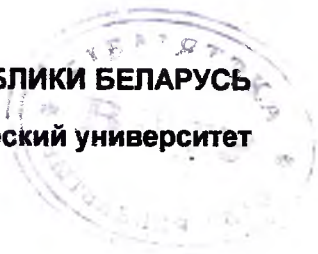


620.22  
МЗУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Витебский государственный технологический университет



# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

## **ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ**

*Рекомендовано Научно-методическим центром учебной  
книги и средств обучения Министерства образования  
Республики Беларусь в качестве пособия для студентов  
высших технических учебных заведений*

**Витебск, 2000**

УДК 620.22

Материаловедение  
для студентов ВУЗов  
Витебский. — Витебск:

Ви-  
ли-

*Рекомендовано Научно-методическим центром учебной книги и средств обучения Министерства образования Республики Беларусь в качестве пособия для студентов высших технических учебных заведений*

Пособие представляет собой толковый терминологический словарь по курсу «Материаловедение». Использование словаря облегчает и ускоряет изучение этого курса. Словарь может оказаться полезным при чтении технической литературы.

Одобрено кафедрой МТВПО, протокол № 5 от 31 марта 1999 г.

Рецензенты:

д.т.н., профессор Л.Г. Ворошнин,  
к.т.н., доцент Г.Ф. Ковалевский.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом ВГТУ 15 июня 2000 г., протокол № 3.

Ответственный за выпуск: Стеканова О.А.

Витебский государственный технологический университет

Подписано к печати 23.06.2000. Формат 1/16. Уч.-изд. листов 64.  
Печать ризографическая. Тираж 134 экз. Заказ № 28. Цена 571 р.

Отпечатано на ризографе Витебского государственного технологического университета. Лицензия ЛП № 89 от 18 декабря 1997 года.

210035, г. Витебск,

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<u>ЛИТЕРАТУРА</u> .....	4
<u>ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ</u> .....	5
1.1. <u>СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ</u> .....	5
1.2. <u>СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ</u> .....	9
1.3. <u>МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ</u> .....	16
<u>ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ</u> .....	19
2.1. <u>ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ</u> .....	19
2.2. <u>ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ (ДЖУ)</u> .....	22
<u>ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ</u> .....	29
3.1. <u>ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА</u> .....	29
3.2. <u>ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЕЙ</u> .....	35
3.3. <u>ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ</u> .....	42
<u>ГЛАВА 4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	46
4.1. <u>СТАЛИ</u> .....	46
4.2. <u>МАТЕРИАЛЫ С ОСОБЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ</u> .....	51
4.3. <u>ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	55
4.4. <u>МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКИМИ УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ</u> .....	58
4.5. <u>МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ</u> .....	61
4.6. <u>МЕТАЛЛЫ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ И ЖЕСТКОСТЬЮ</u> .....	63
4.7. <u>МАТЕРИАЛЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ</u> .....	65
<u>ГЛАВА 5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	69
<u>ГЛАВА 6. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	73
6.1. <u>ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ</u> .....	73
6.2. <u>КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕ</u> .....	74
6.3. <u>КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА НЕОРГАНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ</u> .....	76
<u>ГЛАВА 7. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	79
7.1. <u>ПРОВОДНИКИ</u> .....	79
7.2. <u>ДИЭЛЕКТРИКИ</u> .....	85
7.3. <u>ПОЛУПРОВОДНИКИ</u> .....	98
7.4. <u>МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</u> .....	102

у-2364

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П., Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1990.
2. Материаловедение / Под ред. Б.Н. Арзамасова. — М.: Машиностроение, 1986.
3. Металловедение и технология металлов / Ю.П. Солнцев и др. — М.: Металлургия, 1988.
4. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для ВУЗов. — 6-е изд. — М.: Металлургия, 1986. — 544 с.
5. Мозберг Р.К. Материаловедение. — М.: Высш. шк., 1991.
6. Материаловедение и конструкционные материалы / Пинчук Л.С. и др. — Мн.: Высш. шк., 1989.
7. Лахтин Ю.М. Основы металловедения. — М.: Металлургия, 1988.
8. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. — М.: Машиностроение, 1990.
9. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий и др. — Л.: Энергоиздат, 1985.
10. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский— М.: Металлургия, 1988.
11. Худокормова Р.Н., Пантелеенко Ф.И. Материаловедение: Лаб. практикум. — Мн.: Высш. шк., 1988.
12. Материаловедение: методические указания и контрольные задания для студентов-заочников машиностроительных специальностей ВУЗов / Н.Е. Гарбузова и др. — М., 1988.

## ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ** — наука, изучающая способы воздействия на строение и свойства материалов

### 1.1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

**СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ** — экономические, технологические и эксплуатационные

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА** определяют возможность обработки материала каким-либо методом: литьем, сваркой, резанием, давлением...; жидкотекучесть, закаливаемость, способность к обработке резанием, свариваемость...

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА** характеризуют способность материала работать при различных условиях; физико-химические и механические

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА** — плотность, температура плавления, коррозионная стойкость, влагостойкость, радиационная стойкость, способность к работе в вакууме; электрические, магнитные, тепловые свойства...

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА** характеризуют способность материала сопротивляться внешнему силовому воздействию: упругость, жесткость, текучесть, прочность, пластичность и твердость; удельная прочность и удельная жесткость

**КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ** — комплексная характеристика сочетающая критерии прочности, надежности и долговечности.

**УПРУГОСТЬ** — способность материала восстанавливать форму (твердые тела) и объем (жидкости и газы) при снятии нагрузки

**ПРЕДЕЛ УПРУГОСТИ** — напряжение, после снятия которого остаточная

деформация равна заранее оговоренной величине (обычно 0,002%)

**ДЕФОРМАЦИЯ** — изменение размеров и формы образца при нагружении; абсолютная и относительная; упругая и пластическая

**АБСОЛЮТНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — разность между конечным и начальным размерами образца

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — отношение абсолютной деформации к начальному или конечному размеру, выраженное в процентах

**ОСТАТОЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — деформация, остающаяся после разгрузки образца

**УПРУГАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — составляющая часть полной деформации, исчезающая при разгрузке образца

**ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — необратимое изменение формы под воздействием внешних сил

**ЖЕСТКОСТЬ** — способность материала противостоять упругим деформациям; характеризуется величинами модулей упругости

**ТЕКУЧЕСТЬ** — способность материала деформироваться пластически

**ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ** — физический и условный

**ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ФИЗИЧЕСКИЙ** — напряжение, при котором начинается пластическая деформация материала (используется для высокопластичных материалов)

**ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ УСЛОВНЫЙ** — напряжение, после снятия которого остаточная деформация равна заранее оговоренной величине (обычно 0,2%)

**ПРОЧНОСТЬ** — способность материала сопротивляться разрушению или пластической деформации

**ВРЕМЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** — напряжение, при котором материал разрушается

**УДЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ** — временное сопротивление, деленное на произведение плотности и ускорения свободного падения

**СВОБОДНАЯ ДЛИНА** — длина, при которой стержень постоянного сечения разрывается под действием собственного веса; синоним: удельная прочность

**УДЕЛЬНАЯ ЖЕСТКОСТЬ** — модуль упругости, деленный на произведение плотности и ускорения свободного падения

**ТВЕРДОСТЬ** — способность материала противостоять внедрению в него более твердого тела

**НАДЕЖНОСТЬ** — способность материала противостоять хрупкому разрушению

**КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ** — пластичность, ударная вязкость, трещиностойкость и порог хладноломкости

**ПЛАСТИЧНОСТЬ** — способность материала пластически деформироваться без разрушения; характеризуется относительными удлинением и сужением

**ОТНОСИТЕЛЬНОЕ УДЛИНЕНИЕ** — отношение абсолютного удлинения образца к его первоначальной длине, выраженное в процентах

**ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СУЖЕНИЕ** — отношение абсолютного уменьшения площади поперечного сечения образца к ее исходному значению, выраженное в процентах

**УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ** — свойство, характеризующее способность материала сопротивляться ударному воздействию; удельная работа разрушения призматического образца с концентратором напряжений посере-

дино:  $KC=K/S$

**УДЕЛЬНАЯ РАБОТА РАЗРУШЕНИЯ** — работа, затраченная на разрушение образца, деленная на площадь под концентратором напряжений, Дж/м<sup>2</sup>

**KCU, KCV и KCT** — обозначения ударной вязкости, измеренной при разных концентраторах напряжений: концентраторы U и V имеют радиусы закругления 1 мм и 0,25 мм соответственно, T — усталостная трещина, созданная в месте разрушения

**ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ** (вязкость разрушения) — способность материала тормозить развитие трещины; важная характеристика высокопрочных материалов

**ПОРОГ ХЛАДНОЛОМКОСТИ** — температура перехода от вязкого разрушения к хрупкому

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ** — способность материала противостоять постепенному разрушению; циклическая долговечность и износостойкость

**ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ** характеризует работоспособность материала в условиях, вызывающих его усталость

**УСТАЛОСТЬ** — процесс постепенного изменения структуры и свойств материала под действием циклических нагрузок

**КРИВАЯ УСТАЛОСТИ** — зависимость разрушающего напряжения от числа циклов нагружений

**ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ** — максимальное напряжение, которое материал может выдержать без разрушения базовое число циклов (10 млн. для черных и 100 млн. для цветных металлов)

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ** — способность материала сопротивляться отрыву частиц с его поверхности



## 1.2. СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ** — равновесное, неравновесное и метастабильное

**ТЕРМОДИНАМИКА** — раздел физики, изучающий наиболее общие свойства замкнутых систем на основе анализа возможных превращений энергии

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГИББСА** —  $G=H-ST$ , где  $H$  — энтальпия,  $S$  — энтропия,  $T$  — абсолютная температура; характеризует состояние системы с точки зрения термодинамики

**ЭНТАЛЬПИЯ** — функция состояния термодинамической системы, равная сумме внутренней энергии и произведения давления на ее объем:  
 $H=F+pV$

**ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ** — сумма всех видов энергии системы, кроме ее кинетической и потенциальной энергии как единого целого

**ЭНТРОПИЯ** — мера необратимого рассеяния энергии; остается постоянной при обратимых и возрастает при необратимых адиабатических процессах

**АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС** протекает без обмена энергией с окружающей средой

**РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором потенциал Гиббса минимален; характеризуется низкой прочностью и твердостью при высокой пластичности и вязкости; для получения равновесного состояния необходимы равновесные условия охлаждения

**РАВНОВЕСНЫЕ УСЛОВИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ** обеспечивают полное завершение всех фазовых превращений и диффузии; ускоренное охлаждение подавляет диффузионные процессы приводит к ликвации

**ЛИКВАЦИЯ** — химическая или структурная неоднородность материала

**МИКРОЛИКВАЦИЯ** — неоднородность в пределах каждого зерна

**МАКРОЛИКВАЦИЯ** — неоднородность в пределах всего слитка

**УСТОЙЧИВОЕ СОСТОЯНИЕ** — то же, что и равновесное состояние; сохраняется сколь угодно долго при неизменных внешних условиях; механическая аналогия — неподвижный маятник в нижнем положении

**НЕРАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором термодинамический потенциал Гиббса не минимален и скорость его изменения значительна; механическая аналогия — движущийся маятник

**МЕТАСТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором термодинамический потенциал Гиббса не минимален, но скорость его изменения мала; в метастабильном состоянии прочность и твердость высокие, а пластичность и вязкость низкие; механическая аналогия — состояние неустойчивого равновесия

**АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ** — газообразное, жидкое, твердое, плазма; материал принимает то агрегатное состояние, которое будет термодинамически устойчивым при данных условиях

**ГАЗООБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором потенциальная энергия взаимодействия молекул в материале значительно меньше их кинетической энергии

**ЖИДКОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором упомянутое отношение близко к 1

**ТВЕРДОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором потенциальная энергия взаимодействия молекул много больше их кинетической энергии

**ПЛАЗМА** — частично или полностью ионизированный газ с уравновешенными зарядами (термическая ионизация); основное состояние веще-

ства во Вселенной; свойства сильно отличаются от свойств нейтральных газов

**КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором упорядоченное расположение атомов распространяется на области, значительно превышающие по размеру межатомные расстояния; в таком состоянии находится большинство твердых тел и некоторые жидкости; кристаллические материалы имеют определенную температуру плавления и обладают анизотропией

**АНИЗОТРОПИЯ** — различие свойств (механических, электрических, магнитных...) по направлениям

**КРИСТАЛЛОГРАФИЯ** — наука о кристаллическом строении материалов

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА** — закономерное расположение атомов, удерживаемых в твердом теле силами межатомного взаимодействия; 7 типов

**ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЯЧЕЙКА** — наименьший объем кристаллической решетки, дающий представление обо всем ее строении

**ОЦК, ГЦК, ГПУ** — элементарные ячейки, наиболее часто встречаемые у металлов: объемно- и гранецентрированные кубические, гексагональная плотноупакованная

**ПОЛИМОРФИЗМ** — способность материала изменять тип кристаллической решетки при изменении внешних условий; встречается у многих металлов

**ПОЛИМОРФНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — переход металла из неравновесного состояния в равновесное с изменением типа кристаллической решетки

**АЛЛОТРОПИЯ** — способность химических элементов существовать в виде нескольких простых веществ, различных по своему строению и свойствам; это понятие шире, чем полиморфизм

**ПЕРИОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ** — расстояние между ближайшими параллельными атомными плоскостями; для металлов (0,1...0,7) нм

**КООРДИНАЦИОННОЕ ЧИСЛО** — число ближайших соседей атома в кристаллической решетке

**БАЗИС** — число атомов, приходящихся на элементарную ячейку.

**КОЭФФИЦИЕНТ КОМПАКТНОСТИ ЯЧЕЙКИ** — отношение объема, занимаемого атомами в элементарной ячейке к объему всей ячейки

**K8, K12, Г12** — обозначения ОЦК, ГЦК и ГПУ решеток (буква — тип ячейки, цифры — координационное число); коэффициенты компактности этих ячеек соответственно 68%, 74% и 74%

**ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ** — точечные, линейные, поверхностные и объемные; являются причиной несовпадения реальной и теоретической прочности кристаллов

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ** — прочность материала, рассчитанная на основе прочности химических связей между атомами

**РЕАЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ** — десятые и даже сотые доли от теоретической прочности из-за наличия дефектов кристаллического строения

**ТОЧЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ** — вакансии, межузельные и примесные атомы

**ВАКАНСИЯ** — отсутствие атома в узле кристаллической решетки

**МЕЖУЗЕЛЬНЫЙ АТОМ** — атом, находящийся в междоузлиях кристаллической решетки

**ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФЕКТЫ** — дислокации: краевые, винтовые, вершинные, зернограничные

**ДИСЛОКАЦИЯ** — линейный дефект кристаллической решетки, образу-

щийся в результате неполного сдвига атомных плоскостей

**ПЛОТНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ** — суммарная длина всех дислокаций в единице объема; минимальна в монокристаллах

**МОНОКРИСТАЛЛ** — твердое тело с непрерывной кристаллической решеткой; м.б. искусственного или природного происхождения

**ПОЛИКРИСТАЛЛ** — множество кристаллов, соединенные между собой силами межатомного взаимодействия

**ЗЕРНА** — кристаллы, из которых состоят металлы

**ПОДВИЖНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ** — способность дислокаций к перемещению при приложении нагрузки; мала в закаленном состоянии и велика в отожженном; характеризует пластичность и прочность материала

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КРИСТАЛЛЫ** — кристаллы, скрепленные лишь Ван-дер-ваальсовыми силами; непрочные, встречаются у инертных газов

**СИЛЫ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА** — силы межмолекулярного взаимодействия; значительно слабее сил межатомного взаимодействия (ковалентных, ионных, металлических); природа — электрическая

**КОВАЛЕНТНЫЕ КРИСТАЛЛЫ** — кристаллы с ковалентной связью между атомами; очень прочные; часто встречаются у полупроводников: С, Si, Ge...; алмаз: решетка K4, тверд, хрупок, тугоплавок

**ИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ** — кристаллы с ионной связью между атомами; по прочности близки к ковалентным кристаллам; полупроводники и диэлектрики

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ** — кристаллы с металлическим типом связи; слабее ковалентных или ионных, поэтому температуры плавления металлов ниже

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ТИП СВЯЗИ** — связь между положительно заряжен-

ными ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки и электронным газом

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ** — обобществленные валентные электроны, заполняющие пространство между узлами кристаллической решетки; его наличие объясняет высокие тепло- и электропроводность, пластичность и отражающую способность металлов, термоэлектронную эмиссию

**ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ** — способность металлов испускать электроны при нагреве; широко используется в электронно-вакуумных приборах: лампах, электронно-лучевых трубках ...

**АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором размер области с упорядоченным расположением атомов не превышает нескольких межатомных расстояний

**АМОРФНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — почти все жидкости и некоторые твердые тела (стекла, смолы ...); температура плавления отсутствует; изотропны

**ИЗОТРОПИЯ** — независимость свойств от направления

**АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ** — металлы, полученные сверхбыстрым (для сталей 1 млн. градусов в секунду) охлаждением из расплава; кристаллы образоваться не успевают

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТЕКЛА** — металлы с аморфной структурой; износостойки, коррозионностойки, жаростойки; термодинамически нестабильны; гранулы, ленты, фольга, микропровода

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ** используется при описании состояния сплавов; однофазные и многофазные сплавы

**ФАЗА** — часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую резко меняются состав и свойства (твердая, жидкая и газообразная фазы, аморфная и кристаллическая, устойчивая и метастабильные фазы, металлическая и неметаллическая

фазы; твердая аморфная метастабильная фаза, сверхпроводящая фаза, парамагнитная фаза...)

**ОДНОФАЗНЫЙ МАТЕРИАЛ** — однородный материал без каких-либо внутренних границ раздела (аморфная фаза) или с границами раздела между одинаковыми по составу, строению и свойствам зёрнами (кристаллическая фаза)

**МНОГОФАЗНЫЙ МАТЕРИАЛ** — состоит из различных фаз, отделенных друг от друга границами раздела; каждая фаза имеет постоянные состав, строение и свойства

**ФАЗОВОЕ РАВНОВЕСИЕ** — одновременное существование в многофазном материале нескольких термодинамически равновесных фаз

**ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ** — процесс изменения фазового состава материала из-за происходящих в нем фазовых переходов

**ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД** — резкое изменение строения и свойств материала при плавном изменении внешних условий (температуры, давления, магнитного поля...)

**ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД I РОДА** протекает со скачкообразным изменением плотности и других свойств; сопровождается тепловым эффектом: плавление и кристаллизация, кипение и конденсация, сублимация и конденсация в твердую фазу, полиморфные превращения

**СУБЛИМАЦИЯ** — переход из твердого состояния в газообразное (минуя жидкую фазу)

**ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД II РОДА** — переход, при котором плотность не претерпевает скачкообразного изменения, а теплоемкость и коэффициент термического расширения изменяются скачкообразно; тепловым эффектом не сопровождается; парамагнетик — ферромагнетик, параэлектрик — сегнетоэлектрик...

### 1.3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

**ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** — определение химического состава материала; различают качественный и количественный химический анализ

**КАЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** — идентификация химических элементов в материале без определения их содержания

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** — определение содержания химических элементов в материале

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ** — метод определения химического состава материала, основанный на исследовании его спектра

**ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** — метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении массы материала и продуктов его превращения

**ПИКНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** — метод определения объема образца по вытесненной жидкости; в совокупности с гравиметрическим анализом позволяет определить плотность материала

**ПИКНОМЕТР** — прибор для определения объема твердого тела по вытесненной жидкости

**ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ** — метод определения плотности материала, основанный на законе Архимеда

**МЕТАЛЛОГРАФИЯ** — наука, изучающая структуры металлов и сплавов

**СТРУКТУРА** — собирательное название характеристик строения материала: форма, размеры и характер взаимного расположения фаз; форма зерен, их ориентация

**СТРУКТУРНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ** — элемент микроструктуры, имеющий характерное и однообразное строение; может представлять из себя от-



дельную фазу или механические смеси нескольких фаз

**МЕХАНИЧЕСКАЯ СМЕСЬ ФАЗ** — отдельная структурная составляющая, в которой несколько фаз чередуются между собой; прочная и твердая

**МАКРОАНАЛИЗ** — исследование макроструктуры на изломе, макрошлифе или поверхности материала

**МАКРОСТРУКТУРА** — строение материала, видимое при увеличении до 40 раз

**МАКРОШЛИФ** — образец для проведения макроанализа; при изготовлении подвергается операции шлифования (иногда полирования) и травления; позволяет выявить текстуру деформации (волоконность) и дефекты (пустоты, трещины, поры и т.д.) металла

**ТРАВЛЕНИЕ** — воздействие на поверхность металла химическими реактивами для выявления его структуры; сопровождается разъеданием границ между зернами

**МИКРОАНАЛИЗ** — исследование микроструктуры

**МИКРОСТРУКТУРА** — структура, видимая при увеличении более 40 раз на микрошлифе

**МИКРОШЛИФ** — образец, прошедший операции шлифования, полирования и травления; от макрошлифа отличается большей тщательностью приготовления

**ФРАКТОГРАФИЯ** — наука, изучающая изломы материалов

**ИЗЛОМ** — поверхность, по которой произошло разрушение

**ВИДЫ ИЗЛОМА** — вязкий, хрупкий, смешанный и усталостный

**ВЯЗКИЙ ИЗЛОМ** имеет волокнистое строение, матовый, зерен не видно; ему предшествует пластическая деформация

**ХРУПКИЙ ИЗЛОМ** имеет кристаллическое строение, блестит, зерна хорошо видны; проходит по границам зерен

**СМЕШАННЫЙ ИЗЛОМ** — имеет зоны вязкого и хрупкого излома

**УСТАЛОСТНЫЙ ИЗЛОМ** возникает при многократном нагружении; имеет три зоны: зону зарождения трещины, зону ее распространения и долом

**ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** основан на тепловых эффектах фазовых превращений; заключается в построении кривой охлаждения; позволяет определить температуры начала и конца фазовых переходов первого рода

**КРИВАЯ ОХЛАЖДЕНИЯ** — зависимость температуры материала от времени при свободном остывании образца

**ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** основан на измерении размера образца при различных внешних воздействиях; позволяет определять температуры фазовых переходов первого и второго рода; заключается в построении дилатометрической кривой

**ДИЛАТОМЕТР** — прибор, позволяющий регистрировать изменение размеров образца с большой точностью

**ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКАЯ КРИВАЯ** — зависимость длины образца от какого либо воздействия (например, от температуры)

**РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ** основан на дифракции рентгеновских лучей в кристаллической решетке; позволяет определить тип и основные параметры решетки, дефекты кристаллического строения ...

**РЕЗИСТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ** основан на регистрации изменений электросопротивления при фазовых превращениях в материале; позволяет определить температуры этих превращений

## ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ

**СПЛАВ** — металлический материал, полученный путем кристаллизации жидкого раствора; состоит из двух и более компонентов

**КОМПОНЕНТА** — химический элемент, входящий в сплав

**ФАЗЫ В СПЛАВЕ** — жидкий раствор, твердые растворы, химические элементы и химические соединения

**ТВЕРДЫЙ РАСТВОР** — однородный материал, состоящий из нескольких компонентов, концентрация которых может быть изменена без нарушения однородности; различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания

**РАСТВОР ВНЕДРЕНИЯ** — твердый раствор, в котором атомы растворенного компонента располагаются в междоузлиях кристаллической решетки растворителя; образуется между металлом и неметаллом

**РАСТВОР ЗАМЕЩЕНИЯ** — твердый раствор, в котором атомы растворенного компонента располагаются в узлах кристаллической решетки растворителя; образуется между металлами

**РАСТВОР ВЫЧИТАНИЯ** — твердый раствор, в кристаллической решетке которого есть узлы, не занятые атомами; образуется на базе металлических соединений (интерметаллидов)

**ИНТЕРМЕТАЛЛИД** — химическое соединение двух или более металлов между собой

### 2.1. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

**ДВОЙНОЙ СПЛАВ** — сплав, состоящий только из двух компонентов

**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ** — графическое изображение областей с различным фазовым составом в зависимости от содержания компонен-

тов и температуры

**НЕОГРАНИЧЕННАЯ РАСТВОРИМОСТЬ** — способность компонентов в сплаве образовывать гомогенные твердые растворы любой концентрации; наблюдается при одинаковом типе кристаллической решетки и близких размеров атомов

**ЛИКВИДУС** — линия на диаграмме состояния, выше которой находится только жидкая фаза (верхняя линия)

**СОЛИДУС** — линия на диаграмме состояния, ниже которой расположены только твердые фазы

**ПРАВИЛО ФАЗ (ЗАКОН ГИББСА)** — описание количественной зависимости между степенями свободы системы, количеством фаз и компонентов ( $C=K-\Phi+1$ )

**ПРАВИЛО КОНЦЕНТРАЦИЙ** позволяет определить химический состав фаз в двухфазных областях

**ПРАВИЛО ОТРЕЗКОВ** — способ определения количественного соотношения фаз или структурных составляющих путем измерения соотношения соответствующих отрезков на диаграмме состояния

**ОГРАНИЧЕННАЯ РАСТВОРИМОСТЬ** — неспособность сплава образовывать однородные твердые растворы во всем интервале концентраций

**ЭВТЕКТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — процесс одновременного образования двух твердых фаз из жидкой; при равновесных условиях протекает изотермически

**ЭВТЕКТИКА** — мелкодисперсная механическая смесь нескольких твердых фаз, полученная в результате эвтектического превращения; имеет постоянный состав; хрупкая, твердая и легкоплавкая структурная составляющая

**ЭВТЕКТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА** — температура, при которой протекает эвтектическое превращение

**ПЕРЕМЕННАЯ РАСТВОРИМОСТЬ** — зависимость растворимости от температуры; является причиной выпадения вторичных кристаллов, а также кристаллов более высокого порядка

**ПЕРВИЧНЫЕ КРИСТАЛЛЫ** — крупные кристаллы, выпавшие из жидкой фазы; равномерно расположены по всему объему сплава

**ВТОРИЧНЫЕ КРИСТАЛЛЫ** — мелкие кристаллы, выпадающие из твердых растворов при охлаждении вследствие переменной растворимости; располагаются по границам зерен основной фазы, часто образуя сплошную сетку, сильно изменяющую свойства сплава

**ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ СПЛАВ** — сплав с концентрацией компонентов, соответствующих точке полного эвтектического превращения; кристаллизуется изотермически; легкоплавок, обладает хорошими литейными свойствами; тверд и хрупок; равновесная структура — эвтектика

**ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ СПЛАВ** — сплав, лежащий на диаграмме состояния левее эвтектического

**ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ СПЛАВ** — сплав, расположенный на диаграмме состояния правее эвтектического

**ПЕРИТЕКТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — процесс образования твердой фазы из твердой и жидкой; при равновесных условиях протекает изотермически; образующаяся фаза по составу и структуре отличается от имевшейся до превращения твердой фазы

**ПЕРИТЕКТИКА** — смесь двух фаз, образовавшаяся в результате перитектического превращения

**ЭВТЕКТОИДНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение, при котором из одной твердой фазы образуются две новые; полностью обратимо при на-

греве

**ЭВТЕКТОИД** — мелкодисперсная смесь двух фаз, образующаяся при эвтектоидном превращении

**ЭВТЕКТОИДНЫЙ СПЛАВ** — сплав, концентрация которого соответствует точке полного эвтектоидного превращения; структура — чистый эвтектоид

**НЕПОЛНОЕ ЭВТЕКТОИДНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение, при котором одна из реагирующих фаз остается в избытке; наблюдается в до- и заэвтектоидных сплавах

**ПЕРИТЕКТОИДНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — полиморфное превращение, при котором из двух твердых фаз образуется одна новая; полностью обратимо при нагреве

**МОНОТЕКТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — распад жидкой фазы на твердую и жидкую (с другим составом)

## **2.2. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ (ДЖУ)**

**КОМПОНЕНТЫ НА ДЖУ** — железо и углерод

**ПОЛИМОРФИЗМ ЖЕЛЕЗА** — способность железа изменять тип кристаллической решетки в зависимости от температуры: ОЦК в интервалах температур до 911 °С и 1392...1539 °С, ГЦК от 911 до 1392 °С

**АЛЬФА-ЖЕЛЕЗО** — низкотемпературная модификация железа с ОЦК решеткой

**ГАММА-ЖЕЛЕЗО** — модификация железа с ГЦК решеткой; примерно на 1% плотнее альфа-железа, парамагнитно; способно растворять в себе значительно больше углерода, чем альфа- и дельта-железо

**ДЕЛЬТА-ЖЕЛЕЗО** — высокотемпературная модификация железа с ОЦК

решеткой; от альфа-железа отличается параметрами решетки .

ТОЧКА КЮРИ — температура перехода из ферромагнитного состояния в парамагнитное (при нагревании); для железа равна 768 °С

АЛЛОТРОПИЯ УГЛЕРОДА проявляется в его способности существовать в виде нескольких кристаллических модификаций, важнейшими из которых являются графит и алмаз

ГРАФИТ — стабильная аллотропическая модификация углерода с гексагональной слоистой кристаллической решеткой; мягок, непрочен, электропроводен, химически стоек; температура плавления 3500 °С (в присутствии кислорода сгорает при 700 °С)

АЛМАЗ — метастабильная при нормальных условиях модификация углерода; самый твердый материал; хрупок, химически стоек, теплопроводен (теплопроводность в 5 раз больше, чем у меди); сгорает в присутствии кислорода при 870 °С; природный и искусственный (получают из графита при температуре 1500 °С и давлении 6 ГПа в присутствии катализаторов)

ФАЗЫ НА ДЖУ — жидкий раствор, твердые растворы (феррит и аустенит), химическое соединение (цементит) и химический элемент (углерод в форме графита)

ФЕРРИТ — твердый раствор внедрения углерода (и легирующих элементов) в железе с ОЦК решеткой; мягок, пластичен, непрочен

АЛЬФА-ФЕРРИТ — раствор углерода в альфа-железе; предельная растворимость углерода в альфа-феррите изменяется при нагреве от комнатной температуры до 727°С от 0,0002% до 0,02% соответственно

ДЕЛЬТА-ФЕРРИТ — раствор углерода в дельта-железе; предельная концентрация углерода в нем 0,1%.

АУСТЕНИТ — твердый раствор внедрения углерода и легирующих элементов в гамма-железе; пластичен; прочнее, плотнее и тверже феррита;

парамагнитен; максимальное содержание углерода 2.14%; в углеродистых сталях появляется при температурах свыше 727 °С

ЦЕМЕНТИТ — карбид железа  $Fe_3C$ ; содержит 6,67% углерода; решетка сложная ромбическая; тверд и хрупок; метастабилен — при нагреве (950 °С) распадается на феррит и графит

КРИТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ — температуры начала или окончания фазовых превращений (линии на диаграммах состояния)

ТЕМПЕРАТУРА  $A_1$  — линия PSK на ДЖУ (эвтектоидное превращение, для углеродистых сталей 727 °С)

ТЕМПЕРАТУРА  $A_2$  — линия MO на ДЖУ (точка Кюри для некоторых сталей)

ТЕМПЕРАТУРА  $A_3$  — линия GS на ДЖУ: нижняя граница аустенитной области

ТЕМПЕРАТУРА  $A_4$  — линия NI на ДЖУ: верхняя граница аустенитной области

ТЕМПЕРАТУРА  $A_{ст}$  — линия SE на ДЖУ: нижняя граница аустенитной области

ЛИНИЯ ЛИКВИДУС на ДЖУ — линия ABCD (начало кристаллизации)

ЛИНИЯ СОЛИДУС на ДЖУ — линия ANIECF (конец кристаллизации)

СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ на ДЖУ — жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит (первичный, вторичный и третичный), графит, перлит (пластинчатый и зернистый) и ледебурит

ЦЕМЕНТИТ ПЕРВИЧНЫЙ — крупные кристаллы, выпадающие из расплава в заэвтектических чугунах

ЛИНИЯ ПЕРВИЧНОГО ЦЕМЕНТИТА — линия CD на ДЖУ: на ней начи-



нают свое образование кристаллы первичного цементита

**ЦЕМЕНТИТ ВТОРИЧНЫЙ** — мелкие кристаллы, выпадающие из аустенита вследствие понижения растворимости в нем углерода при охлаждении; располагается по границам зерен, что уменьшает пластичность сплава

**ЦЕМЕНТИТНАЯ СЕТКА** — вторичный цементит, выпадающий в количестве, достаточном для образования сплошной сетки, разделяющей зерна феррита (аустенита); делает сплав хрупким; встречается в заэвтектоидных сталях

**ЛИНИЯ ВТОРИЧНОГО ЦЕМЕНТИТА** — линия SE на ДЖУ; указывает на начало образования кристаллов вторичного цементита из-за уменьшения растворимости углерода в аустените при охлаждении

**ЦЕМЕНТИТ ТРЕТИЧНЫЙ** — очень мелкие кристаллики, выпадающие из феррита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости в нем углерода; образуют прослойки между зернами феррита, несколько уменьшающие пластичность сплава

**ПЕРЛИТ** — эвтектоидная смесь феррита и цементита (в легированных сталях — карбидов); различают перлит пластинчатый и зернистый; содержит 0,8% углерода; прочен, пластичность удовлетворительная

**ПЕРЛИТ ПЛАСТИНЧАТЫЙ** — состоит из чередующихся пластин феррита и цементита; межпластинчатое расстояние более 0,30 мкм; прочнее зернистого перлита; получается при медленном охлаждении стали

**ПЕРЛИТ ЗЕРНИСТЫЙ** — перлит, частицы цементита в котором имеют округлую форму; получается после сфероидизирующего отжига; режется лучше пластинчатого перлита

**ЛЕДЕБУРИТ** — эвтектическая смесь, содержащая 4,3% углерода; тверд и хрупок: его наличие в структуре делает сплав непригодным для обра-

