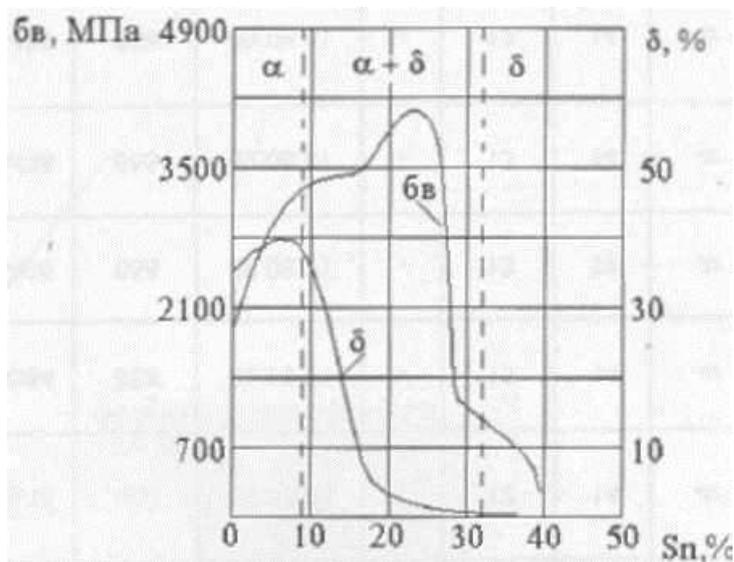


Рисунок. 71. Механические свойства сплавов Cu - Zn.

Бронза содержащая более 5...6% олова не прокатывается и не куется, ее применяют в литом виде. Бронза обладает высокими литейными свойствами: малая усадка - всего 1%, благодаря чему бронзы применяют для художественного литья.

В литой бронзе наличие включений твердого эвтектоида обеспечивает высокую стойкость против истирания, поэтому бронза с 10% олова является лучшим подшипниковым материалом.

Высокая химическая стойкость бронз является главным критерием из-за которого они применяются как материалы паровой и топливной аппаратуры.

Главное применение бронз - сложные отливки, вкладыши подшипников. Для удешевления бронз в них добавляют цинк 5...10%.

Обработываемость резанием увеличивают добавкой 3 - 5 % свинца.

Фосфор вводят в бронзу как раскислитель, он устраняет хрупкие включения окиси олова, если фосфора более 1 % ее называют фосфорной.

Легированные бронзы превосходят простую оловянистую в отношениях:

- по механическим свойствам - алюминиевая и кремнистая,
- по химической стойкости - алюминиевая,
- по жидкотекучести - кремнецинковая,
- по антифрикционным свойствам - свинцовистая,
- по твердости и упругости бериллевая.

Магний и магниевые сплавы.

Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью - 1.74 г/см³, что определило его главное применение в авиации.

Магний малой прочностью и пластичностью, неустойчив против коррозии.

Широкое распространение имеют сплавы магния с алюминием, цинком и марганцем, растворяющимся в нем.

Сплавы магния подразделяются на деформируемые (МА) и литейные (МЛ).

Бериллий.

Основное применение бериллия - атомная техника, однако благодаря малой плотности 1.8 г/см³, высокими модулю упругости и прочности, размерной стабильности и стойкости в ряде сред он находит применение как авиационный материал.

Бериллий весьма дорог, однако его применение сокращает массу машин во много раз.

Изделия из бериллия изготавливают методами порошковой металлургии горячей пластической деформацией после формования и спекания порошка.

Среди сплавов бериллия находит распространение сплав $\text{Be} + 4...5 \% \text{Cu}$. Медь устраняет выраженную анизотропию.

Титан и его сплавы.

Титан обладает низкой плотностью, высокими прочностью и коррозионной стойкостью. Преимущественное применение титан получил в авиа- и ракетостроении, морском судостроении.

Титановые сплавы разделяют на α , β , $\alpha+\beta$ сплавы. α - сплавы сравнительно мало пластичны и неохрупчиваются при ТО.

β – сплавы наиболее пластичны, но наименее прочны, не испытывают полиморфных превращений, $\alpha+\beta$ сплавы - более прочные, чем однофазные, хорошо деформируются, обрабатываются ТО (закалка и старение, азотирование) и слабо охрупчиваются.

11.2. Антифрикционные и фрикционные материалы. Строение, свойства и применение.

Антифрикционными называются материалы с низким коэффициентом трения. Основными антифрикционными материалами являются серые чугуны, бронзы, баббиты, материалы на основе полимеров и металлических порошков с твердыми смазками.

Основное требование к структуре антифрикционных материалов ее специфическая “неоднородность” – мягкая структура, в которую вкраплены твердые и мягкие включения. Мягкие составляющие вырабатываются и смазывают вал, твердые - его удерживают.

В конструкциях с парой трения - скольжением применение имеют баббиты - антифрикционные сплавы олова и свинца с медью и сурьмой с низким коэффициентом трения.

Существуют баббиты оловянные и свинцовые ГОСТ 1320 - 74 и кальциевые ГОСТ 1209 - 78. Оловянные баббиты содержат кроме олова, 8 - 10 % сурьмы и 3...6 % меди. Марки Б88, Б83, Б83С (1% Pb). Цифры содержание олова в %.

Оловянные баббиты используют для изготовления подшипников, работающих преимущественно в тяжелых условиях и при больших окружных скоростях.

Свинцовистые баббиты содержат дополнительно Sb, Sn, Cu, а отдельные марки - Ni, K, Al. (Б16, БН, БС6, БКА, БК2).

В настоящее время в машиностроении широкое распространение получают порошковые спеченные антифрикционные материалы на основе медной и стальных матриц.

Среди неметаллических материалов для изготовления деталей пар трения применяют гетинакс и текстолит. Структура их включает твердые нити или пленки армирующей фазы, например, стеклянных волокон, которые позволяют работать текстолитам в паре трения со сталью.

Антифрикционные спеченные материалы.

Антифрикционные спеченные материалы используются для изготовления де-

талей узлов трения (подшипников скольжения, распорных втулок, колец, торцевых уплотнений, шайб, подпятников, поршневых колец и др.) Введение в состав спеченных антифрикционных материалов веществ, играющих роль твердой смазки, присадок, повышающих прочностные свойства материала, а также наличие пор, которые после операции спекания пропитываются смазочными жидкостями, увеличивает срок службы деталей в 2...10 раз.

В качестве присадок применяют графит, сульфиды, фториды, фторопласты, иногда оксиды.

Универсальность метода порошковой металлургии позволяет создавать композиционный материал со строго заданными свойствами для конкретных условий работы.

Антифрикционные материалы промышленность изготавливает на основе меди, железа и их сплавов

Полуфабрикаты из антифрикционных материалов выпускаются в виде готовых изделий, а также для экономии цветных металлов (меди и олова) на стальных компактных подложках - биметаллические полуфабрикаты.

Фрикционные материалы.

Фрикционные узлы принадлежат к наиболее важным узлам в машинах, так как они в первую очередь определяют их надежность, долговечность и безопасность. Спеченные фрикционные материалы предназначены для работы в различных передаточных узлах - тормозах и сцеплениях. Кроме того, фрикционные материалы могут работать в разных условиях нагружения и разных условиях смазки - в сухую и специальных маслах.

Спеченные фрикционные элементы изготавливают методами порошковой металлургии в виде сегментов, плиток и дисков. Особенностью большинства фрикционных материалов является то, что они в процессе приготовления материала наносятся на несущие каркасы - подложки.

Тема 12. Неметаллические материалы. Классификация. Строение. Свойства.

12.1. Классификация и строение неметаллических материалов.

Неметаллические материалы разделяются на классы: пластические массы, конструкционную керамику, стекла, каучуки и резиновые материалы, композиты на основе пластмасс и с органическим армированием.

В свою очередь каждый класс имеет свою специальную классификацию - пластические массы делятся на термопласты, термоэластопласты, олигомеры и реактопласты, конструкционная керамика классифицируется преимущественно по составу - на основе оксидов, карбидов, нитридов и т.п..

Главный недостаток полимеров их химическая и термическая деструкция (разрушение химических связей и тепловой распад - диссоциация), которая протекает не только на поверхности, как коррозия металлов, но и внутри массы. Физическое старение полимеров обусловлено действием остаточных механических напряжений, кристаллизацией, улетучиванием растворителей или пластификаторов.

Стекла разделяют по механическим свойствам: ударопрочное, термостойкое, радиационностойкое, многослойное (триплекс). Каучуки делят на натуральные и синтетические и по назначению - для изготовления шин и технических изделий.

12.2. Термопласты. Термоэластопласты. Олигомеры и реактопласты.

Полимер - вещество, характеризующиеся многократным повторением одного или более составных звеньев, соединенных между собой в количестве, достаточном для проявления комплекса свойств, которое остается практически неизменным при добавлении или удалении нескольких составных звеньев.

Олигомер - вещество, молекулы которого содержат составные звенья, соединенные повторяющимся образом друг с другом, комплекс свойств которого изменяется при добавлении или удалении одного или нескольких составных звеньев.

К основным группам ингредиентов относят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители, сшивающие агенты, структурообразователи, смазки, антипрены, антистатика, антимикробные агенты, антифрикционные добавки, отвердители, ускорители отверждения.

По структуре макромолекул полимеры бывают линейными, разветвленными и сшитыми (сетчатыми, трехмерными).

Полимеры в зависимости от их строения и внешних условий могут находиться в двух фазовых состояниях: аморфном и кристаллическом.

Аморфные полимеры в зависимости от температуры могут находиться в стеклообразном, высокоэластичном или вязкотекучем состояниях. При уменьшении температуры полимер проходит эти состояния в обратном порядке.

В зависимости от поведения при нагревании полимеры условно подразделяются на *термопластичные (термопласты)* и *терморезактивные (реактопласты)*.

Термопластичные полимеры (линейные и разветвленные) при нагревании выше температуры стеклования размягчаются, приобретают высокую пластичность, а при охлаждении они вновь отвердевают, могут растворяться в соответствующих растворителях.

Терморезактивные полимеры в зависимости от числа поперечных сшивок в сетчатых структурах при нагревании не способны к размягчению или размягчаются незначительно, но в вязкотекучее состояние не переходят, в растворителях стойки или незначительно набухают.

Пластические массы в исходном состоянии представляют собой порошки, гранулы, листы и пленки, пригодные для формования из них изделий. Важнейшими из пластических масс являются фенопласты (общего назначения и ударопрочные ГОСТ 5689 - 79), полиамиды ПА- 12-20, ПА-12-11-1 ОСТ 6 - 05 - 425 - 76, полиолефины ПЭНДК-КН (ТУ 6-05-05-29-77), материалы на основе акрилатов - дакрил - 2М (ТУ 6-01-707-72). Перечисленные пластические массы применяются для изготовления хозяйственной утвари, деталей автомобилей, кораблей, как покрытия - пленки на металлических материалах, дереве и т.п..

Достоинством пластмасс является их низкая плотность, коррозионная стойкость, высокая ударная вязкость и удельная прочность, электроизолирующие свойства (ПА-12-20 $\gamma=1,1$ г/см³, $\sigma_{в} = 45$ МПа, $\alpha_n = 10$ кДж/м², $\delta = 70$ %).

12.3. Каучуки и резиновые материалы. Термоэластопласты.

Резиновые изделия отвечают разнообразным требованиям в отношении теплостойкости, морозостойкости, химической стойкости, твердости, эластичности и упругости. Исходным материалом для резин служат натуральный (НК) и синтетический каучук.

Натуральный каучук - полимер изопрена (C₅H₈). Изопентовые группы полиизопрена связаны в длинную молекулярную цепь, и это позволяет отнести его к классу линейных карбоцепных полимеров.

Полиизопрен и его аналоги, а также полибутадиен и полихлоропрен относятся к классу эластомеров. Эластомерами называют полимеры, обладающие в широком температурном интервале высокой эластичностью - способностью подвергаться значительным (до 1000%) обратимым деформациям при модуле от сотых долей до нескольких кГ на см².

Общим признаком эластомеров является макромолекулярное строение, а также способность к вулканизации. Переход пластичного каучука в эластичную резину называется вулканизацией, которая представляет собой процесс "поперечного сшивания" линейных макромолекул в редкосетчатую структуру. В качестве агентов применяют серу, тиурам, diaзосоединения.

Свойства резин определяются разновидностью использованных каучуков: изопреновый, бутадиеновый, бутадиенстирольный, этиленпропиленовый, бутилкаучук.

Резины наиболее широкое применение нашли в производстве автомобильных шин ГОСТ 4754-80, шиноремонтных материалов ГОСТ 2631-79, производстве резинотехнических изделий - товарные или невулканизированные смеси, предназначенные для теплого формования изделий, поставляют по ТУ38-1051082-86.

Термоэластопласты

Термоэластопласты в отличие от резин не имеют стадии вулканизации, перерабатываются в изделия обычными способами: экструзия, инъекция, шприцевание и прессование.