ботки давлением; легкоплавков, литейные свойства хорошие; различают высокотемпературный и низкотемпературный ледебурит

**ЛЕДЕБУРИТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ** — эвтектическая смесь аустенита и цементита; существует в интервале температур 727...1147 °С

**ЛЕДЕБУРИТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ** — смесь перлита и цементита; существует при температуре ниже 727°С

**ИЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ на ДЖУ** — перитектическое, эвтектическое и эвтектоидное; протекают при постоянной температуре

**ПЕРИТЕКТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ (ДЖУ)** — образование аустенита из дельта-феррита и жидкой фазы при температуре 1499 °С

**ЛИНИЯ НВ (ДЖУ)** — линия перитектического превращения; все сплавы, лежащие правее точки Н, но левее точки В, претерпевают это превращение

**ЭВТЕКТИЧЕСКОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ (ДЖУ)** — превращение жидкой фазы, содержащей 4.3% С, в высокотемпературный ледебурит; протекает при температуре 1147 °С

**ЛИНИЯ EF (ДЖУ)** — линия эвтектического превращения; все сплавы, концентрация углерода в которых соответствует этой линии, при охлаждении претерпевают упомянутое превращение и называются чугунами

**ЭВТЕКТОИДНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение аустенита в перлит при температуре 727 °С

**ЛИНИЯ PSK (ДЖУ)** — линия эвтектоидного превращения

**ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ** — техническое железо, сталь и чугуны

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗО** — сплав железа с углеродом, содержащий ме-

нее 0,02% углерода (точка P на ДЖУ); м.б. однофазным и двухфазным

**ОДНОФАЗНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗО** — техническое железо с содержанием углерода менее 0,0002% углерода (точка Q на ДЖУ); структура — зерна альфа-феррита; обладает высокой пластичностью; применяется в электротехнике

**ДВУХФАЗНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗО** — содержит углерода 0,0002...0,02%; структура: зерна феррита с прослойками третичного цемента; менее пластично; электротехнический материал

**СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА** — феррит (однофазное) или феррит + третичный цементит (двухфазное)

**СТАЛЬ** — сплав железа с углеродом, содержащий 0,02 ... 2,14% углерода

**ДОЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ** содержит углерода < 0,8%; в основном это конструкционный материал

**СТРУКТУРА ДОЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ** — феррит + перлит

**ЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ** содержит 0,8% углерода; материал для ручного режущего инструмента

**СТРУКТУРА ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ** — перлит

**ЗАЭВТЕКТОИДНАЯ СТАЛЬ** содержит > 0,8% углерода; из нее делают металлорежущий, штамповый и мерительный инструмент

**СТРУКТУРА ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ** — перлит + вторичный цементит

**ЧУГУН** — сплав железа с углеродом, содержащий 2,14...6,67% углерода (а также постоянные примеси и, возможно, легирующие элементы)

**ДОЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН** — чугун, содержащий до 4,3% углерода

**СТРУКТУРА ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА** — перлит + ледебурит +

вторичный цементит

ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН содержит 4,3% углерода

СТРУКТУРА ЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА — ледебурит

ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЧУГУН содержит более 4,3% углерода

СТРУКТУРА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА — ледебурит + первичный цементит

ГАММА-ОБЛАСТЬ — аустенитная область (GSEIN на ДЖУ); ее размер и форма зависят в значительной степени от легирования и определяет свойства стали

ОТКРЫТАЯ ГАММА-ОБЛАСТЬ — область, у которой линия GSE (или ее часть) лежит ниже комнатной температуры; достигается легированием Ni, Mn, Co ...

ЗАМКНУТАЯ ГАММА-ОБЛАСТЬ — область, сильно уменьшенная в размерах за счет увеличения температуры  $A_3$  и уменьшения температуры  $A_4$ ; встречается в сталях, легированных большим количеством Cr, Mo, W, V, Si, Ti

АУСТЕНИТНАЯ СТАЛЬ — легированная сталь с открытой гамма-областью; при комнатной температуре имеет ГЦК решетку; прочна, пластична, жаростойка, парамагнитна; сильно наклепывается и хорошо сваривается

ФЕРРИТНАЯ СТАЛЬ — легированная сталь с замкнутой гамма-областью; при нагреве не испытывает полиморфных превращений; ОЦК решетка

## ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 3.1. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

**ТЕРМООБРАБОТКА** — технологический процесс, заключающийся в нагреве, выдержке и охлаждении металлов с целью изменения их структуры и свойств

**ОТЖИГ** — вид термообработки, заключающийся в нагреве материала выше температуры фазовых или структурных превращений, выдержке и медленном (со скоростью 30...200 °С/час) охлаждении; цель — получение равновесной структуры; уменьшает твердость и прочность, увеличивает пластичность; снимает остаточные напряжения

**ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ** — напряжения, сохраняющиеся после кристаллизации или температурно-силового воздействия на материал и уравновешенные внутри тела; приводят к короблению, растрескиванию

**КОРОВАНИЕ** — изменение размеров и формы детали в результате релаксации остаточных напряжений

**РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ** — самопроизвольное уменьшение остаточных напряжений с течением времени

**ОТЖИГ ПЕРВОГО РОДА** — отжиг, при котором приближение к равновесному состоянию не связано с фазовыми превращениями

**ОТЖИГ ВТОРОГО РОДА** — отжиг, при котором приближение к равновесному состоянию связано с протеканием фазовых превращений

**ПОЛНЫЙ ОТЖИГ** предусматривает нагрев гетерогенных сплавов до температуры, при которой они становятся гомогенными

**ГЕТЕРОГЕННЫЙ СПЛАВ** — сплав, состоящий из нескольких фаз

**ГОМОГЕННЫЙ СПЛАВ** — сплав с однородной структурой (однофазный)

**НЕПОЛНЫЙ ОТЖИГ** предусматривает нагрев гетерогенных сплавов до температур, обеспечивающих неполное растворение различных фаз в основном твердом растворе

**ДИФфуЗИОННЫЙ ОТЖИГ** — длительный отжиг при высокой температуре ( $> 0.7 T_{пл}$ ), обеспечивающий завершение диффузионных процессов, приостановленных ускоренным охлаждением

**ГОМОГЕНИЗАЦИЯ** — процесс устранения ликвации диффузионным отжигом

**РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ОТЖИГ** заключается в нагреве наклепанного металла на 100...200 °С выше температуры рекристаллизации; устраняет последствия холодной пластической деформации (упрочнение, текстуру, анизотропию); приближает структуру к равновесной

**НАКЛЕП** — изменение структуры и свойств металла при холодной пластической деформации; сопровождается увеличением прочности и твердости (1.5...3 раза), предела текучести (от 3 до 7 раз), пластичность и ударная вязкость уменьшаются; особенно заметен в металлах с ГЦК решеткой; используется при дробеструйной обработке, накатке роликами

**ТЕКСТУРА** — преимущественная ориентация кристаллических решеток в поликристаллах, приводящая к анизотропии свойств материала

**ТЕКСТУРА ДЕФОРМАЦИИ** — преимущественная ориентация зерен в определенных направлениях, вызванная холодной пластической деформацией

**ПРОЦЕССЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ** — возврат, отдых и полигонизация

**ВОЗВРАТ** — частичное восстановление кристаллической структуры и свойств при нагреве наклепанного металла при нагреве ниже температу-

ры рекристаллизации; микроструктура (размер и форма зерен) при этом не изменяется

**ОТДЫХ** — стадия возврата, протекающая при небольшом нагреве ( $0.1 — 0.2$ )  $T_{пл}$  и сопровождающаяся уменьшением концентрации точечных и линейных дефектов

**ПОЛИГОНИЗАЦИЯ** — стадия возврата, при которой происходит перераспределение дислокаций, приводящее к образованию полигонов в деформированных кристаллах; протекает при температуре  $0.25...0.35 T_{пл}$ ; наблюдается после малых пластических деформаций у некоторых металлов: у сплавов алюминия, железа, молибдена...; уменьшает прочность и твердость

**ПОЛИГОНЫ** — субзерна, свободные от дислокаций; такая блочная структура очень устойчива и сохраняется почти до температуры плавления; препятствуют началу рекристаллизации

**РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** — процесс зарождения и роста новых равновесных зерен при нагреве наклепанного металла; первичная, собирательная и вторичная

**УСЛОВИЯ ДЛЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ** — степень деформации материала больше критической, отсутствие полигонов и нагрев выше температуры рекристаллизации

**СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ** — выраженный в процентах показатель пластической деформации, определяется как и относительное сужение отношением разности исходной и конечной площадей поперечного сечения изделия к исходной площади

**КРИТИЧЕСКАЯ СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ** — минимальная степень деформации, после которой возможна рекристаллизация; лежит в пределах  $2...8\%$  (для железа и меди  $5\%$ )

**ПЕРВИЧНАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** начинается при температуре рекристаллизации и заканчивается полным замещением деформированных зерен новыми зернами; полностью снимает наклеп; обеспечивает получение равновесной структуры

**СОБИРАТЕЛЬНАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** — процесс роста зерен, образовавшихся при первичной рекристаллизации; наблюдается при дальнейшем увеличении температуры

**ВТОРИЧНАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** — рекристаллизация, при которой происходит аномальный рост зерен; наблюдается при чрезмерном нагреве и слишком длительной выдержке; ухудшает пластичность и вязкость

**ТЕМПЕРАТУРА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ** — минимальная температура, при которой может начаться процесс рекристаллизации; для металлов технической чистоты составляет 30...40% от температуры плавления (для алюминия, меди и железа 100, 210 и 450 °С соответственно)

**ХОЛОДНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** — деформация, осуществляемая при температурах ниже температуры рекристаллизации; материал запасает до 10% энергии, затраченной на деформацию и переходит в метастабильное состояние

**ГОРЯЧАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ** проводится при температурах выше температуры рекристаллизации; наклепом не сопровождается, т.к. параллельно идет процесс динамической рекристаллизации

**ЗАКАЛКА** — вид термообработки, заключающийся в нагреве выше температур фазовых превращений, выдержке и охлаждении со скоростью большей критической; возможна, если сплав имеет фазовые превращения в твердом состоянии (полиморфные превращения, эвтектоидная реакция, переменная растворимость); цель — получение метастабильной структуры (пересыщенный твердый раствор...)