Термоэластопласты обладают большей в 2 раза стойкостью к истиранию и высоким сопротивлением к расслаиванию, чем резина. Термоэластопласты в отличие от резин способны к многократной переработке.

По механическим свойствам они также превосходят обычные резины, однако частично уступают им по масло- и кислотостойкости.

12. 4. Неорганическое стекло. Стеклокристаллические материалы.

Неорганическое стекло - это химически сложный, аморфный, макроскопически изотропный материал, обладающий механическими свойствами хрупкого тела.

Наиболее распространены стекла на основе диоксида кремния - *силикатные стекла*, широко используются также алюмо-силикатные, боро-силикатные, стекла, и не содержащие кислород - халькогенидные стекла.

По функциональному назначению компоненты стекол разделяются на *стеклообразователи, модификаторы и компенсаторы*.

Стеклообразователи - неорганические полимеры, имеющие сетчатую структуру, служат для перевода основного оксида в аморфное состояние.

Модификаторы придают стеклу нужные свойства, а компенсаторы подавляют негативное влияние первых. Например, бромистое серебро делает стекло фототропным, оксиды железа, свинца, хрома, кобальта придают нужный цвет, оксид

ванадия изменяет электропроводность.

Химический состав стекла выражают в виде соотношения различных оксидов, например: $x\text{Na}_2\text{O} \cdot y\text{CaO} \cdot z\text{SiO}_2 \dots$

Поверхность стекол имеет множество трещин, именно они катастрофически снижают прочность на изгиб и отрыв. Появления трещин на поверхности стекол связано с их неблагоприятными теплофизическими свойствами - стекла теплоизоляторы, имеют высокие значения коэффициентов термического расширения.

Для получения высокопрочных стекол их поверхность модифицируют. Обрабатывают различными реактивами: плавиковая кислота, растворы щелочей, легируя стекло литием, калием, наносят полимерные пленки, проводят закалку для создания в поверхности стекла напряжений сжатия.

Техническое стекло применяется в виде листов, специальных электроизолирующих деталей и волокон.

Стеклокристаллические материалы.

Ситаллы - это частично закристаллизовавшиеся стекла (содержат дополнительно Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO), получаемые регулируемой кристаллизацией при повышенных температурах с помощью специально вводимых центров кристаллизации (микрочастиц Cu , V , Au , Ag , Pt и Cr_2O_3 , ZrO , ZnO , V_2O_3 , TiO).

По структуре ситаллы занимают промежуточное положение между обычными стеклами и керамикой.

Ситаллы - многокомпонентные, гетерогенные, многофазные системы. Ситаллы обладают специфическим комплексом физико-механических свойств.

Например, ситалл - "пирокерам" прочнее прокатанного стекла, высокоуглеродистой стали, легче алюминия, а по коэффициенту термического расширения и термостойкости не отличается от кварца.

Пирокерам применяется как материал подшипников скольжения, работающих при нагрузке 800 МПа при температуре до 800 С без смазки.

Ситаллы используются и в виде жаростойких покрытий. Из них делают трубы для химической промышленности.

12.5. Конструкционные керамические, углеродные и графитовые материалы.

Керамика - это многокомпонентный, гетерогенный материал, получаемый спеканием высокодисперсных минеральных частиц (глин, оксидов, карбидов, нитридов и др.)

Конструкционную керамику получают методами порошковой металлургии.

Обычные керамические изделия применяются в качестве огнеупорных элементов металлургического оборудования или как футеровка реактивных двигателей и плазматронов.

Для получения годной конструкционной керамики важно обеспечить низкую плотность высокое сопротивление изгибу. Для этого применяют технологию горячего изостатического прессования порошков.

Так снижение пористости с 25% до 5% у керамики из карбида кремния SiC повышает $\sigma_{\text{и}}$ от 150 до 900 МПа.

Кроме того, в состав керамической смеси вводят легкоплавкие оксиды (MgO), создающие жидкую фазу при спекании, смачивающие поверхности более туго-

плавкого компонента. MgO также снижает хрупкость разрушения керамического материала на основе ZrO. Наибольшую прочность после ГИП имеет нитридная керамика (Si₃N₄) σ_B до 1030 МПа.

Из высокоплотной нитридной керамики с ориентированной структурой изготавливают лопатки газотурбинных компрессоров, поршни и цилиндры двигателей. Достоинством конструкционной керамики является небольшая плотность до 4 г/см.куб..

Углеродные и графитовые материалы. Строение, свойства и применение.

Материалы на основе углерода занимают промежуточное место между металлами и неметаллами и поэтому применяются в тех случаях, когда необходимо сочетание их свойств.

Углеродистые машиностроительные материалы получают высокотемпературной обработкой (графитизации), частично или полностью создающей состояние кристаллического графита за счет укрупнения кристаллов при рекристаллизации.

Структура таких материалов представляет каркас из графитированных частичек кокса, связанных между собой графитизированным коксом связующего. Для получения анизотропных слоистых структур применяется пироуглерод.

В машиностроении применяются графиты натуральные и искусственные, электродные, антифрикционные, огнеупорные, химически стойкие изделия из него и углеродные волокна, ткани и стеклоуглерод. В электрических аппаратах применяют угольно-графитовые электроды (например, марки Т - 2 ГОСТ 2332-87).

Углеродистые антифрикционные изделия применяются в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, направляющих втулок, пластин, поршневых колец, поршневых и радиальных уплотнений. Они способны работать без смазки, при высоких и низких температурах, больших скоростях и в агрессивных средах.

При работе металл - углеродистый графит изнашивается графитовая деталь. На поверхности металла образуется графитовая пленка, а на углеродистой детали - блестящий слой из ориентированных графитовых кристаллов. Именно такое сочетание в паре трения создает минимальный износ и коэффициент трения.

Углеродистые антифрикционные изделия применяются в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, направляющих втулок, пластин, поршневых колец, поршневых и радиальных уплотнений. Они способны работать без смазки, при высоких и низких температурах, больших скоростях и в агрессивных средах.

При работе металл - углеродистый графит изнашивается графитовая деталь. На поверхности металла образуется графитовая пленка, а на углеродистой детали - блестящий слой из ориентированных графитовых кристаллов. Именно такое сочетание в паре трения создает минимальный износ и коэффициент трения.

12.6. Композиционные материалы (КМ). Волокнистые, слоистые и дисперсно-упрочненные композиты.

Композиционные материалы или композиты (Composite, англ. сложный составленный из чего либо) являются искусственно созданные человеком матрич-

ные материалы, состоящие из двух или более компонентов, один из которых является матрицей, другой арматурой, гетерофазные по строению, однородные в макромасштабе, обладающие аддитивным комплексом физико-механических свойств, обусловленным сохранением индивидуальности каждого образующего композит компонента.

Порошковые материалы это преимущественно металлические материалы, получаемые методами приготовления порошка, формообразования и последующего спекания с целью придания требуемых физико механических свойств.

Существуют также комбинированные конструкции. Здесь армирующие элементы в составе изделия неоднородны в макромасштабе. Примером являются автомобильные шины снабженные специальным кордом.

Волокнистые, слоистые и дисперсно упрочненные композиты.

Композиционные материалы различают по типу армирования и направлениям армирующей фазы. Существуют хаотичноармированные, однонаправленные, трансармированные, ортогональноармированные и т.п. В общем случае композиты обладают или не обладают анизотропией свойств. рис. 72.

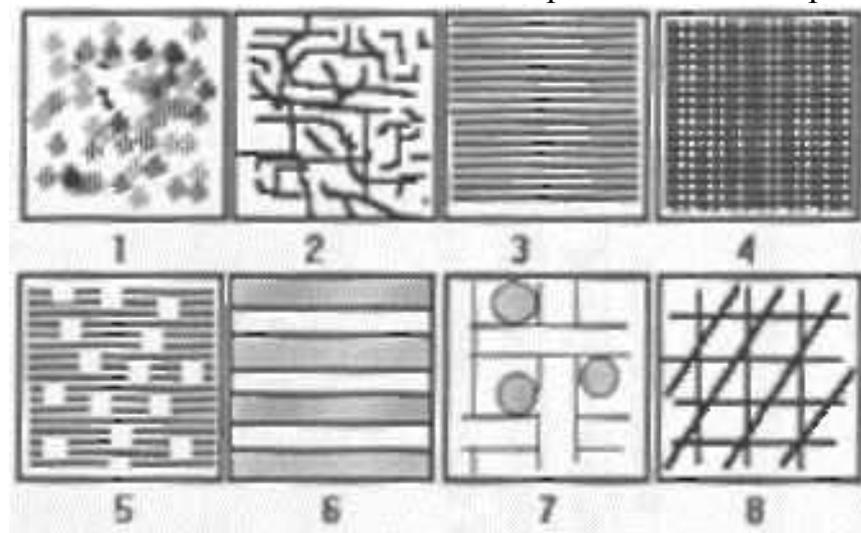


Рисунок 72. Структуры композиционных материалов. 1 хаотичные частицы, 2 хаотичные волокна, 3 непрерывные однонаправленные волокна, 4 сетки (ткани) [трансстропные КМ], 5 дискретные волокна, 6 фольги [трансстропные КМ], 7 ортогональные непрерывные волокна, 8 двумерные волокна [трансстропные КМ].

Материаловедение по структурному признаку и виду матриц классифицирует КМ на следующие основные классы:

- матричные металлические композиционные материалы (МКМ), где упрочняющей фазой являются дискретные мельчайшие равномерно распределенные в матрице частицы (металлические порошковые композиционные материалы),
- композиты на полимерной основе, где матрицей служат разнообразные пластические массы, а армирующей фазой, сетки, волокна, системы нитей или жгутов из стекла, углеродных волокон,
- эвтектические композиционные материалы сплавы быстрой и или направленной кристаллизации,
- псевдосплавы и твердые сплавы,
- материалы ПКМ, получаемые мембранными методами,
- материалы КМ (Углерод-Углеродные КМ), получаемые методами карбонизации

и пиролитических процессов.

КМ на полимерных матрицах: стеклопластики, борволокниты, организоволокниты, карбоволокниты.

Свойства конструкционных ПКМ определяются свойствами основных компонентов – матрицы и арматуры. Наиболее прочные композиты на основе фенольных смол, эпоксидных и полиэфирных смол; максимально химически стойкие ПКМ на основе полиэтилена, полипропилена и фторопласта.

Сочетание эпоксидных, полиэфирных и меламиноформальдегидных смол с синтетическими тканями, волокнами и бумагой дает легкие материалы, устойчивые к вибрационным и ударным нагрузкам, водостойкие и сохраняющие герметичность в условиях сложного нагружения. ПКМ на основе эпоксидных смол, армированных УВ, борными волокнами или НК, являются наиболее высокомодульными полимерными композиционными материалами, по удельной жесткости в несколько раз превосходящими металлы.

Длительно работоспособны при температуре 576 °К стекло- и асбопластики с кремнийорганическим связующим; в интервале температур 573 - 613°К - полиимиды в сочетании с кремнеземным, асбестовым и ли углеродным наполнителем; в интервале 633 - 773 °К в воздушной и 2273 - 2773°К в вакууме стойкими являются УУКМ. Использование профилированных СВ с различной формой сечения повышает плотность упаковки волокон и увеличивает прочность и жесткость ПКМ, особенно в поперечном направлении

Свойства ПКМ зависят от вида применяемых волокон. К органическим волокнам относят волокна на основе араматических полиамидов (арамидов). Высокопрочные и высокомодульные арамидные волокна обладают уникальным комплексом свойств, высокими прочностью и модулем упругости, термостабильностью, позволяющей эксплуатировать их в широком интервале температур.

Композиты с керамическими и силикатными матрицами изготавливают традиционными методами металлокерамики. В производстве волокнистой керамики применяют армирование волокном из нитрида бора, корунда, карбида кремния, бора, углерода и других веществ.

Тема 13. Основы металлургического производства

13.1. Металлургическое производство – отрасль промышленности, производящей из руд и концентратов металлы и сплавы.

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы, в состав которой входят различные примеси.

Например, железная руда содержит оксиды железа Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , а также пустую породу, состоящую в основном из SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO .

Руды бывают богатые и бедные. Руды обогащают, путем удаления пустой породы, в результате получают концентрат с повышенным содержанием металла

Флюсом называется материал, загружаемый в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой, называемого шлаком.

Основными видами топлива, применяемого в металлургических печах, является кокс, природный газ, мазут, а также доменные или колошниковые газы. Для футе-

ровки металлургических печей и ковшей, для разлива металла применяются огнеупорные материалы в виде кирпичей разных размеров и форм.

Огнеупорными материалами являются кварцевый песок, магнезитовые кирпичи и порошок, доломитовый, шамотный, высокоглиноземистый кирпичи.

13.2. Доменный процесс получения чугуна.

Для выплавки чугуна, в доменных печах используют железные руды, топливо и флюсы.

Основные методы подготовки руды к плавке следующие: дробление и сортировка по крупности; обогащение; окускование.

Дробление и сортировка руд по крупности необходимы для получения кусков руды определенной величины, оптимальной для плавки. Куски руды дробят и сортируют по крупности на специальных агрегатах-дробилках и классификаторах.

Руды обогащают для повышения содержания железа в шихте. В результате обогащения руду подразделяют на концентрат с высоким (более 60%) содержанием железа и хвосты - отходы с небольшим содержанием металла. Способы обогащения руд основаны на использовании различия физических свойств минералов, входящих в состав руды: плотностей ее составляющих, магнитной восприимчивости, физико-химических свойств поверхностей минералов.

Промывка руды водой позволяет отделить плотные составляющие рудных минералов от пустой рыхлой породы (песка, глины).

Гравитация (отсадка) основана на отделении руды от легкой пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита, на котором лежит руда. При этом легкие зерна пустой породы вытесняются в верхний слой и уносятся водой, а тяжелые, содержащие рудные минералы, опускаются вниз.

Магнитная сепарация основана на различии магнитных свойств железосодержащих минералов и частиц пустой породы. Измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы, отделяя их от пустой породы. Этим способом обогащают магнетитовые руды.

Окускование производят для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров. Используют два способа окускования: агломерацию и окатывание.

Агломерация заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды (40-50%), известняка (15-20%), возврата мелкого агломерата (20-30%), коксовой мелочи (4-6%), влаги (6-9%). Спекание выполняют на агломерационных машинах при 1300-1500°C. В процессе спекания из руды удаляются вредные примеси (сера, частично мышьяк), карбонаты разлагаются и получается кусковой пористый офлюсованный материал - агломерат.

Окатывание применяют для обработки тонко измельченных концентратов. Шихта, состоящая из измельченных концентратов, флюса, топлива, увлажняется и при обработке во вращающихся барабанах, тарельчатых чашах (грануляторах) приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Окатыши высушивают и обжигают при 1200-1350°C на специальных машинах.

Устройство доменной печи

Доменная печь, или, как ее часто называют, домна, предназначена для выплавки железа из железной руды. Происходит это в результате химических реак-

ций, протекающих при высокой температуре. На заключительной стадии процесса выплавленное железо насыщается углеродом и превращается в чугу́н (см. Железо, сталь, чугу́н).

В домне расплавляют, как правило, не железную руду, а агломерат (спекшуюся в куски мелкую руду) или окатыши (комки сферической формы, получаемые из мелкой руды или тонкоизмельченного концентрата). Их загружают в печь послойно, перемежая коксом. Так же послойно в домну добавляют флюсы — известь, песок и некоторые другие вещества. Для чего они нужны?

Вместе с агломератом и окатышами в домну попадает порода, не содержащая железа. Metallурги называют ее пустой породой. Ее надо удалить, чтобы она не попала в чугу́н при его затвердевании.

Флюсы заставляют пустую породу и некоторые другие ненужные вещества (все это называют шлаком) всплывать на поверхность жидкого металла, откуда шлак уже нетрудно слить в специальный ковш. Итак, агломерат (или окатыши), кокс, флюсы входят в смесь материалов, которая загружается в домну и называется шихтой.

Домна (Рис. 73.) представляет большую круглую башню и состоит из трех основных частей: верхняя часть — колошник, средняя — шахта и нижняя — горн. Внутри доменная печь выложена (футерована) огнеупорной кладкой. Чтобы предотвратить разгар кладки и защитить кожух печи от высоких температур, используют холодильники, в которых циркулирует вода.

Через колошник порциями, по несколько тонн в каждой, в домну загружается шихта. Загрузка идет непрерывно. Для этого возле доменной печи устраивают бункер — склад, куда доставляют агломерат (или окатыши), кокс и флюсы. В бункере из них при помощи автоматизированных вагонов-весов составляют шихту. В бункеры больших современных домен сырье подается непрерывно — транспортерами. Также транспортерами в современных домнах подается шихта из бункера на колошник. В старых домнах для этого применяются вагончики-скипы, которые курсируют по наклонным рельсам.

Под действием собственного веса шихта опускается, проходя через всю домну. в средней части печи — шахте — ее омывают идущие снизу вверх газы — продукты горения кокса. Они нагревают шихту, а затем уходят из домны через колошник. Но самое главное происходит в нижней части домны — горне.

Когда в горне накопится достаточное количество чугуна, его выпускают через отверстия в нижней части горна — летки. Сначала выпускают шлак через верхнюю летку, потом чугу́н через нижнюю. Далее чугу́н попадает в канавы, откуда его сливают в большие чугуновозные ковши, стоящие на железнодорожных платформах, и отправляют на дальнейшую обработку.

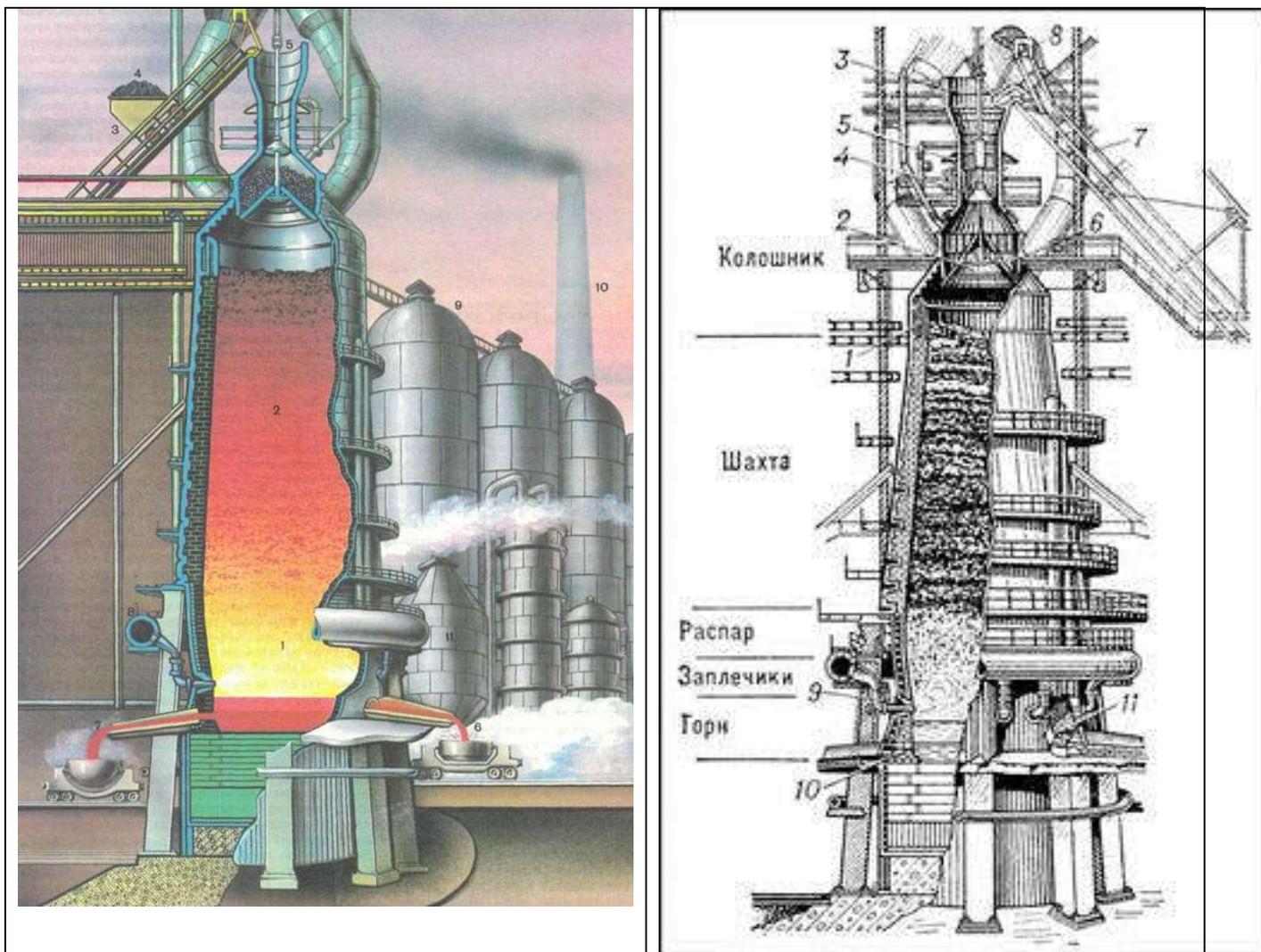


Рисунок 73. Устройство доменной печи

1 – горн, 2 – шахта, 3 – скип, 4 – шихта, 5 - засыпное устройство, 6 – шлак
 7 – чугун, 8 - горячее дутье, 9 – воздухонагреватель, 10 - дымовая труба ,
 11 – газоочистители

Если чугун предназначен для изготовления отливок — литейный чугун, — он попадает в разливочную машину, где застывает в виде брусков — чушек. Если же чугун предназначен для передела в сталь (передельный чугун), его транспортируют в сталеплавильный цех. Там он попадает в мартеновские печи, конвертеры или электропечи. Из всего количества выпускаемого чугуна примерно 80% приходится на долю передельного.

Первая домна Магнитогорского металлургического комбината, вступившая в строй в 1932 г., имела объем 900 м³. В 1986 г. на Череповецком металлургическом заводе имени 50-летия СССР начала работать домна «Северянка» объемом 5500 м³, одна из самых больших в мире.

Раньше доменные печи выпускали чугун каждые 3—4 ч. С увеличением их объема выпуск чугуна ускорился — каждые 2 ч. Большие домны — объемом 3000 м³ и более — выпускают чугун практически непрерывно.

В современных гигантских домнах для поддержания горения применяют не только нагретый воздух, но и природный газ вместе с чистым кислородом. Это

повышает производительность агрегата, снижает расход кокса, но в то же время затрудняет управление технологическим процессом. Поэтому сейчас в доменных цехах все чаще появляются электронные вычислительные машины. Они анализируют показания многочисленных приборов, контролируют ход процесса, выбирают наилучшие режимы плавки.

На рис. 74. представлена схема доменного производства с указанием массовых потоков руды, топлива, отходящих газов, их очистки и рекуперации тепла.

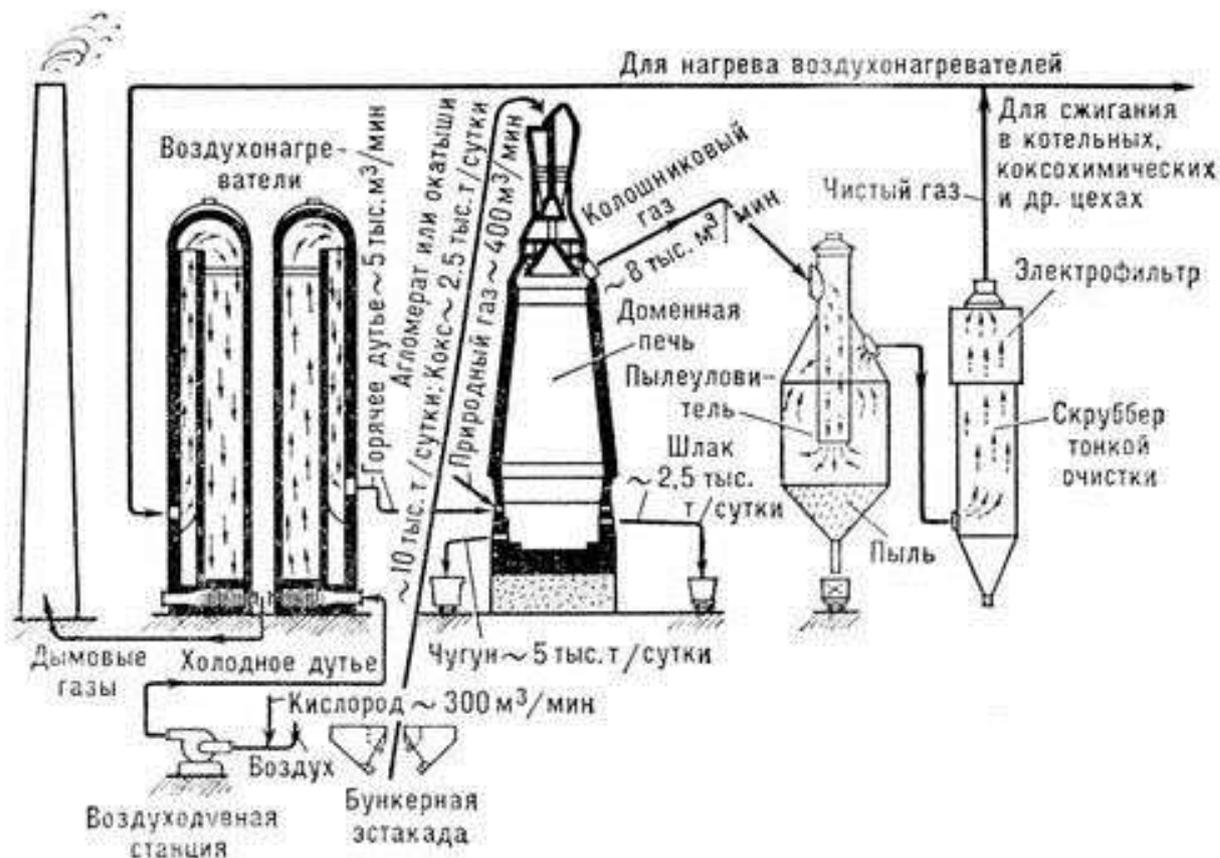


Рисунок 74. Схема металлургического комплекса доменного производства

В доменных печах получают два жидких продукта - чугун и шлак, а также колошниковый газ.