**ПЕРЕСЫЩЕННЫЙ РАСТВОР** — раствор, концентрация растворенного компонента в котором выше равновесной при данной температуре; м.б. зафиксирован быстрым охлаждением

**КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ ЗАКАЛКИ** — минимальная скорость охлаждения, при которой еще подавляется распад пересыщенного твердого раствора

**ПОЛНАЯ ЗАКАЛКА** предусматривает нагрев гетерогенных сплавов до гомогенного состояния

**НЕПОЛНАЯ ЗАКАЛКА** предусматривает нагрев гетерогенных сплавов выше температуры начала первого фазового превращения, но ниже температуры его завершения (не достигая гомогенной области)

**ОБЪЕМНАЯ ЗАКАЛКА** заключается в нагреве изделия до заданной температуры по всему объему; используется для увеличения прочности

**ЗАКАЛКА БЕЗ ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ** — закалка, фиксирующая при охлаждении неравновесное высокотемпературное состояние сплава

**ЗАКАЛКА С ПОЛИМОРФНЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ** — закалка, в процессе которой происходит мартенситное превращение

**МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — бездиффузионное превращение, протекающее в некоторых чистых металлах и сплавах при быстром охлаждении; приводит к образованию структуры, называемой мартенситом

**БЕЗДИФФУЗИОННОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — полиморфное превращение, проходящее в отсутствие диффузионной подвижности атомов; изменение структуры происходит путем упорядоченного перемещения атомов или молекул на расстояния меньше межатомного; протекает без изменения химического состава фаз

**МАРТЕНСИТ** — метастабильная структура игольчатого типа, образу-

7-2364

щаяся при закалке у металлов с полиморфным превращением; тверд, прочен, хрупок

ОТПУСК — термическая обработка, заключающаяся в нагреве закаленного сплава ниже температуры фазовых превращений, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе; применяется для стабилизации структуры и оптимизации эксплуатационных свойств сплава; приближает структуру сплава к равновесной: увеличивает его пластичность и вязкость, уменьшает твердость и прочность

СТАРЕНИЕ — выдержка материала при комнатной или повышенной температуре; сопровождается распадом пересыщенного твердого раствора; в зависимости от химического состава и структуры сплава может сопровождаться как увеличением прочности и снижением пластичности, так и наоборот

ЕСТЕСТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ проводится при комнатной температуре

ИСКУССТВЕННОЕ СТАРЕНИЕ проводится при повышенных температурах

АТМОСФЕРА — газовая среда, в которой производится обработка материала; может быть нейтральной и активной

НЕЙТРАЛЬНАЯ АТМОСФЕРА не реагирует с обрабатываемым материалом

АКТИВНАЯ АТМОСФЕРА реагирует с материалом при нагревании, улучшая его свойства

ЗАЩИТНАЯ АТМОСФЕРА — атмосфера, защищающая материал от газовой коррозии; азот, инертные газы, вакуум...

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ АТМОСФЕРА обеспечивает восстановление оксидов металлов (водород, диссоциированный аммиак, экзотермическая и эндотермическая атмосферы...)

## 3.2. ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЕЙ

**ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЕЙ** — отжиг, нормализация, закалка и отпуск

**ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА** — диффузионное (перлитное), промежуточное (бейнитное) и бездиффузионное (мартенситное); удобно изучать, исследуя изотермический распад аустенита

**ДИФфуЗИОННОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение в основе которого лежит диффузионный механизм (перлитное и частично бейнитное превращения)

**ПЕРЛИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение аустенита в перлит при сравнительно небольших степенях переохлаждения; происходит по диффузионному механизму в интервале температур 550...727 °С (нелегированная эвтектоидная сталь); протекает при медленном охлаждении (отжиг) или во время изотермической выдержки; приводит к образованию структур перлитного типа

**СТРУКТУРЫ ПЕРЛИТНОГО ТИПА** — ферритно-цементитные смеси различной дисперсности: перлит (самая грубая), сорбит и троостит

**СОРБИТ** — структурная составляющая железоуглеродистых сплавов — дисперсная смесь феррита и цементита с межпластинчатым расстоянием около 0,20 мкм (тоньше перлита); образуется в интервале температур 580...660 °С; по пластичности и вязкости превосходит перлит (прочность примерно такая же)

**ТРООСТИТ** — структурная составляющая железоуглеродистых сплавов — высокодисперсная ферритно-цементитная смесь, имеющая межпластинчатое расстояние около 0,1 мкм; образуется в интервале температур 550...580 °С; тверже и прочнее перлита или сорбита

**ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение, носящее черты как диффузионного, так и бездиффузионного (мартенситного) превраще-

ний

**БЕЙНИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ** — превращение аустенита в бейнит, происходящее при температурах 250...550 °С; характеризуется тем, что кинетика и получающиеся структуры имеют черты как перлитного, так и мартенситного превращений (промежуточное превращение); осуществляют изотермически

**БЕЙНИТ** — структурная составляющая стали, образующаяся при промежуточном превращении аустенита; состоит из пересыщенного углеродом феррита и карбида железа; различают верхний и нижний бейнит

**ВЕРХНИЙ БЕЙНИТ** образуется из аустенита в интервале температур 400...550 °С; состоит из плоских ферритных и цементитных частиц толщиной менее 1 мкм и шириной 5...10 мкм; механические характеристики плохие; образования этой структуры надо избегать

**НИЖНИЙ БЕЙНИТ** — бейнит с игольчатым строением, образованный из аустенита при температурах ниже 400 °С изотермическим разложением; механические свойства хорошие (высокая прочность при достаточной пластичности)

**МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В СТАЛИ** — бездиффузионное превращение аустенита в мартенсит, протекающее при больших скоростях охлаждения; для высокоуглеродистых сталей заканчивается при отрицательных температурах; осуществляется со скоростью звука в стали; сопровождается синхронным смещением атомов из положения равновесия и некоторым увеличением объема (регистрируется дилатометрией)

**МАРТЕНСИТ В СТАЛИ** — пересыщенный раствор внедрения углерода в альфа-железе; тверд, прочен, хрупок, нестабилен при нагреве (метастабильная фаза); форма кристаллов пластинчатая

**ОСТАТОЧНЫЙ АУСТЕНИТ** — аустенит, остающийся после мартенситного или бейнитного превращений; нестабилен, уменьшает прочность и

твердость закаленной стали, может быть устранен обработкой холодом

**ОТЖИГ СТАЛИ ПЕРВОГО РОДА** — отжиг, не связанный с фазовыми превращениями: диффузионный, рекристаллизационный и низкий; устраняет физическую или химическую неоднородность, созданную предшествующей обработкой

**ДИФФУЗИОННЫЙ ОТЖИГ СТАЛИ** (гомогенизация) — нагрев до высоких (1000...1200 °С) температур, длительная выдержка (10...100 часов) и медленное (вместе с печью) охлаждение; устраняет ликвацию; приводит к значительному росту зерна и образованию большого количества окарины; обычно применяют для слитков легированной стали

**РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЙ ОТЖИГ СТАЛИ** — нагрев стали до температур выше температуры рекристаллизации (680...740 °С), небольшая выдержка (1...2 часа) и медленное охлаждение; приводит к получению однородной мелкозернистой структуры, нарушенной в результате технологических воздействий; применяют обычно для доэвтектоидных нелегированных сталей, чаще подвергаемых холодной деформации

**НИЗКИЙ ОТЖИГ СТАЛИ** — небольшой нагрев (150...700 °С), выдержка (2...3 часа) и медленное охлаждение; применяют для снятия остаточных напряжений

**ОТЖИГ СТАЛИ ВТОРОГО РОДА** — заключается в нагреве выше температур фазовых превращений, выдержке и медленном охлаждении; максимально приближает структуру к равновесной; полный, неполный, изотермический и нормализационный отжиг

**ПОЛНЫЙ ОТЖИГ СТАЛИ** — нагрев стали на 30...50 °С выше линии GSE, выдержка (1 час на тонну металла) и медленное (до 500 °С — вместе с печью) охлаждение; обеспечивает мелкозернистую структуру с высокой пластичностью и вязкостью; применяют для доэвтектоидных сталей

**НЕПОЛНЫЙ ОТЖИГ СТАЛИ** — нагрев на 30...50 °С выше температуры

A<sub>1</sub>, выдержка и охлаждение вместе с печью; для доэвтектоидных сталей улучшает обрабатываемость резанием; чаще применяют для заэвтектоидных сталей

**СФЕРОИДИЗАЦИЯ** — неполный отжиг эвтектоидных и заэвтектоидных сталей на зернистый перлит; улучшает обрабатываемость резанием и подготавливает структуру к закалке; проводят при температуре 750...770 °С

**ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ СТАЛИ** — нагрев до 930...950 °С, выдержка 1...2 часа, охлаждение с изотермической выдержкой при 660...680 °С (до полного распада аустенита, обычно 3...6 часов); позволяет сократить время отжига легированных сталей (требуют очень медленного охлаждения); дает однородную ферритно-перлитную структуру

**ПАТЕНТИРОВАНИЕ** — изотермический отжиг пружинной (канатной) проволоки перед холодным волочением; заключается в высокотемпературной аустенизации и пропуске через расплавленную соль или свинец при температуре 450...550 °С; образуется тонкопластинчатый троостит или сорбит

**НОРМАЛИЗАЦИЯ** (нормализационный отжиг) — нагрев стали на 50...70 °С выше линии GSE, небольшая выдержка (около часа) и охлаждение на воздухе; ускоренное охлаждение приводит к более дисперсной структуре с повышенной прочностью и твердостью по сравнению с другими видами отжига; устраняет крупнозернистую структуру и цементитную сетку в заэвтектоидных сталях; самый производительный и экономичный вид отжига; нормализуют обычно конструкционные стали после горячей деформации или фасонного литья

**ЗАКАЛКА СТАЛИ** — по степени аустенизации при нагреве: полная и неполная; по способу охлаждения: с непрерывным охлаждением, закалка в двух средах, ступенчатая закалка, изотермическая закалка, закалка в заэвтектоидном состоянии, закалка с обработкой холодом...

**ПОЛНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛИ** предусматривает нагрев на 30...50 °С выше линии GSE; применяется в основном для доэвтектоидных сталей

**НЕПОЛНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛИ** предполагает нагрев на 30...50 °С выше температуры  $A_1$ , выдержку и быстрое охлаждение; применяется для заэвтектоидных (инструментальных) сталей, так как дает большую твердость (остающийся в структуре цементит тверже мартенсита)

**ЗАКАЛКА С НЕПРЕРЫВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ** — наиболее простой способ закалки, ведущий к большим остаточным напряжениям, короблению и даже растрескиванию

**ЗАКАЛКА В ДВУХ СРЕДАХ** (например, через воду в масло) позволяет уменьшить скорость охлаждения в области мартенситного превращения и, тем самым, уменьшить закалочные напряжения

**СТУПЕНЧАТАЯ ЗАКАЛКА** предусматривает для уменьшения закалочных напряжений изотермическую выдержку метастабильного аустенита при температуре выше температуры начала мартенситного превращения; распад аустенита осуществляется при последующем медленном охлаждении в области образования мартенсита

**ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА** — закалка, при которой осуществляют изотермическую выдержку метастабильного аустенита, обеспечивающую получение нижнего бейнита

**ЗАКАЛКА В ЗАНЕВОЛЕННОМ СОСТОЯНИИ** — деталь охлаждают между массивными медными пластинами для уменьшения коробления; обычно так закаляют плоские изделия большой длины (ножовочные полотна...); скорость охлаждения в этом случае меньше, чем в масле

**ОБРАБОТКА ХОЛОДОМ** позволяет провести мартенситное превращение до конца (часто для этого нужны отрицательные температуры) и избавиться от нестабильного остаточного аустенита, уменьшающего твердость и точность размеров; в зависимости от марки стали и типа изделия

охлаждают до температур  $-40\text{...}-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  жидким азотом сразу после закали; так обрабатывают мерительный инструмент, детали прецизионных подшипников...