Чугун - основной продукт доменной плавки. В доменных печах получают чугун различного химического состава в зависимости от его назначения.

Передельный чугун выплавляют для передела его в сталь в конвертерах или мартеновских печах. Он содержит 4,0-4,4% С; до 0,6-0,8% Si; до 0,25-1,0% Mn; 0,15-0,3% P и 0,03 — 0,07% S. Передельный чугун некоторых марок, предназначенный для передела в сталь в конвертерах, имеет пониженное содержание фосфора (до 0,07%).

Литейный чугун используют для передела его на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок. Он содержит повышенное количество кремния (до 2,75 - 3,25%). Кроме чугуна, в доменной печи выплавляют ферросплавы.

Доменные ферросплавы - сплавы железа с кремнием, марганцем и другими металлами. Их применяют для раскисления и легирования стали. К ним относятся:

доменный ферросилиций с 9-13% Si и до 3% Mn; доменный ферромарганец с 70-75% Mn и до 2% Si; зеркальный чугуны с 10-25% Mn и до 2% Si.

Сплавы железа с углеродом, в которых содержание углерода больше 2,14 %, называются чугунами. В зависимости от состояния углерода чугуны подразделяются на две группы:

- чугуны, в которых углерод находится в связанном состоянии в виде цементита (белый чугун);

- чугуны, где углерод находится в виде графита (серые, высокопрочные и ковкие чугуны).

Белые чугуны очень хрупки и тверды, плохо поддаются обработке режущим инструментом. Поэтому такие чугуны в машиностроении используются редко (дробильные шары). Они обычно идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна. Маркируют серые чугуны буквами С – серый и Ч – чугун. После букв следуют цифры, которые указывают среднюю величину предела прочности при растяжении τ_b . Например, СЧ – 20, $\tau_b = 200$ МПа.

Высокопрочный чугун маркируют буквами ВЧ, после букв первые две цифры указывают предел прочности при растяжении, вторая цифра – относительное удлинение. Например, ВЧ 60 – 2, $\tau_b = 600$ МПа, $\delta = 2\%$;

ВЧ 45 - $\delta = 0$

Ковкие чугуны маркируют КЧ – ковкий чугун и цифры, первые из которых обозначают предел прочности при растяжении τ_b , вторые – относительное удлинение (δ). Например, КЧ 45 – 6, $\tau_b = 450$ МПа, $\delta = 6\%$.

13.3. Основные способы производства стали.

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Сравнение химических составов передельного чугуна и стали показывает, что содержание углерода и примесей в стали существенно ниже, чем в чугуне.

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки. В результате окислительных реакций, осуществляемых на первом этапе передела чугуна в сталь, углерод соединяется с кислородом, образуя СО, который удаляется в атмосферу печи. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют окислы или другие соединения, нерастворимые или малорастворимые в металле (SiO_2 , MnO , CaS и др.), которые в процессе плавки частично удаляются в шлак.

По мере снижения содержания примесей начинает окисляться железо. Окислы железа растворяются в железе, насыщая металл кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением -ковки, прокатки, так как в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии.

Для уменьшения содержания кислорода в стали в процессе плавки ее раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом стали, эти элементы образуют нерастворимые окислы, частично всплывающие в шлак. Для раскисления стали используют ферросплавы - ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Раскисление является завер-

шающим этапом выплавки стали.

Чугун переделывают в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах. Основными из них являются кислородные конвертеры, мартеновские печи и другие электропечи.

Производство стали в конвертерах

Кислородно-конвертерный процесс. Это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

Кислородный конвертер представляет собой сосуд грушевидной формы, изготовленный из стального листа и выложенный изнутри основным кирпичом, емкостью 130-350 т жидкого чугуна(рис. 75.).

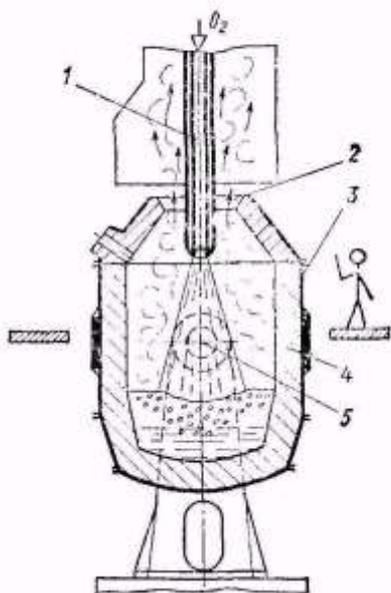


Рисунок 75 Схема кислородного конвертера

Шихтовые материалы. Такими материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат.

Технология плавки. После выпуска очередной плавки конвертер наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом, затем заливают чугун при температуре 1250-1400°С из чугуновозных ковшей. После этого конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение, внутрь его вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду).

Струи кислорода, поступающие под большим давлением в конвертер, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400°С.

Подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали. После этого конвертер поворачи-

вают и производят выпуск стали в ковш.

Раскисление стали. При выпуске стали из конвертера в ковш ее раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Затем из конвертера сливают шлак.

Производство стали в мартеновских печах

Устройство и работа мартеновской печи приведено на рис. 76. Мартеновская печь - это пламенная отражательная регенеративная печь. Она имеет рабочее плавильное пространство, ограниченное снизу подиной, сверху сводом, а с боков передней и задней стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали в шлаке преобладают кислотные окислы, процесс называется кислым мартеновским процессом, а если преобладают основные окислы - основным.

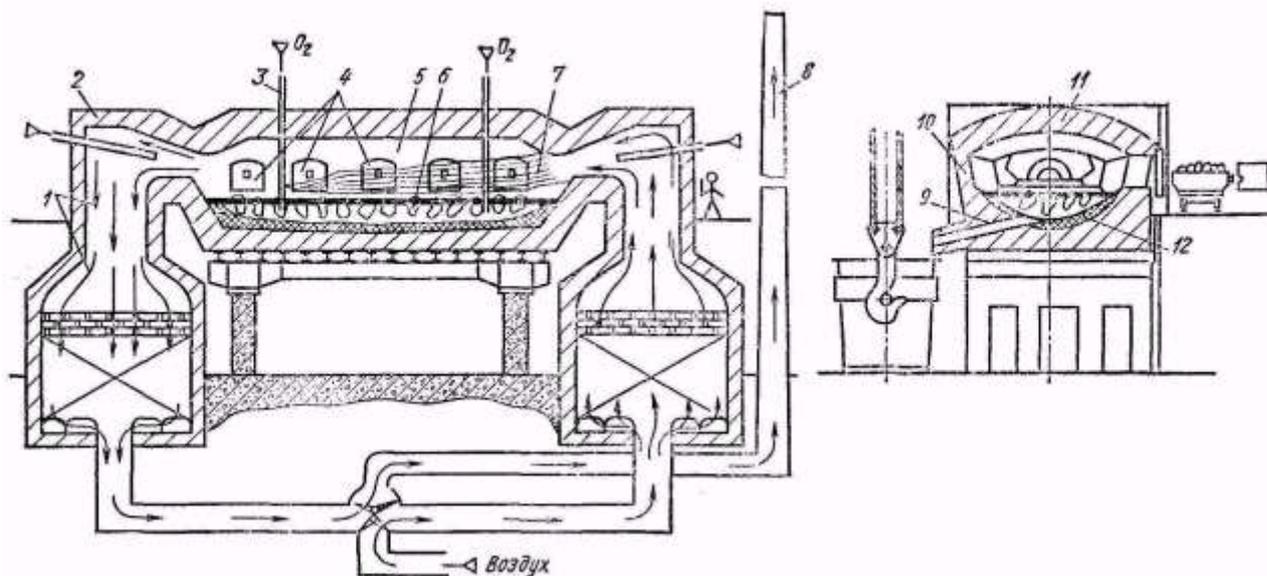


Рисунок 76. Схема мартеновской печи.

В передней стенке печи находятся загрузочные окна для подачи шихтовых материалов (металлической шихты, флюса) в печь. В задней стенке печи расположено сталевыпускное отверстие для выпуска готовой стали.

В качестве топлива в мартеновских печах используют природный газ или мазут. Температура факела пламени достигает 1750-1800°C. Факел нагревает рабочее пространство печи и шихту. Факел имеет окислительный характер, что создает условия для окисления примесей шихты на протяжении всей плавки.

Плавка стали происходит следующим образом. С помощью завалочной машины загружают железную руду и известняк и после их прогрева подают скрап. По окончании прогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун, который, проходя через слой скрапа, взаимодействует с железной рудой. В период плавления за счет окислов железа руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна.

Для ускорения плавления и окисления примесей после окончания заливки чугуна ванну продувают кислородом. При этом выделяется значительное количество теплоты, металл интенсивно перемешивается, что позволяет в 2-3 раза сократить период плавления, уменьшить расход топлива и железной руды.

По окончании расплавления шихты наступает период кипения ванны. Углерод,

содержащийся в металле, начинает интенсивно окисляться, образуется окись углерода.

Шлак начинает вытекать на печи через порог завалочного окна в шлаковые чаши. Эта операция называется скачиванием шлака. Вместе со шлаком удаляется значительное количество фосфора и серы.

Поступивший в металл кислород взаимодействует с углеродом металла с образованием окиси углерода, которая выделяется в виде пузырьков, вызывая кипение ванны.

Процесс кипения считают окончившимся, если содержание углерода в металле соответствует заданному, а содержание серы и фосфора минимально.

После этого приступают к раскислению металла. Металл раскисляют в два этапа: в период кипения, путем прекращения подачи руды в печь, вследствие чего раскисление происходит за счет углерода металла и подачи в ванну раскислителей - ферромарганца, ферросилиция, алюминия и окончательно раскисляют алюминием и ферросилицием в ковше при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб плавку выпускают из печи через сталевыпускное отверстие в задней стенке. По желобу сталь сливается в сталеразливочный ковш.

При выплавке легированных сталей легкоокисляющиеся легирующие элементы вводят в ванну после раскисления перед выпуском металла из печи.

Производство стали в электропечах

Электроплавильные печи. Эти печи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами. В электропечах можно быстро нагревать, плавить и точно регулировать температуру металла, создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу или вакуум.

В этих печах можно выплавлять сталь и сплавы любого состава, более полно раскислить металл с образованием минимального количества неметаллических включений - продуктов раскисления. Поэтому электропечи используют для выплавки конструкционных сталей ответственного назначения, высоколегированных, инструментальных, коррозионно-стойких (нержавеющих) и других специальных сталей и сплавов.

Электроплавильные печи бывают дуговыми и индукционными.

Дуговая электросталеплавильная печь. В этих печах в качестве источника теплоты используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой (рис. 77.).

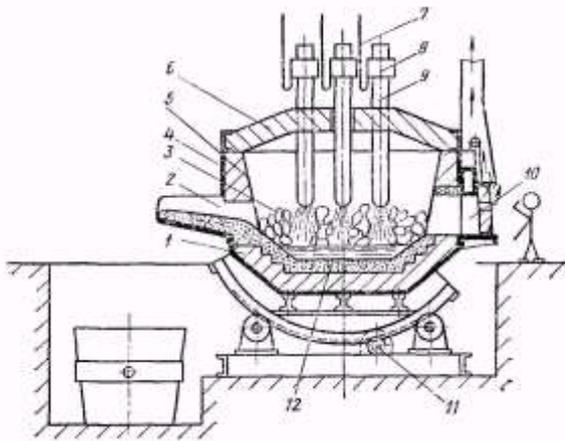


Рисунок 77. Схема дуговой электрической плавильной печи.

После расплавления шихты металл раскисляют, удаляют серу, наводят основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Раскисляют ферросилицием, алюминием, молотым коксом.