**ОХЛАЖДАЮЩИЕ СРЕДЫ** — растворы солей, кислот и щелочей; вода; минеральное масло; воздух... (расположены по убыванию интенсивности охлаждения)

**ИДЕАЛЬНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ** должен обеспечить мартенситное превращение без возникновения чрезмерных остаточных напряжений и предотвратить распад аустенита на перлитные структуры (скорость закалки должна быть достаточной, но не слишком большой)

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАДИТЕЛЯ** — интенсивность охлаждения, интервал температур пузырькового кипения и зависимость перечисленных характеристик от температуры охладителя

**ПУЗЫРЬКОВОЕ КИПЕНИЕ** — выделение с поверхности нагретого металла, погруженного в охлаждающую среду, пузырьков газа (обычный тип кипения с хорошим теплоотводом); чем шире температурный интервал пузырькового кипения, тем интенсивнее охлаждение

**ПЛЕНОЧНОЕ КИПЕНИЕ** — отделение нагретого металла от охладителя пленкой пара; имеет место при большой разнице температур металла и охлаждающей среды и характеризуется плохим теплоотводом

**ВОДА КАК ОХЛАДИТЕЛЬ** — относительная интенсивность охлаждения и интервал пузырькового кипения сильно зависят от температуры воды: интенсивность охлаждения при температурах 20, 40 и  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно равна 1, 0.7 и 0.2

**МАСЛО КАК ОХЛАДИТЕЛЬ** обладает низкой и стабильной охлаждающей способностью (относительная интенсивность охлаждения 0.3 в интервале температур  $20\text{...}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); применяется при закалке легированных сталей, имеющих низкую критическую скорость закалки



**ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ NaCl и NaOH** обладают наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью (интенсивность охлаждения 2...3 при температуре 20 °С); хорошо зарекомендовали себя на практике

**ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ** — способность материала упрочняться при закалке; определяется получаемой твердостью поверхности и зависит главным образом от содержания углерода (чем больше углерода, тем выше закаливаемость)

**ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ** — способность сплавов закаляться на определенную глубину; определяется методом торцевой закалки по расстоянию от торца образца до полумартенситной зоны; у нелегированных сталей не превышает 12 мм

**ПОЛУМАРТЕНСИТНАЯ ЗОНА** — область, в которой половину объема занимает мартенсит; используется при измерении прокаливаемости

**ОТПУСК СТАЛИ** — различают низкий, средний и высокий отпуск

**НИЗКИЙ ОТПУСК** проводят при температуре 150...250 °С; получаемая структура — мартенсит отпуска с высокой твердостью (HRC 58...63); несколько уменьшает внутренние напряжения и повышает вязкость при сохранении высокой твердости; широко применяют при изготовлении мерительного, режущего и штампового инструмента

**СРЕДНИЙ ОТПУСК** проводят при температуре 350...500 °С; получаемая структура — троостит отпуска с твердостью HRC 40...50; сохраняет высокую прочность и твердость при высоком пределе упругости; наиболее часто применяют при термообработке рессор и пружин

**ВЫСОКИЙ ОТПУСК** — нагрев и выдержка закаленной стали при температуре 500...700 °С; структура после такой обработки — сорбит или перлит отпуска с твердостью HRC 25...30; применяют для ответственных деталей из среднеуглеродистых сталей (валы, шатуны...); обеспечивает высокую конструкционную прочность

**УЛУЧШЕНИЕ** — закалка с последующим высоким отпуском

**ОТПУСКНАЯ ХРУПКОСТЬ I РОДА** — аномально высокая хрупкость конструкционных сталей после отпуска при температурах 250...350 °С

**ОТПУСКНАЯ ХРУПКОСТЬ II РОДА** — повышенная хрупкость легированных конструкционных сталей после отпуска при температурах 500...600 °С; может быть подавлена быстрым охлаждением в указанном интервале температур (вода, масло) или легированием (молибден, вольфрам)

### **3.3. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ**

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА** заключается в нагреве до заданной температуры поверхности изделия с последующим быстрым охлаждением; предназначена для увеличения твердости и износостойкости поверхности; остающаяся сырой сердцевина хорошо сопротивляется ударным нагрузкам

**ИНДУКЦИОННАЯ ЗАКАЛКА** — поверхностная закалка с нагревом в индукторе токами высокой частоты

**ТВЧ-УСТАНОВКА** — устройство для поверхностной закалки деталей, использующее токи высокой частоты; нагрев осуществляют с помощью индуктора; поверхность детали разогревается значительно сильнее сердцевины за счет скин-эффекта

**ИНДУКТОР** — электромагнитное устройство, предназначенное для индукционного нагрева вихревыми токами, возбуждаемыми в обрабатываемом металле переменным магнитным полем

**СКИН-ЭФФЕКТ** — увеличение поверхностной плотности тока при увеличении его частоты; позволяет нагревать поверхность детали, практически не нагревая ее сердцевины

**ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА** — диффузионное насыщение по-

верхности металла каким-либо химическим элементом с целью улучшения эксплуатационных свойств (твердости, износостойкости, коррозионной стойкости...)

**ЦЕМЕНТАЦИЯ** — поверхностное насыщение металла или сплава углеродом; позволяет получить твердую износостойкую поверхность

**ЦЕМЕНТУЕМАЯ СТАЛЬ** — низкоуглеродистая сталь (0.08...0.25% углерода), позволяющая сохранить после цементации и термообработки вязкую сердцевину

**КАРБЮРИЗАТОР** — среда, из которой проводится насыщение углеродом; твердый, жидкий или газообразный

**ТВЕРДЫЙ КАРБЮРИЗАТОР** — древесный уголь с добавками; детали помещают в ящик с углем и выдерживают при температуре 930...950 °С; углерод переносится через газовую фазу; толщина диффузионного слоя обычно 0.5...1.5 мм; процесс длительный, приводит к крупнозернистой структуре

**ГАЗОВАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ** — в качестве карбюризатора используется обычно природный газ; метан термически диссоциирует, углерод проникает в металл; толщина слоя обычно 0.7...1.6 мм; идет быстрее, рост зерна не так выражен

**ЦЕМЕНТАЦИЯ ПАСТАМИ** — цементация, осуществляемая путем обмазки поверхности деталей углеродсодержащими пастами

**ГЛУБОКАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ** — цементация, при которой диффузионный слой достигает толщины более 2 мм (иногда до 6 мм)

**ИОННАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ** осуществляется путем бомбардировки поверхности детали ионами углерода, возникающими в прикатодной области тлеющего разряда; в качестве катода используют обрабатываемую деталь; позволяет в 2...3 раза ускорить процесс диффузионного насыщения

**ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД** — электрический разряд в газе, протекающий при низких давлениях; используется в лампах дневного света

**СТРУКТУРА ЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ** неоднородна: поверхность детали представляет собой заэвтектоидную сталь (структура перлит со вторичным цементитом), затем следует эвтектоидный участок (структура — перлит), внутренняя часть слоя представляет собой доэвтектоидную сталь (структура — феррит с перлитом)

**ЭФФЕКТИВНАЯ ТОЛЩИНА ЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ** равна сумме толщин заэвтектоидной и эвтектоидной частей, плюс половина толщины доэвтектоидной части диффузионного слоя

**ТЕРМООБРАБОТКА ПОСЛЕ ЦЕМЕНТАЦИИ** — две закалки и низкий отпуск; сначала проводят полную закалку, обеспечивающую наибольшую прочность сердцевины, затем неполную (для высокой твердости цементованного слоя); для деталей из природно-мелкозернистых сталей или неотчетственного назначения закалку можно совместить с цементацией (в этом случае проводят одну неполную закалку)

**АЗОТИРОВАНИЕ** — диффузионное насыщение поверхности азотом; увеличивает износостойкость и предел выносливости; высокая твердость (HV 12000) достигается лишь у специально легированных сталей

**ГАЗОВОЕ АЗОТИРОВАНИЕ** проводят в среде частично диссоциированного аммиака при температуре 500...600 °С; выдержка в 50 часов дает толщину слоя около 0.5 мм (поэтому применяют реже цементации)

**ДВУХСТУПЕНЧАТОЕ АЗОТИРОВАНИЕ** — газовое азотирование, осуществляемое в два этапа: сначала при температуре 500...520 °С, а затем при 540...600 °С; позволяет значительно сократить продолжительность процесса

**ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ** — азотирование в плазме тлеющего разряда; проводится при пониженном давлении, позволяющем поддерживать та-

кой разряд

**НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ** — диффузионное насыщение углеродом и азотом одновременно; проводят в газовой среде при температуре 850...870°C; в ряде случаев более эффективна, чем цементация или азотирование

**ЦИАНИРОВАНИЕ** — диффузионное насыщение углеродом и азотом из расплавов цианистых солей; дает более высокую износостойкость и выносливость по сравнению с цементацией, но это более дорогой процесс

**ЦИАНИСТЫЕ СОЛИ** — соли, содержащие группу NaCN; токсичны

**БОРИРОВАНИЕ** — диффузионное насыщение бором; толщина слоя 0.1...0.2 мм, твердость HV 2000 (низкая); повышает износостойкость, коррозионную стойкость, окалинотойкость (до 800 °C) и теплостойкость

**СИЛИЦИРОВАНИЕ** — диффузионное насыщение кремнием; повышает коррозионную стойкость, жаростойкость и износостойкость; твердость очень низкая (HV 250), но после пропитки маслом пористого поверхностного слоя износостойкость высокая

**АЛИТИРОВАНИЕ** — диффузионное насыщение поверхности алюминием для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости (пленка оксида алюминия защищает поверхность от окисления)

## ГЛАВА 4. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 4.1. СТАЛИ

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ *по химическому составу*: углеродистые и легированные; *по концентрации углерода*: низко- средне- и высокоуглеродистые; *по степени легирования*: низко- средне- и высоколегированные; *по качеству*: обыкновенные, качественные, высококачественные и особовысококачественные; *по степени раскисления и характеру затвердевания*: спокойные, полуспокойные и кипящие; *по структуре после отжига*: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные, аустенитные, ферритные, полуаустенитные и полужерритные; *по нормализованной структуре*: перлитные, мартенситные, аустенитные и ферритные; *по прочности*: нормальные, повышенной прочности и высокопрочные

УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ — сталь, содержащая только железо и углерод

НИЗКОУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ содержит менее 0,3% углерода

СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ содержит 0,3...0,7% углерода

ВЫСОКУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ содержит более 0,7% углерода

НИЗКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ содержит менее 5% легирующих элементов

СРЕДНЕЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ содержит 5...10% легирующих элементов

ВЫСОКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ содержит более 10% легирующих элементов

СТАЛЬ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА содержит наибольшее количество серы и фосфора (до 0,055% и 0,045% соответственно)

КАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ содержит серы до 0,04% и фосфора до 0,035%

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ** содержит серы и фосфора до 0,025%

**ОСОБОВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ** содержит минимальное количество серы и фосфора (0,015% и 0,025% соответственно)

**СПОКОЙНАЯ СТАЛЬ** — хорошо раскисленная сталь (Mn, Si, Al); при разливке газов не выделяет

**КИПЯЩАЯ СТАЛЬ** — плохо раскисленная сталь (только Mn); при разливке выделяет газы

**ПОЛУСПОКОЙНАЯ СТАЛЬ** — сталь со средней степенью раскисления

**РАСКИСЛЕНИЕ** — удаление кислорода из стали перед разливкой; уменьшает хрупкость, повышает механические свойства

**ПЕРЛИТНАЯ СТАЛЬ** — сталь, имеющая после нормализации структуру, состоящую из ферритно-цементитных смесей (перлит, сорбит или троостит)