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

Электроиндукционные печи. Индукционная тигельная сталеплавильная печь (рис. 78.) состоит из водоохлаждаемого индуктора, внутри которого находится тигель с металлической шихтой. Через индуктор проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500-1000 кГц). Ток создает переменный магнитный поток, который, пронизывая куски металла в тигле, наводит в них

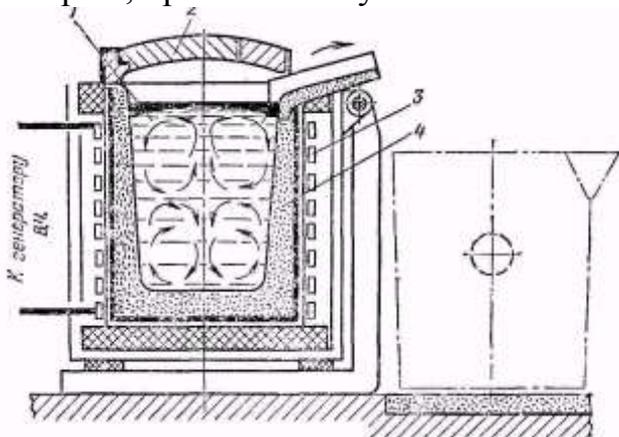


Рисунок 78. Схема индукционной тигельной электрической печи.

мощные вихревые токи (Фуко), нагревающие металл до расплавления и необходимых температур перегрева. Тигель может быть изготовлен из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупорных материалов. Емкость тигля от 60 до 25 т. Ток к индуктору подводится от генератора высокой частоты - лампового (лабораторные печи) или машинного.

Разливка стали, Технологические дефекты строения слитка.

Технологическая схема сталеплавильного производства приведена на рис. 79.

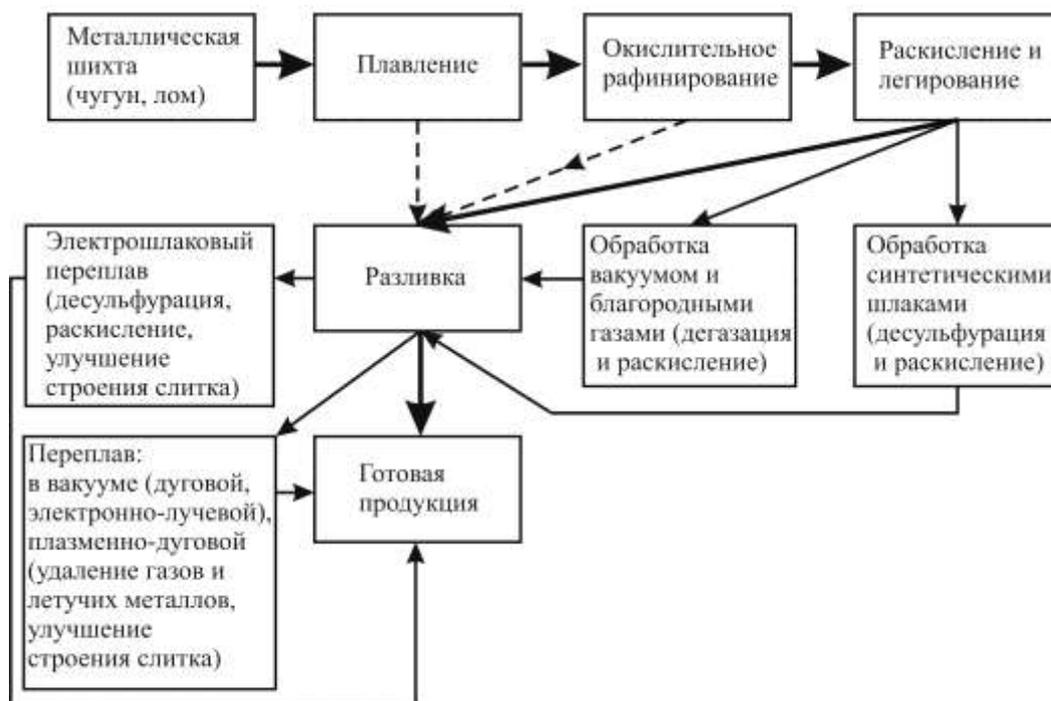


Рисунок 79. Технологическая схема сталеплавильного производства

Разливка стали – один из важнейших процессов в получении слитка. Условия разливки определяют строение слитка.

В зависимости от технологического оборудования (сталелитейного и сталепрокатного) жидкую сталь разливают в **изложницы** или на **установках непрерывного литья заготовки**.

Изложница – металлическая форма для отливки металла в виде слитка.

Разливка в изложницы – наполнение жидким металлом изложниц или литейных форм для получения слитков.

Разливке предшествует выпуск металла из плавильного агрегата в сталеразливочный ковш.

На качество слитка высокосортной стали **влияют многие факторы**: чистота оборудования и в цехе, форма и размеры изложниц, температура и скорость разливки, смазка изложниц, метод разливки, качество огнеупорных материалов, характер остывания слитка.

Стальной слиток – сплав на основе железа, затвердевший при остывании в изложнице.

Способы разливки стали приведены на рис. 80.

Преимущества разливки сифоном.

Оптимальное время разливки: не более 30–40 мин. Слитки одной плавки более однородны.

Наполнение изложницы в 2÷3 раза медленнее, чем при разливке сверху – важно для качества слитка. В частности, газы от сторающей смазки имеют возможность подняться и выйти из изложницы. Поэтому слитки имеют меньше подкорковых пузырей, чем при отливке сверху.

Металл, поднимающийся в изложнице, доступен наблюдению в течение всего времени разливки.

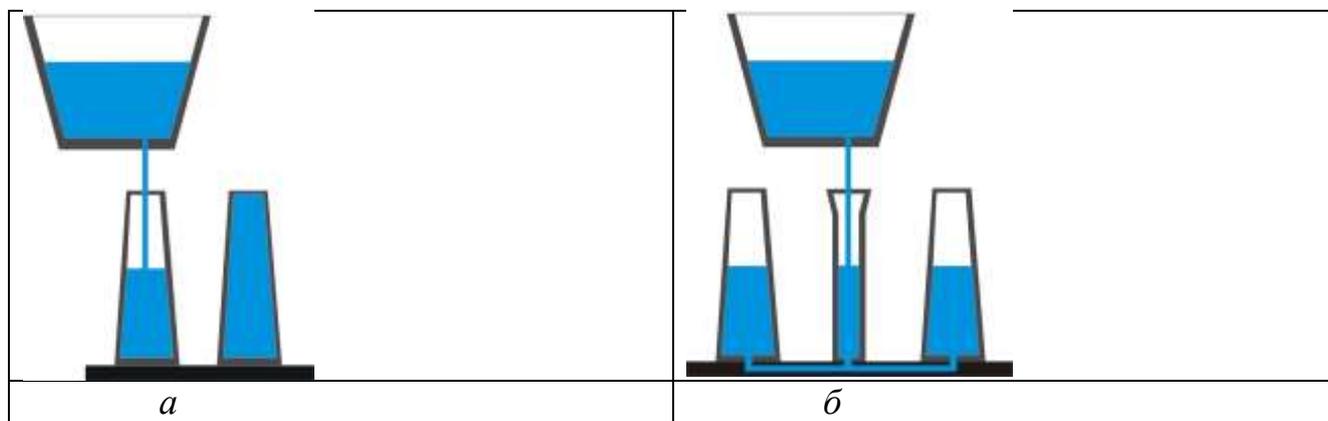


Рисунок 80. Способы разливки стали *а* – сверху; *б* – сифоном

При разливке сверху струя металла, ударяясь о дно изложницы, разбивается и образует много брызг, которые создают некачественную поверхность. При сифонной разливке металл в изложнице поднимается спокойно, и благодаря этому слитки получают с более чистой поверхностью.

Отрицательные стороны сифонной разливки связаны с большей вероятностью загрязнения металла. Разливка сифоном – более дорогая операция, так как она связана с дополнительными затратами на огнеупоры.

Разливка струей сверху применяется преимущественно для слитков большого веса (> 20 т) и в случаях, когда требуется высокая степень чистоты.

В изложнице жидкая сталь, в зависимости от содержания в ней кислорода, затвердевает как **спокойный**, **полуспокойный** или **кипящий** слиток. Чем ниже содержание кислорода в стали, тем меньше его прореагирует с углеродом и тем спокойнее, т.е. без образования пузырей и «кипения», пройдет кристаллизация.

Содержание кислорода в жидкой стали определяется содержанием углерода, марганца, кремния и алюминия. В зависимости от содержания кислорода сталь затвердевает с образованием пузырей или **усадочной раковины**. **Наиболее плотный слиток у спокойной стали.**

Усадочная раковина – пустота, возникающая в слитке (отливке) в результате **усадки** (уменьшения объема) при переходе металла из жидкого состояния в твердое (объемный эффект фазового превращения).

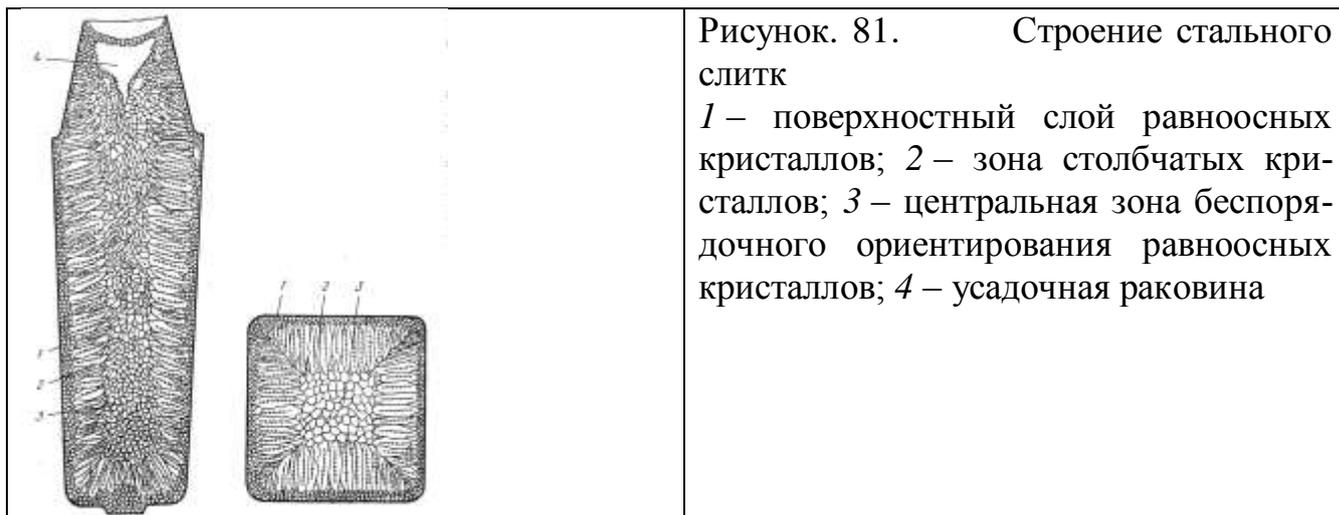
Главные факторы, от которых зависит качество отливаемых слитков, – температура, скорость разливки и скорость кристаллизации.

Разницу между температурой струи металла и температурой кристаллизации стали называют **перегревом**. Он должен быть не ниже определенной величины.

При холодном металле вынужденная большая скорость разливки вредна, потому что газы от сгорающей смазки не успевают выделяться, задерживаются вязким металлом, образуют поры, которые обнаруживаются при обдирке или на заготовке в виде **волосовин**. Холодно разлитый вязкий металл имеет и больше включений. Отлитые при низкой температуре последние слитки в плавке дают больше брака по механическим свойствам и порокам излома, чем остальные слитки.

При быстрой разливке горячего металла слитки будут поражены **продольными трещинами**. Слишком быстрая разливка приводит к увеличению усадочной раковины, большему развитию химической неоднородности (**ликвации**). Пе-

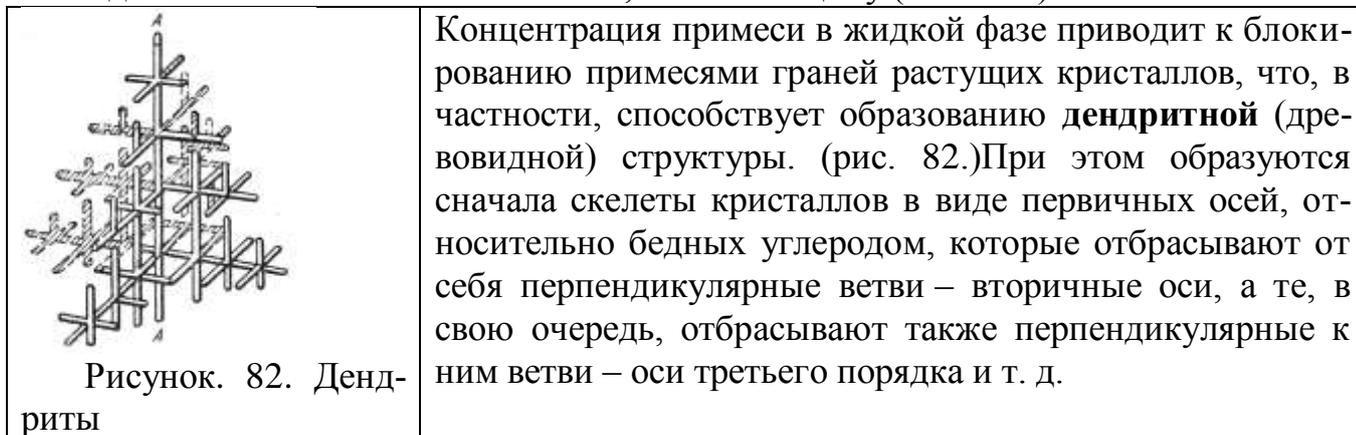
регрев уменьшают продувкой аргоном, добавлением металлолома во время продувки.



Структура стального слитка формируется в результате последовательной кристаллизации, которая начинается на поверхности (так как работа образования критического зародыша при гетерогенном зародышеобразовании меньше) в наиболее холодных местах, распространяется в глубину и заканчивается в центре слитка.

Кристаллизация стали в изложнице начинается еще при разливке сразу из многих центров от стенок изложницы. Большой перегрев расплава не препятствует зародышеобразованию у стенок изложницы, однако замедляет рост кристаллов.

Поверхностный слой равноосных кристаллов 1 (рис.81), состав которых совпадает с составом металла в ковше, имеет толщину (6÷15 мм).



Отсутствие направленного роста кристаллов этого слоя и их малый размер объясняются:

большим количеством центров кристаллизации,
случайной ориентацией роста,
столкновением кристаллов и прекращением их роста.

Зона столбчатых кристаллов

Образование столбчатых кристаллов связано с ухудшением теплоотвода, уменьшением числа центров кристаллизации, возможностью роста кристаллов, только благоприятно ориентированных по отношению к направлению теплоотвода.

На протяженность зоны столбчатых кристаллов влияют следующие факторы.

Интенсивность теплоотвода (∇T – градиент температуры) – чем выше интенсивность теплоотвода, тем крупнее кристаллы, пока не достигнуто переохлаждение, необходимое для гомогенного зародышеобразования.

Степень перегрева расплава – чем выше перегрев, тем крупнее кристаллы.

Конвекция – интенсивное движение расплава приводит к обламыванию ветвей растущих дендритов.

Неметаллические включения – они становятся центрами кристаллизации и уменьшают зону столбчатых кристаллов.

Модифицирование модификаторами 1-го рода – поверхностно-активные примеси препятствуют росту граней, и **2-го рода** – частицы тугоплавких материалов служат центрами кристаллизации, что приводит к измельчению структуры и исчезновению зоны столбчатых кристаллов.

Механическое измельчение зерен – оно происходит в результате вибрации изложницы или воздействия ультразвуком.

Центральная зона слитка

На образование центральной зоны влияют следующие факторы.

Понижение температуры ликвидуса, возникающее в результате оттеснения примесей в жидкую фазу, может приводить к снижению скорости кристаллизации.

Теплота кристаллизации, выделяющаяся в процессе роста столбчатых кристаллов, частично передается жидкой части слитка. Поэтому возможно замедление или даже остановка процесса кристаллизации.

Очень слабая анизотропия теплоотвода при достаточном количестве кристаллических зародышей приводит к образованию равноосных неориентированных кристаллов больших размеров.

Нижний конус слитка

Изолированные кристаллы переносятся потоками жидкого металла вниз из-за большей по отношению к расплаву плотности твердой фазы. В нижней части слитка эти кристаллы образуют **нижний конус слитка**. Они содержат меньше примесей, но более загрязнены неметаллическими включениями.

Из-за совместного охлаждающего влияния массивного дна и стенок нижней части изложницы в слое металла небольшой толщины у фронта кристаллизации возникает переохлаждение, обуславливающее появление конуса кристаллов повышенной чистоты.

Технологические дефекты строения слитка

Дендритная ликвация.

Зональная ликвация.

Усадочная раковина.

Усадочная рыхлость.

Дендритная ликвация

Стальной слиток обладает не только неоднородностью кристаллического строения, но и неравномерностью распределения основных элементов, входящих в состав стали, неметаллических включений и газов.

Неравномерность распределения называют **ликвацией**.

При равновесном коэффициенте распределения $K_0 < 1$ примесь оттесняется в рас-

плав, а при $K_0 > 1$ примесь захватывается твердой фазой. Для характеристики ликвации примеси используют **коэффициент ликвации** K_L , который пропорционален K_0 :

$K_L = y_S / y_L$, где y – массовое содержание примеси, %; индексы S и L относятся к твердой и жидкой фазам соответственно. Ликвация тем больше, чем меньше коэффициент ликвации. При $K_L < 1$ дендриты чище, а между ними кристаллизуется более грязный маточный раствор – **дендритная ликвация (микроликвация)**.

Развитие дендритной ликвации количественно определяется соотношением скоростей диффузии и скорости кристаллизации.

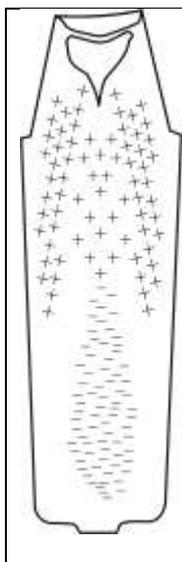


Рисунок. 83. Зональная ликвация

В слитке также различают **зональную ликвацию** (макроликвацию, гравитационную ликвацию). (рис.83.) **Зональная ликвация** является результатом дендритной ликвации, диффузии примесей и перемещения металла, обогащенного примесями, из междендритных пространств во внутренние и в верхние зоны слитка.

Более легкие примеси всплывают в верхнюю часть слитка. Переносу примесей вверх способствуют также поднимающиеся газы, которые увлекают примеси.

Чем больше скорость кристаллизации, тем более она неравновесна и тем меньше ликвация.

В более крупном слитке кристаллизация идет медленнее, а следовательно, ликвация будет больше.

Усадочная раковина

Жидкая сталь имеет меньшую плотность, чем твердая, поэтому застывание стали сопровождается **усадкой**. Кристаллизационная усадка углеродистой стали составляет $3 \div 3,5$ % и увеличивается с ростом перегрева металла (за счет явления теплового расширения).

Чтобы избежать образования усадочной раковины внутри слитка, используют изложницы, расширяющиеся кверху на $2 \div 5$ %. При разливке в изложницы с утепляющими надставками последним застывает металл в головной части слитка, где и образуется **усадочная раковина**.

Усадочная рыхлость

Уменьшение объема при затвердевании вызывает перемещение жидкого металла из верхних частей слитка в нижние и из средних частей в междендритные пространства. По мере уменьшения осевой жидкой части продвижение жидкого металла затрудняется. Дендриты, растущие навстречу, могут встретиться и образовывать мостики. Это ухудшает питание нижележащих слоев. При затвердевании последних порций жидкий металл может оказаться не в состоянии заполнить все пустоты, что приводит к образованию осевой **усадочной рыхлости** и **междендритной пористости**.

Пористость может быть вызвана и скоплением газов, выделившихся из раствора при понижении температуры: повышенная в конце затвердевания слитка вязкость металла затрудняет их удаление в усадочную раковину.

Тема 14. Технология литейного производства

14.1. Теоретические основы производства отливок. Литейные сплавы и их применение.

Литейные свойства сплавов. Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов. К основным литейным свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение и ликвацию.

Жидкотекучесть — способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, при низкой — полость формы заполняется частично, в узких сечениях образуются недоливы.

С увеличением в исходном материале содержания серы, кислорода и хрома жидкотекучесть снижается, а с повышением содержания фосфора, кремния, алюминия и углерода — увеличивается.

В зависимости от жидкотекучести сплава выбирают минимальную толщину стенок отливок. Например, при изготовлении в песчаных формах отливок из серого чугуна минимальная толщина стенок мелких отливок 3—4 мм, средних — 8 - 9 мм, крупных — 12 - 15 мм; при изготовлении стальных отливок минимальная толщина стенок составляет: мелких отливок — 5 - 7 мм, средних — 10 - 12 мм, крупных — 15 - 20 мм.

Усадка — свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли — дополнительные резервы с расплавленным металлом и холодильники.

В отливках вследствие неравномерного охлаждения возникают напряжения, которые могут вызывать образование трещин или коробление.

Газопоглощение — способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы.

При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается и в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Для уменьшения ~ газонасыщенности сплавов применяют плавление в вакууме или в среде инертных газов и другие методы.

Ликвация — неоднородность химического состава в различных частях отливки. Различают зональную и дендритную ликвацию. Зональная ликвация — это химическая неоднородность в объеме всей затвердевшей детали. Дендритная ликвация — химическая неоднородность в пределах одного зерна (дендрита) сплава. Ликвация зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, (скорости охлаждения и других факторов).

Сущность литейного производства состоит в получении заготовок или деталей путем заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки или детали. При охлаждении залитый металл затвердевает и сохраняет конфигурацию полости

формы. Литые заготовки (отливки) в дальнейшем подвергают механической обработке.

Для изготовления отливок служит литейная ферма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка. Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы, изготовленные по выплавляемым моделям, оболочковые формы и др.), так и из металлов (кокили, пресс-формы для литья под давлением, изложницы для центробежного литья).

14.2.Изготовление отливок в песчано-глинистых формах. Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Этим способом изготавливают разнообразные по конфигурации отливки из чугуна, стали и сплавов цветных металлов от нескольких десятков грамм до сотен тонн с толщиной стенки от 3—5 до 1000 мм и длиной до 10 000 мм.

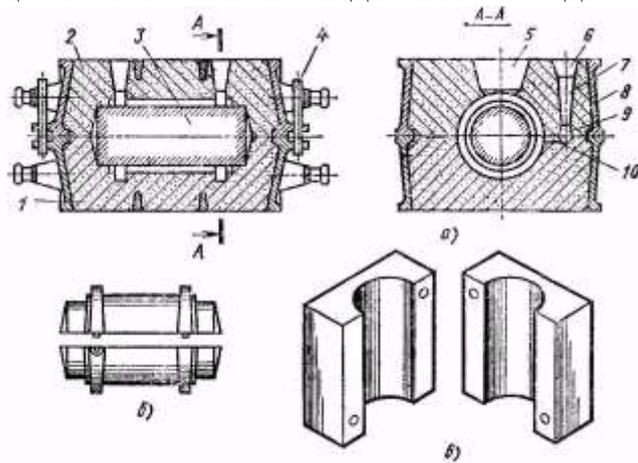


Рисунок 84 Эскиз литейной формы и модельной оснастки: а- литейная форма; б- модель; в- стержневой ящик

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейная форма (рисунок 84) обычно состоит из нижней 1 и верхней 2 полуформ, которые изготавливают в опоках 8 — приспособлениях для удержания формовочной смеси.

Нижнюю и верхнюю полуформы взаимно ориентируют с помощью металлических штырей 4, которые вставляют в отверстия приливов у опок. Для образования полостей, отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины в полости формы. Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

Литниковая система — совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы. Основными элементами литниковой системы является (рис.84) литниковая чаша 6, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму, стояк 7 — вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши непосредственно в рабочую полость или к другим элементам, шлакоуловитель 9, с помощью которого

удерживается шлак и другие неметаллические примеси, а также питатель 10 (один или несколько), через который расплавленный металл подводится в полость литейной формы. Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыль или выпор 5.

Модельный комплект — приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики (один или несколько), модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны, используемые для образования при формовке рабочей полости литейной формы.

Литейная модель — приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Модели бывают неразъемные, разъемные и специальные.

Стержневой ящик — формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Стержневые ящики бывают разъемные и неразъемные.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели, включая модели литниковой системы. Эти плиты используют для изготовления опочных и безопочных полуформ.

Формовочные смеси представляют собой многокомпонентное сочетание материалов. (формовочного кварцевого песка, формовочной глины, различных связующих)

Облицовочная смесь используется для образования рабочей поверхности формы. Ее наносят на поверхность модели слоем толщиной 15—30 мм. *Наполнительная смесь* используется для заполнения опоки после нанесения облицовочного слоя на поверхность модели.

Единая смесь применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси.

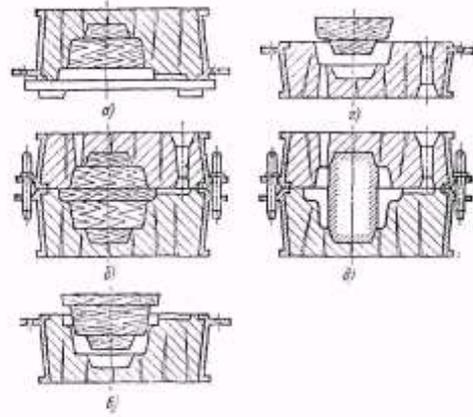
Стержневые смеси представляют собой многокомпонентное сочетание материалов, соответствующих условиям технологического процесса изготовления неметаллических литейных стержней. Стержневые смеси для сложных стержней готовят из кварцевого песка с добавкой различных связующих материалов (олифы, сульфитно-спиртовой барды, синтетических смол).