**МАРТЕНСИТНАЯ СТАЛЬ** после нормализации состоит в основном из мартенсита; закаляется на воздухе

**СТАЛЬ НОРМАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ** имеет прочность до 1000 МПа

**СТАЛЬ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ** имеет прочность 1000...1500 МПа

**ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ** имеет прочность свыше 1500 МПа

**ПОСТОЯННЫЕ ПРИМЕСИ В СТАЛЯХ** — марганец, кремний, сера, фосфор и скрытые примеси

**МАРГАНЕЦ В СТАЛИ** — полезен: уменьшает влияние серы и фосфора, увеличивает предел текучести (вводят при раскислении)

**КРЕМНИЙ В СТАЛИ** — полезен: упрочняет (вводят при раскислении)

**СЕРА В СТАЛИ** — вредна: вызывает краснеломкость; полезна: облегчает

обработку резанием

ФОСФОР В СТАЛИ — вреден: вызывает хладноломкость

СКРЫТЫЕ ПРИМЕСИ В СТАЛИ (газы) вредны: увеличивают хрупкость, ухудшают механические свойства

КРАСНОЛОМКОСТЬ — повышенная хрупкость при горячей деформации

ХЛАДНОЛОМКОСТЬ — повышенная хрупкость при комнатной температуре (высокий порог хладноломкости)

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА (ГОСТ 380-88) — дешевые, хорошо обрабатываются резанием и давлением, низкая прокаливаемость (12 мм)

КАЧЕСТВЕННАЯ УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ (ГОСТ 1050-88) — низко-, средне- и высокоуглеродистая; гарантирован только химический состав, механические свойства не регламентированы

ЛЕГИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СТАЛЯХ — Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, М – молибден, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадий, Ю – алюминий, Д – медь, Б – ниобий, Р – бор, К – кобальт, Ц – цирконий, А – азот, Ч – редкоземельный; цифра после буквы — содержание элемента в %

МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ цифра — углерод в сотых долях %; буква в начале: А – автоматная сталь, Ш – шарикоподшипниковая, Э – электротехническая; буква в конце: А – высококачественная, Ш – особовысококачественная; 12Х2Н4А

ДОСТОИНСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ проявляются лишь после ТО: выше предел текучести, больше прокаливаемость, меньше критическая скорость закали, выше надежность (из-за большей вязкости)

НЕДОСТАТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ — часто подвержены отпуску



ной хрупкости, больше остаточного аустенита, менее технологичны

**ХРОМ В СТАЛИ** — до 2% — улучшает механические свойства и коррозионную стойкость

**НИКЕЛЬ В СТАЛИ** — 1...5% — улучшает комплекс свойств: механических, технологических и эксплуатационных; самый ценный, но дефицитный легирующий элемент

**КРЕМНИЙ В СТАЛИ** — до 2% — сильно увеличивает предел текучести, снижает вязкость и увеличивает порог хладноломкости (если его более 1%)

**МОЛИБДЕН И ВОЛЬФРАМ В СТАЛИ** — остродефицитные карбидообразующие элементы (теплостойкость, твердость); измельчают зерно; подавляют отпускную хрупкость второго рода

**ВАНАДИЙ И ТИТАН В СТАЛИ** — сильные карбидообразователи, уменьшают зерно

**БОР В СТАЛИ** — вводят в микродозах: 0.002...0.005% — увеличивает прокаливаемость (как 1% никеля, 0.5% хрома или 0.2% молибдена)

**ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ НОРМАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ** — низкоуглеродистые (цементуемые) и среднеуглеродистые (улучшаемые)

**ЛЕГИРОВАННЫЕ ЦЕМЕНТУЕМЫЕ СТАЛИ** — содержат 0.1...0.3% С; используют в состоянии максимального упрочнения (закалка и низкий отпуск); хорошие пластичность, вязкость, трещиностойкость; детали, работающие в условиях трения; 15Х, 20Х — дешевые представители сталей нормальной прочности

**УЛУЧШАЕМЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ** — содержат 0.3...0.5% углерода; термообработка: закалка и высокий отпуск; высокая сопротивляемость статическим, динамическим и ударным нагрузкам; валы, штоки, шатуны...; 40Х, 45Х, 50Х — дешевые представители

**ЛЕГИРОВАННЫЕ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ** — среднеуглеродистые комплексно легированные стали после низкого отпуска или термомеханической обработки; мартенситно-стареющие стали; метастабильные аустенитные стали

**КОМПЛЕКСНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ** — легирование специально подобранным комплексом элементов, максимально улучшающим эксплуатационные характеристики материала

**ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА** — пластическая деформация аустенита, совмещенная с закалкой; высокотемпературная и низкотемпературная

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ВТМО)** проводится при нагреве выше температуры  $A_3$ ; дает большую пластичность; рекордная прочность (3000 МПа) получена на среднеуглеродистых легированных сталях сочетанием ВТМО и холодной пластической деформации

**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (НТМО)** заключается в деформации стали при температуре 400...600 °С; требует мощного прессового оборудования; по сравнению с обычной ТО дает приращение прочности на 15...20%, пластичность и вязкость при этом в 1.5...2 раза выше

**МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИЕ СТАЛИ** — безуглеродистые сплавы, содержащие от 8 до 25% никеля, а также кобальт, молибден, титан, алюминий и др. элементы; после закалки (800...860 °С) на воздухе образуется мартенсит, последующее старение (500 °С) которого обеспечивает высокие механические характеристики; при старении из мартенсита выделяются мелкодисперсные частицы вторичных фаз, упрочняющие сплав

**ДОСТОИНСТВА МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ** — высокий предел текучести; предел упругости лучше, чем у пружинных сплавов;

низкий порог хладноломкости; высокая технологичность (свариваются, режутся, деформируются); неограниченная прокаливаемость

**ДОСТОИНСТВА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ** — высокая прочность и повышенная пластичность

**ЗАКАЛКА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ** — закалка от 1000...1100°C дает высокую вязкость и низкий предел текучести

**НЕДОСТАТОК АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ** — низкий предел текучести

**ПРИМЕНЕНИЕ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ** — после упрочнения: броневой лист, проволока, детали авиаконструкций, тросы...

**ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ** аустенитных сталей — холодная пластическая деформация (400...600 °С) с большим обжатием (50...80%); сложно и дорого; предел текучести до 1800 МПа при относительном удлинении 20%, высокая трещиностойкость

#### **4.2. МАТЕРИАЛЫ С ОСОБЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

**ЛЕГКОСТЬ РЕЗАНИЯ** — низкая интенсивность износа инструмента, высокая допустимая скорость резания, хорошая чистота поверхности, легкость отвода стружки

**ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ** определяется механическими свойствами материала, его теплопроводностью, микроструктурой и химическим составом; особенно плохо режутся аустенитные стали, обладающие высокой вязкостью и низкой теплопроводностью

**АВТОМАТНАЯ СТАЛЬ** — хорошо режущаяся сталь; удобна при использовании станков-автоматов

**ЛЕГИРОВАНИЕ АВТОМАТНЫХ СТАЛЕЙ** — сера, свинец (С), селен (Е), кальций (Ц)

СЕРНИСТАЯ АВТОМАТНАЯ СТАЛЬ содержит 0.1...0.3% серы, 0.05...0.15% фосфора и 0.7...1.5% марганца (против красноломкости); гладкая блестящая поверхность, не налипает на инструмент; низкие пластичность, вязкость и коррозионная стойкость; углеродистые — А11, А12, А20, А30, А40Г — крепеж, мелкие сложные детали...

СВИНЦОВОСОДЕРЖАЩИЕ АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ содержат 0.15...0.35% свинца (внутренняя смазка); углеродистые (АС14, АС40) и легированные (АС12ХН, АС38ХГМ); режутся лучше сернистых; многие детали д.в.с.

СЕЛЕНОСОДЕРЖАЩИЕ АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ содержат 0.04...0.12 % селена и около 0.1% серы; углеродистые (А35Е, А45Е) и хромистые (А40ХЕ); вдвое снижают расход инструмента, на 30% повышают производительность и обладают нормальной коррозионной стойкостью

КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИЕ АВТОМАТНЫЕ СТАЛИ — микролегирование кальцием (0.002...0.008)% с добавлением свинца и теллура: АЦ20, АЦ30, АЦ40Х; режут твердосплавным инструментом на высоких скоростях (> 100 м/мин): кальцийсодержащие включения тугоплавки

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ — способность материала подвергаться холодной и горячей пластической деформации; зависит от химического состава (меньше углерода — выше пластичность) и микроструктуры (феррит с небольшим количеством перлита; зерно мелкое)

СТАЛЬ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ ХОЛОДНОЙ ВЫТЯЖКИ должна содержать менее 0.1% углерода: 05, 08, 10, 08Фкп, 08Юкп

ХОРОШАЯ СВАРИВАЕМОСТЬ — способность к образованию шва, по прочности равного литому металлу; определяется содержанием углерода и легирующих элементов

СТАЛИ С ХОРОШЕЙ СВАРИВАЕМОСТЬЮ — низкоуглеродистые нелегированные и низколегированные (09Г2С, 14Г2, 16ГС): трубопроводы,

мосто-, вагоно- и судостроение

СТАЛИ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ — 16Г2АФ... — обладают хорошей свариваемостью: металлоконструкции цехов, подъемных кранов, резервуаров; низкий порог хладноломкости позволяет использовать их на морозе; сварка при толщине стали до 15 мм затруднений не вызывает (при большей толщине нужен подогрев)

МАТЕРИАЛЫ С ХОРОШИМИ ЛИТЕЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ — чугуны, медные сплавы...

ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА — жидкотекучесть, величина усадки, склонность к образованию пористости при литье, склонность к ликвации и образованию трещин; определяют возможность получения отливки сложной формы, прочность, наличие дефектов

БЕЛЫЙ ЧУГУН — чугун, не имеющий в структуре графита; весь углерод связан (цементит); тверд, хрупок, используется редко

СЕРЫЙ ЧУГУН — чугун с пластинчатым графитом; углерода 2.2...3.7%, м.б. легирован; меньше углерода — хуже литейные свойства; демпфирующая и звукогасящая способность: станины станков; перлитные (СЧ30...СЧ45 — зубчатые колеса...), ферритно-перлитные (СЧ20, СЧ25 — блоки цилиндров) и ферритные (СЧ10, СЧ15 — слабонагруженные детали); ГОСТ 1412–85

КОВКИЙ ЧУГУН — чугун с хлопьевидным графитом; получают отжигом белых чугунов; прочнее, пластичнее и дороже серого; ферритные и перлитные; прочность, износостойкость, ударные и знакопеременные нагрузки: КЧ 30-6...; ГОСТ 1215–85

КОВКИЙ ФЕРРИТНЫЙ ЧУГУН — чугун с хлопьевидным графитом и ферритной металлической основой; получают из белого чугуна отжигом при 950°С в течении 30 часов, затем при 730 °С (40 часов); пластичнее перлитного чугуна

**КОВКИЙ ПЕРЛИТНЫЙ ЧУГУН** получают из белого чугуна отжигом (1000°C, 75 часов); прочнее ферритного чугуна

**ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН** — чугун с шаровидным графитом; модифицируют магнием (0.02...0.08%); большие прокатные валки, кузнечно-прессовое оборудование, коленчатые валы, корпуса турбин...; ВЧ 18-38...; ГОСТ 7293–85

**ОТБЕЛЕННЫЙ ЧУГУН** серый чугун с коркой белого на поверхности; износостойкость: прокатные валки, лемехи плугов, тормозные колодки

**ПЕРЛИТНЫЙ ЧУГУН** — чугун, в котором 0.8% углерода связано; структура — перлит + графит

**ФЕРРИТНЫЙ ЧУГУН** — чугун, в котором весь углерод находится в виде графита

**ТЕРМООБРАБОТКА ЧУГУНОВ** — чугуны можно отжигать, подвергать нормализации и закалять

**ДОСТОИНСТВА МЕДИ** — высокие технологичность (прокатка, полировка, сварка, пайка), тепло- и электропроводность, коррозионная стойкость, пластичность

**НЕДОСТАТКИ МЕДИ** — высокая плотность, плохая жидкотекучесть и обрабатываемость резанием

**УПРОЧНЕНИЕ МЕДИ** — медь упрочняют наклепом

**МЕДНЫЕ СПЛАВЫ** — деформируемые и литейные, упрочняемые и неупрочняемые термообработкой, латуни и бронзы; легирующие элементы: А – алюминий, Н – никель, О – олово, С – свинец, Ф – фосфор, Ж – железо, К – кремний, Мц – марганец, Б – бериллий, Ц – цинк

**ЛАТУНЬ** — сплав меди с цинком, может быть легирован

**ДВОЙНАЯ ЛАТУНЬ** — сплав, содержащий только медь с цинком: Л96,

Л80 (96 и 80 % меди)

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ ЛАТУНИ — сплавы с плохими литейными свойствами и высокой пластичностью: ЛАН59-3-2 (59% меди, 3% алюминия и 2% никеля)

ЛИТЕЙНЫЕ ЛАТУНИ — сплавы с хорошими литейными свойствами и пониженной пластичностью: ЛЦ40Мц3А (40% цинка, 3% марганца, 1% алюминия)

БРОНЗА — сплав меди с любыми элементами (кроме цинка); может быть легирована цинком; деформируемая и литейная; оловянная, алюминиевая, кремнистая, бериллиевая...