Формовочные и стержневые смеси должны обладать достаточной прочностью, высокой газопроницаемостью, пластичностью, достаточной огнеупорностью и податливостью, пониженной газотворной способностью.

Формовка — это совокупность технологических операций изготовления литейных форм и стержней, способных выдерживать воздействие расплавленного металла и сообщать ему свои очертания.

Основными операциями формовки являются наполнение опоки формовочной смесью, уплотнение ее, извлечение модели и сборка формы. При формовке в форме предусматривают вентиляционные каналы для выхода газов, образующихся при заливке расплавленного металла.

Ручная формовка применяется при изготовлении крупных и средних отливок в единичном и мелкосерийном производстве. В большинстве случаев применяют формовку в парных опоках по неразъемной или разъемной модели. Последовательность выполнения основных технологических операций формовки в парных



опоках по разъемной модели (рис. 85.)

Рисунок 85. Схема последовательных операций формовки в парных опоках; а – изготовление нижней полуформы; б – изготовление верхней полуформы; в – извлечение моделей из нижней полуформы; г – извлечение моделей из верхней полуформы; д – сборка формы

Машинная формовка является в настоящее время основным способом изготовления литейных форм в парных опоках. Осуществляется она по модельным плитам. При машинной формовке механизуют уплотнение формовочной смеси в опоках, извлечение модели из формы и ряд вспомогательных операций (поворот полуформ, устройство литниковой системы и др.). Машинная формовка обеспечивает более высокую геометрическую точность полости формы, чем ручная формовка, повышает производительность труда, сокращает цикл изготовления отливок. При машинной формовке формовочную смесь уплотняют встряхиванием, прессованием, с помощью пескомата, импульсным способом и др.

Извлечение моделей из форм при машинной формовке осуществляется с помощью специальных вытяжных и поворотных механизмов, что способствует получению более точных отливок.

Сборка литейных форм включает установку стержней, контроль отклонения размеров основных полостей формы, накрывание нижней полуформы верхней, скрепление полуформ перед заливкой.

Заливку форм расплавленным металлом производят из конических, барабанных и других ковшей, футерованных огнеупорным материалом и высушенных до полного удаления влаги. Температура заливаемого металла зависит от рода сплава, толщины стенок отливки, их конфигурации и т. п. Заливку форм ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши. В производстве широко применяют автоматические заливочные установки.

Выбивку отливок из литейных форм осуществляют на вибрационных решетках и очищают в очистных барабанах или дробеметных установках камерного или барабанного типа. При очистке в дробеметных установках отливки подвергаются ударному воздействию струи металлической дроби, выбрасываемой дробеметным колесом со скоростью до 70 м/с. Обрубку и зачистку отливок от остатков питателей, заусенцев и заливок производят шлифовальными кругами или на обрезных прессах.

14.3. Особенности изготовления отливок из различных сплавов. Для стальных отливок формовочную смесь готовят из высокоогнеупорных материалов с низкой влажностью. Поверхности литейных форм и стержней покрывают огне-

упорными красками. Для уменьшения напряжений в отливках при охлаждении увеличивают податливость форм и стержней. Литниковая система должна обеспечивать плавное заполнение формы, отделение неметаллических включений и не должна препятствовать усадке. Для предупреждения усадочных раковин устанавливают прибыли, в которых металл затвердевает в последнюю очередь, что позволяет получать отливки без усадочных раковин.

При изготовлении чугунных отливок для уменьшения пригара в формовочные смеси добавляют каменноугольную пыль. Расплавленный чугун подводят в тонкие сечения отливок. При изготовлении отливок из высокопрочного и ковкого чугунов для предупреждения усадочных раковин устанавливают прибыли или питающие бобышки. Для предупреждения трещин в отливках используют формовочную смесь повышенной податливости.

Для отливок из цветных сплавов формовочные и стержневые смеси готовят из мелкозернистых кварцевых песков. Формовочная смесь должна обладать повышенной податливостью для предупреждения в отливках трещин. При изготовлении магниевых отливок в формовочную смесь вводят фтористые добавки во избежание самовозгорания магния. Расплавленный металл в форму подводят через литниковую систему с увеличенным поперечным сечением питателей, что обеспечивает плавное заполнение полости формы. Для предупреждения усадочных раковин устанавливают прибыли и холодильники.

14.4. Специальные способы литья.

Изготовление отливок в металлических формах осуществляется различными способами. Наибольшее распространение получили литье в кокиль, под давлением и центробежное.

Литье в кокиль — изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях. Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю.

Основные элементы кокиля — полуформы, поддоны, стержни и т. д. — обычно изготавливают из серого и высокопрочного чугунов, стали и алюминиевых сплавов литьем, механической обработкой и т. д.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях. Несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружных поверхностях изготавливают в кокилях с вертикальным разъемом

При изготовлении крупных, простых по конфигурации отливок используют кокили с горизонтальными разъемами.

Кокили с комбинированным разъемом применяют при изготовлении сложных отливок. Полости в отливках получают с помощью песчаных или металлических стержней. Металлические стержни удаляют из отливки после образования в ней прочной корки.

Литье под давлением — процесс получения отливок в металлических формах (пресс-формах), при котором заливка расплавленного металла в форму и формирование отливки осуществляется под давлением при интенсивном отводе теплоты от залитого металла, затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивной ме-

таллической пресс-форме. Отливку изготавливают на специальных машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования.

Литье под давлением позволяет получать отливки, максимально приближенные по форме и размерам к готовой детали, дает возможность изготовить сложные тонкостенные отливки с толщиной стенок 0,8 — 6 мм и отверстиями диаметром до 1 мм, массой от нескольких граммов до 45 кг (корпуса приборов, декоративные изделия, детали двигателей автомобилей).

Недостатком этого способа является высокая стоимость, сложность изготовления, ограниченный срок службы пресс-форм, опасность появления трещин в отливках.

Центробежное литье — процесс получения отливок из расплавленного металла во вращающихся формах. Формирование отливки осуществляется в поле действия центробежных сил, что измельчает их структуру, очищает расплав от неметаллических включений, повышает механические свойства и герметичность отливок. Центробежным литьем изготавливают отливки на специальных машинах с горизонтальной или вертикальной осями вращения.

Тема 15. Технология обработки металлов давлением. Сущность и виды обработки металлов давлением. Прокатка. Ковка. Штамповка.

Обработка металлов давлением основана на способности металлов (и ряда неметаллических материалов) в определенных условиях получать пластические (остаточные) деформации в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Процессы обработки металлов давлением разделяют на следующие:

Прокатка заключается в обжатии заготовки между вращающимися валками. Силами трения $P_{тр}$ заготовка втягивается между валками, а силы P , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

Прессование заключается в продавливании заготовки, находящейся в замкнутой форме, через отверстие матрицы, причем форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна отношению площадей поперечного сечения исходной заготовки и выдавленной части и перемещению давящего инструмента.

Волочение заключается в протягивании заготовки через сужающуюся полость матрицы; площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Ковкой изменяют форму и размеры заготовки путем последовательного воздействия универсальным инструментом на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента — штампа (для каждой детали изготавливают свой штамп).

Различают листовую и объемную штамповку. Листовой штамповкой получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (листа, ленты, полосы). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона и матрицы. При объемной штамповке сортового металла па заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют специализированным инструментом — штампом, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

Основные способы обработки металлов давлением

Схема основных видов обработки металлов давлением приведена на рисунке 86.

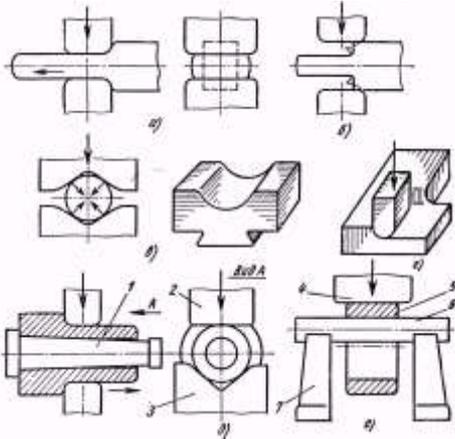


Рисунок 86. Схемы основных видов обработки металлов давлением: а-прокатки; б-прессования; в-волочения; г-ковки; д-листовой штамповки; е-объемной штамповки

Прокатное производство.

Прокатка — один из видов обработки металлов давлением, при котором металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую.

При *продольной прокатке* заготовка деформируется между двумя валками, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков.

При *поперечной прокатке* валки, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке, которая, перемещаясь вдоль оси валков, деформируется.

При *поперечно-винтовой прокатке* валки расположены под углом и сообщают заготовке при деформировании вращательное и поступательное движения.

Продукция прокатного производства

Область применения прокатанного металла огромна: непосредственно в конструкциях (мостах, зданиях, железобетонных конструкциях, железнодорожных путях, станинах машин и т. д.), в качестве заготовки для изготовления деталей в механических цехах и заготовки для последующейковки и штамповки.

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется его *профилем*. Совокупность различных профилей разных размеров называется *сортаментом*. Сортамент прокатываемых профилей разделяют на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой трубы и специальные виды проката.

Профили *сортового проката* подразделяют на две группы: простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и сложной — фасонной формы (швеллеры, двутавровые балки, рельсы, уголки и т.д)

Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили – круглый, квадратный, прямоугольный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на электротехническую, судостроительную, котельную, автолист (для изготовления деталей в автомобильной и тракторной промышленности), жечь для консервной промышленности и т.д. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (тол-

щиной 4 — 100 мм) и тонколистовую (толщиной 4—0,2 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют *фольгой*. Броневые плиты имеют толщину до 550 мм. Цветные металлы и сплавы прокатывают в виде листов и лент различных размеров и толщиной 0,2—25

Трубы стальные разделяют в основном на бесшовные диаметром 30—650 мм и сварные диаметром 10 — 1420 мм. Кроме того, стальные трубы различают по назначению.

В качестве примера *специальных видов проката* можно указать на колеса, кольца, зубчатые колеса, периодические профили и т. п. Периодические профили представляют собой заготовку, форма и площадь поперечного сечения которой периодически изменяется вдоль оси.

Ковка.

Ковка - вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку укладывают на нижний боек и универсальным инструментом – верхним бойком последовательно деформируют на отдельных участках заготовки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные) бойки, а также различный подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют *коваными поковками*, или просто *поковками*.

Ковка является единственным возможным способом изготовления тяжелых поковок (до 250 т и более) типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д.

Основные операции ковки и применяемый инструмент

Основные операции ковки и применяемый инструмент приведены на рис. 87.

Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. К основным операциям ковки относятся: осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, скручивание.

Каждая основная кузнечная операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом.

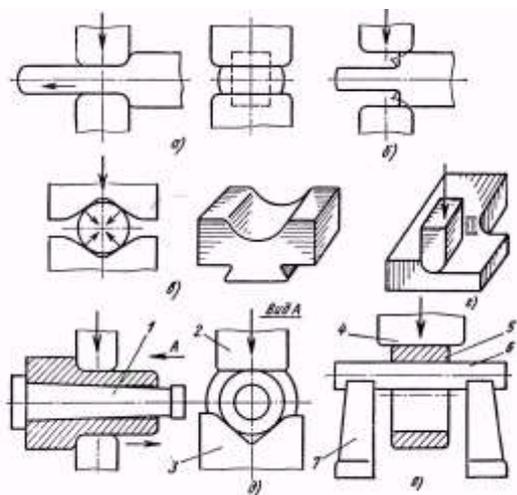


Рисунок 87. Схема протяжки и ее разновидностей

Осадка - операция уменьшения высоты заготовки при увеличении ее поперечного сечения.

Осадку применяют:

-для получения поковок с большими поперечными размерами при относительной малой высоте (зубчатые колеса, диски и т.п.);

-как предварительную операцию перед прошивкой при изготовлении пустотелых поковок (колец, барабанов);

-как предварительную операцию для уничтожения литой дендритной структуры слитка и улучшения механических свойств изделия.

Протяжка — операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения (рис. 87,а)

Протяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные участки заготовки, примыкающие один к другому, с подачей заготовки вдоль оси протяжки и поворотами на 90° вокруг этой оси. При каждом нажатии уменьшается высота сечения, увеличиваются ширина и длина заготовки. Чем меньше подача при каждом нажатии, тем интенсивнее удлинение. Однако при слишком малой подаче получают зажимы

(рис. 87,б)

Протягивать можно плоскими (рис. 87,а) и вырезными (рис. 87,в) бойками.

Разгонка-операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. 87, г)

Протяжка с оправкой-операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 87, д)

Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 872, е)

Прошивка - операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла.

Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка).

Отрубка – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента – топора.

Отрубку применяют для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах поковок, а также прибыльной и донной частей слитка и т.п. инструмент для отрубки – топоры различной формы.

Гибка — операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т.п.

Скручивание – операция, посредством которой часть заготовки поворачивается вокруг продольной оси

Скручивание можно применять при развороте колен коленчатых валов, при изготовлении сверл и т. п. При скручивании обычно одну часть заготовки зажимают между бойками, другую разворачивают с помощью различных приспособлений — воротков, ключей, лебедок.

Горячая объемная штамповка

Горячая объемная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при кото-

ром формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа. Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую полость (ручей) по конфигурации поковки.

Способы горячей объемной штамповки

В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и в закрытых штампах.

Штамповка в открытых штампах. Эта штамповка характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает заусенец (облой), который закрывает выход из полости штампа и заставляет металл целиком заполнить всю полость.

Штамповка в закрытых штампах. Эта штамповка характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование заусенца в нем не предусматривается.

Существенным преимуществом штамповки в закрытых штампах является уменьшение металла, поскольку нет отхода в заусениц. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец.

Холодное выдавливание

Обычно под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки, при комнатной температуре.

Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс деформирования соответствует условиям холодной деформации.

Холодную штамповку можно подразделить на объемную штамповку (сортового металла) и листовую штамповку (листового металла).

Основными разновидностями холодной объемной штамповки являются холодное выдавливание, холодная высадка и холодная объемная формовка.

Схема деформирования холодного выдавливания сходна со схемой прессования.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании металл вытекает в отверстие, расположенное в донной части матрицы, в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона относительно матрицы. Так можно получать детали типа стержней с утолщениями (болты, тарельчатые клапаны и т. п.).

При обратном выдавливании направление течения металла противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы.

При боковом выдавливании металл вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, не совпадающем с направлением движения пуансона. Таким способом можно получить детали типа тройников, крестовин и т. п.

Тема 16. Общая характеристика сварочного производства

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединителей различных материалов. Сварку применяют для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, карборундом, стеклом и др.), а также пластмасс.

16.1. Физические основы получения сварного соединения

Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами или молекулами на поверхности соединяемых заготовок. Для получения сланного соединения требуется сблизить соединяемые, поверхности на расстояния, в пределах которых начинают действовать межатомные силы сцепления, и создать необходимые для возникновения межатомных или межмолекулярных связей условия: определенные температуру, время контакта и качество поверхности.

Способы сварки могут быть классифицированы либо по методу объединения поверхностей соединяемых заготовок, либо по виду применяемой энергии. По первому признаку их можно разделить на способы сварки плавлением и способы сварки давлением.

При сварке плавлением происходит расплавление кромок свариваемых заготовок, а в случае необходимости — также присадочного материала для дополнительного заполнения зазора между ними. В результате образуется общая сварочная ванна расплавленного материала. После затвердевания сварочной ванны образуется соединение в виде сварного шва. К способам сварки плавлением относятся: дуговая сварка (ручная покрытым электродом, автоматическая под флюсом, газоэлектрическая, дуговой плазмой, электрошлаковая, электронно-лучевая и газовая).

16.2. Сварка плавлением

Дуговая сварка. Сущность процесса

Источником теплоты при дуговой сварке является электрическая дуга, которая горит между двумя электродами, при этом часто один электрод представляет собой свариваемую заготовку.

Ручная дуговая сварка

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. Для удержания электрода и подвода к нему тока сварщик использует электрододержатель.

Дуга горит между стержнем электрода и основным металлом. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода, образуя газовую защитную атмосферу вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла.

Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает, и образуется сварочный шов. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку.

Ручную дуговую сварку довольно широко применяют в производстве металлоконструкций для самых различных металлов и сплавов малых и средних толщин (2—30 мм). Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях (нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном), а также при наложении швов в труднодоступных местах.

Аргонодуговая сварка. Этим способом можно сваривать по двум схемам: неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку *неплавящимся электродом* применяют, как правило, при соединении металла толщиной 0,1—6 мм; *плавящимся*

электродом — от 2 мм и более. Разграничение по толщинам является условным. Нередко, когда производительность не является главным показателем сварочного процесса, металл значительной толщины также сваривают неплавящимся электродом многослойным швом.

В атмосфере аргона неплавящимся вольфрамовым электродом сваривать можно с расплавлением только основного металла (толщиной до 3 мм), а при необходимости усиления шва или заполнения разделки кромок (толщина более 3 мм) и придаточного материала (прута или проволоки).

Преимущества сварки в защитных газах обусловили области ее применения. Аргонодуговую сварку применяют при производстве конструкций из легких (алюминия и магния) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и сплавов, а также конструкционных легированных и высоколегированных сталей.

Газовая сварка

Газовая сварка — это процесс сварки плавлением, при котором место соединения нагревают до расплавления высокотемпературным газовым пламенем. При нагревании газосварочным пламенем кромки свариваемых заготовок расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом, который вводят в пламя горелки извне. Газовое пламя получается при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода.

16.3. Сварка давлением

Электрическая контактная сварка. Сущность процесса

Контактная сварка относится к способам сварки давлением с кратковременным нагревом места соединения без оплавления или с оплавлением и с осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов — быстрота пластической деформации, в ходе которой формируется сварное соединение.

Способы контактной сварки получили наибольшее промышленное применение благодаря простоте выполнения и высокой производительности.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т.е. сварка поверхностей.

Стыковая сварка

Стыковая сварка является видом контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. При стыковой сварке свариваемые заготовки закрепляют в зажимах стыковой машины.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением, а при разогреве торцов заготовки до оплавления — сварку оплавления.

Точечная сварка

Точечная сварка — вид контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках, причем одновременно можно сваривать одну, две или несколько точек; их положение определяется расположением электродов точечной маши-

ны. При точечном сварке заготовки собирают внахлестку и зажимают с некоторым усилием P между двумя медными электродами, подводящими ток к месту сварки.

Точечной сваркой изготовляют штампосварные соединения при соединении отдельных штампованных деталей сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность.

Точечная сварка — универсальный способ, применяемый при изготовлении изделия из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных, конструкционных и коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов. Толщина свариваемых металлов составляет 0,5—5 мм.

16.4. Специальные виды сварки металлов

Сварка электронным лучом в вакууме

Электронный луч представляет собой поток сжатых электронов, перемещающихся с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле.

Фокусировкой достигается высокая удельная мощность (до 15—50 кВт/см² и выше). При перемещении заготовки под неподвижным или подвижным лучом образуется сварной шов.

Ультразвуковая и электронно-лучевая сварка

При ультразвуковой сварке для получения механических колебаний высокой частоты используют магнитострикционный эффект, заключающийся в изменении размеров некоторых металлов, сплавов и керамических материалов под действием переменного магнитного поля.

Электронно-лучевой сваркой изготовляют детали из тугоплавких химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, ниобиевых, циркониевых, молибденовых и т. п.), а также из высоколегированных сталей. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная — до 100 мм.

Электронно-лучевой сваркой можно соединять малогабаритные изделия, применяемые в электронике и приборостроении, и крупногабаритные изделия длиной и диаметром в несколько метров.

Ультразвуковую сварку применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

16.5. Особенности сварки различных металлов и сплавов

Сварка углеродистых и легированных конструкционных сталей

Основная трудность при сварке углеродистых и легированных сталей заключается в закалке околошовной зоны и возможности образования холодных трещин. Для предупреждения холодных трещин рекомендуется:

- 1) подогревать изделия до 100 — 300°С для замедления охлаждения и исключения закалки сварного соединения;
- 2) заменять однослойную сварку многослойной; при этом сваривают валиками небольшого сечения по остывшим (ниже 100 -300°С) нижним слоям металла;
- 3) применять для сварки основные электроды и флюсы; перед сваркой прокалить электроды и флюсы при 400—450°С в течение нескольких часов для удаления из них влаги; сваривать на постоянном токе обратной полярности;

4) производить отпуск изделий непосредственно после сварки до 300°С и выше для повышения пластичности закаленной структуры.

Сварка высокохромистых сталей

Высокохромистые стали, содержащие 12—28% Cr, обладают антикоррозионными и жаропрочными свойствами.

Трудности при сварке ферритных сталей связаны с охрупчиванием металла шва и зоны термического влияния. При нагреве до высоких температур происходит интенсивное укрупнение зерен. При замедлении охлаждения в области температур 550—400° С по границам зерен выпадают хрупкие фазы.

Для предупреждения указанных явлений при сварке этих сталей необходимо:

-сваривать при малых погонных энергиях, т. е. применять пониженные значения тока и валики малого сечения для ускорения охлаждения при сварке;

-отжигать после сварки при 800—900°С для растворения хрупких фаз с последующим быстрым охлаждением.

При сварке ферритно-мартенситных и мартенситных сталей возможны трещины. Для предупреждения трещин эти стали закалка шва и околошовной зоны, и образование холодных сваривают с подогревом до 200 — 300° .

Сварка чугуна

Чугун относится к категории плохо свариваемых сплавов. Его сваривают для исправления дефектов в отливках и при ремонте деталей, получивших трещины при эксплуатации.

Горячую сварку чугуна выполняют с предварительным подогревом свариваемых деталей до 400 — 700°С.

При холодной сварке чугуна сваривают стальными, медно-железными, медно-никелевыми электродами и электродами из аустенитного чугуна.

Медно-железные электроды состоят из медного прутка с оплеткой из жести или пучка из медных и стальных стержней. Электроды имеют специальное или стабилизирующее покрытие. Медно-никелевые электроды состоят из стержней монель-металла (70% Ni, 28% Cu и остальное Fe) или мельхиора (80% Cu, 20% Ni) со стабилизирующей обмазкой

Сварка меди и ее сплавов

Получили развитие ручная и автоматическая дуговая сварка меди угольным и металлическим электродами. При ручной сварке угольным электродом применяют присадочные прутки из оловянистой или кремнистой бронзы и флюсы, основной частью которых является бура.

Успешно применяют сварку меди в атмосфере защитных газов (аргоне, азоте или в их смесях). Сваривают вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. В качестве присадочного материала применяют прутки из меди, содержащие кремний, олово, марганец. Рекомендуется подогрев от 200 до 800° С.

Сварка алюминия и его сплавов

Применение активных флюсов позволяет растворить этот окисел алюминия с поверхности металла, обеспечить условия для нормального формирования сварного шва. Флюсы и обмазки для сварки алюминия и его сплавов состоят из смеси хлористых и фтористых солей щелочноземельных металлов (NaCl, KCl, LiF и т. п.).

Алюминий можно сваривать различными способами дуговой и газовой сварки. При ручной дуговой сварке металлическим электродом применяют прутки того же состава, что и свариваемый материал, с обмазкой их из смеси хлористых и фтористых солей.

Наиболее широко применяют сварку алюминия и его сплавов в защитных газах.

Сварка тугоплавких металлов и сплавов

К тугоплавким металлам относятся титан, цирконий, ниобий, молибден и др., у которых температура плавления выше, чем у железа. Для получения качественных сварных соединений необходимо создавать совершенную защиту места сварки от воздействия воздуха.

Титан сваривают в атмосфере аргона с дополнительной газовой защитой корня шва и еще неостывшего участка шва до температуры 400° С. Перед сваркой проволоку и металл подвергают дегазации путем отжига в вакуумных печах.

Цирконий и ниобий являются тугоплавкими металлами, обладающими высокой коррозионной стойкостью. Их сваривают в атмосфере аргона высокой чистоты с защитой корня шва или в камере с контролируемой защитной атмосферой.

Молибден — тугоплавкий и жаропрочный металл.

Молибден сваривают электронным лучом в камере с вакуумом $133 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^2$.

Список рекомендуемой литературы

Основная

1. Технология конструкционных материалов (под редакцией Кнорозова Б. В., Усовой А., В. М.: Машиностроение, 1974г.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Высшая школа, 1990 г.
3. Лахтин Ю.,М. Материаловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1976 г.
4. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов - М.: Машиностроение, 1985, 1990 ,2002 г.
5. Кондратьев Е.Т. Технология конструкционных материалов и материаловедение – М.: Колос, 1983 г – 272 с.
6. Некрасов С.С. и др. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению. М.: Колос,1991.
7. Нурушев С.З., Хасенов Н.С. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов и материаловедение» – Костанай КГУ им. А. Байтурсынова, 2005 г – 56 с.

Дополнительная

8. Сорокина В.Г., Червосьева М.А. Стали и сплавы. Марочник. – М.: Интермет инженеринг, 2001 г.
9. Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. М., 2004г – 508с.
11. Гуляев А.П. Материаловедение. М: Металлургия,1986.
12. Шевченко Г.Д. Сварка, пайка и термическая резка металлов. М.: Высшая школа,1966.