ДЕФОРМИРУЕМАЯ БРОНЗА — сплав, не содержащий в структуре эвтектики; литейные свойства плохие, пластичность высокая: БрОЦС4-4-2.5 (4% олова, 4% цинка, 2.5% свинца)

ЛИТЕЙНАЯ БРОНЗА — сплав, содержащий в структуре эвтектику (что улучшает литейные свойства и ухудшает пластичность): БрО6Ц6С3 (6% олова, 6% цинка, 3% свинца)

ОЛОВЯННАЯ БРОНЗА — сплав меди с оловом (олова до 10% , м.б. легирована); высокая коррозионная стойкость, хорошие упругие свойства

### 4.3. ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ВИДЫ ИЗНОСА — абразивный, усталостный, под воздействием ударов или агрессивной рабочей среды...

ВИДЫ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ — механическое и адгезионное

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЧЕСКОЕ может сопровождаться упругим контактом трущихся материалов (наилучший случай), пластическим деформированием контактной зоны или микрорезанием (абразивный износ)

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДГЕЗИОННОЕ** — контактное взаимодействие, при котором наблюдается схватывание и разрушение поверхностных окисных пленок или металлических поверхностей

**СОВМЕСТИМОСТЬ ПРИ ТРЕНИИ** — способность предотвращать схватывание без смазки

**КОНТАКТНАЯ ВЫНОСЛИВОСТЬ** — способность сопротивляться питтингу и фреттинг-коррозии

**ПИТТИНГ** — выкрашивание поверхностей при трении

**ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИЯ** — износ поверхностей при малых относительных перемещениях деталей (посадочные места валов, шестерней); ямки, язвы ...

**АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС** — износ в условиях микрорезания: стойкость материала пропорциональна его твердости

**УСТАЛОСТНЫЙ ИЗНОС** — износ под действием многократно повторяющихся циклов напряжений; выкрашивание поверхности, образование усталостных трещин; подшипники, зубчатые колеса

**ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ** — карбидные сплавы; стали: подшипниковая, для зубчатых колес; триботехнические материалы

**КАРБИДНЫЕ СПЛАВЫ** — сплавы на железной основе с высоким (до 4%) содержанием углерода, легированы карбидообразующими элементами (Cr, W, Ti): У25Х38 (2.5% С, 3.8% Cr), У11Г13 — зубья ковшей экскаваторов, пики отбойных молотков

**ПОДШИПНИКОВАЯ СТАЛЬ** — хрупкая высокоуглеродистая сталь: ШХ4, ШХ15 (1% С); термообработка: закалка и низкий отпуск (HRC 60...64), прецизионные подшипники обрабатывают холодом (-70°C)

**СТАЛЬ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС** — низко- или среднеуглеродистая сталь



после ХТО или поверхностной закалки (твердая поверхность и вязкая сердцевина): 20ХНЗА, 18ХГТ, 40Х...

**ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ** — материалы, хорошо работающие в условиях трения; имеют необычный коэффициент трения по стали или чугуну, антифрикционные и фрикционные материалы

**АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** имеет низкий коэффициент трения по стали и другим материалам; металлический, неметаллический, комбинированный

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — баббиты ( $f=0.1$ ), бронзы ( $f=0.15$ ), латуни ( $f=0.2$ ), чугуны  $f=0.18$ )

**БАББИТ** — антифрикционный сплав на оловянной или свинцовой основе Б83 (83% олова, 11% сурьмы, 6% меди), Б16 (16% олова, 16% сурьмы, 2% меди, остальное — свинец); непрочные, дорогие: покрытия

**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — пластмассы, минералы, ситаллы...

**АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПЛАСТМАССЫ** — текстолит (подшипники прокатных станов, гребных винтов: тяжелый режим работы, смазка водой,  $f=0.2$ ); полиамид, капрон ( $f=0.17$ ); фторопласт ( $f=0.05$  — по стали без смазки; непрочный, теплопроводность низкая)

**МИНЕРАЛЫ АНТИФРИКЦИОННЫЕ** — естественные (агат) и искусственные (рубин, корунд); камневые опоры

**КОРУНД** — естественный или искусственный минерал, безводный глинозем  $Al_2O_3$ ; используется как абразивный материал или как антифрикционный для камневых опор

**СИТАЛЛ** — стеклокристаллический материал с хорошими антифрикционными свойствами; заменяет драгоценные и полудрагоценные камни в точечных опорах

**ФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал с большим коэффициентом трения; используется в тормозных устройствах, в передаче вращающих моментов (сцепление); тяжелые условия работы: давление до 6 МПа, скорость скольжения до 40 м/с, температура до 1000 °С; спеченные асбодфрикционные материалы и сплавы (железо-медь...)

**СПЕЧЕННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал, полученный методами порошковой металлургии

#### **4.4. МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКИМИ УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ**

**УПРУГИЕ СВОЙСТВА** определяются сопротивлением пластической деформации и неупругими эффектами

**СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ** зависит: при кратковременном нагружении — от предела упругости, при длительном — от релаксационной стойкости

**РЕЛАКСАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ** — способность материала сопротивляться релаксации напряжений; важная характеристика пружинных материалов, работающих в условиях длительного нагружения

**НЕУПРУГИЕ ЭФФЕКТЫ** — упругое последствие, релаксация напряжений, упругий гистерезис и внутреннее трение

**УПРУГОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ** проявляется в отставании упругой деформации от нагрузки (деформация продолжается некоторое время после прекращения воздействия)

**РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ** — самопроизвольное уменьшение напряжений в материале с течением времени; приводит к необратимой деформации пружины; зависит от подвижности дислокаций

**УПРУГИЙ ГИСТЕРЕЗИС** проявляется в несовпадении характеристик при нагрузке и разгрузке; в зависимости формы характеристики от скорости

нагрузки и разгрузки

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПРУЖИНЫ** — зависимость деформации от напряжения

**ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ** — свойство материалов необратимо превращать в теплоту часть механической энергии, затраченной на деформацию; численно равно ширине резонансной кривой, измеренной на высоте 0,7 от максимальной амплитуды

**РЕЗОНАНСНАЯ КРИВАЯ** — зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты внешнего воздействия, вызывающего эти колебания

**ДОБРОТНОСТЬ ПРУЖИНЫ** — резонансная частота, деленная на внутреннее трение

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРУЖИНЫ** — тангенс угла наклона характеристики к оси напряжений

**РЕССОРНО-ПРУЖИННЫЕ СТАЛИ** — среднеуглеродистые стали после термообработки на троостит или нижний бейнит; углеродистые (65...85, 60Г...70Г) и легированные (55С2, 50ХФА, 60С2ХА) стали; имеют низкую чувствительность из-за большого модуля упругости стали

**ТЕРМООБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ПРУЖИН** — закалка на мартенсит + средний отпуск; получаемый троостит имеет стабильную дислокационную структуру и высокий предел упругости; обычно совмещают с пластической деформацией (термомеханическая обработка: патентирование)

**ПРУЖИННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ** — бериллиевые бронзы и железоникелевые сплавы; имеют линейную характеристику и высокую чувствительность

**БЕРИЛЛИЕВАЯ БРОНЗА** — сплав на медной основе, легированной бериллием и, возможно, другими элементами; обладает высоким пределом упругости, низким модулем упругости, малыми неупругими эффектами и

большими упругими деформациями; используется для упругих элементов ответственного назначения; высокая коррозионная стойкость и электропроводность, немагнитна, технологична; упрочняют ТО или ТМО; БрБ2; БрБНТ1,9 ( $\sigma_{0,002}=1000$  МПа, после ТМО); бериллий дорог

**ПРУЖИННЫЕ ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ** не уступают по пределу упругости бериллиевым бронзам, но имеют меньшую чувствительность (больше модуль упругости); 36НХТЮ: аустенитная структура, коррозионная стойкость, обрабатывается давлением и сваривается, упрочняется ТО; дешевле бериллиевых бронз

**СВЕРХУПРУГОСТЬ** — явление аномально высокой упругой деформации у некоторых материалов, связанное с наличием обратимого мартенситного превращения, вызываемого внешней нагрузкой

**СВЕРХУПРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ** — материалы с упругой деформацией до 10% (для сравнения: медь — 0.1%, сталь — до 0.5%, нитевидные монокристаллы — 4%); часто обладают эффектом памяти формы (обратимое мартенситное превращение может быть вызвано изменением температуры); пружина, изготовленная из такого материала (взамен стальной) позволяет в 20 раз реже заводить часы (при тех же размерах) или сократить сращение перелома челюсти с трех недель (стальная пружина) до 1 недели; сплав Оландера, нитинол, сплавы Ti-Co, Ti-Fe, Mn-Cu

**ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ** — способность к термоупругому (обратимому) мартенситному превращению; при восстановлении температуры восстанавливают и форму, которую имели при этой температуре

**СПЛАВ ОЛАНДЕРА** — сплав золото-кадмий; обладает сверхупругостью и эффектом памяти формы

**НИТИНОЛ** — сплав никеля с титаном; обладает сверхупругостью и эффектом памяти формы

#### 4.5. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

МЕТАЛЛЫ С МАЛОЙ ПЛОТНОСТЬЮ — алюминий ( $2700 \text{ кг/м}^3$ ), магний ( $1700 \text{ кг/м}^3$ ), бериллий ( $1848 \text{ кг/м}^3$ ) и титан ( $4500 \text{ кг/м}^3$ ), а также их сплавы; авиация, ракетостроение, судостроение, автомобилестроение...

АЛЮМИНИЙ — имеет ГЦК решетку, малую плотность, высокие тепло- и электропроводность, пластичность, коррозионную стойкость; упрочняется холодной пластической деформацией, хорошо обрабатывается давлением и сваривается, но плохо обрабатывается резанием; бывает алюминий особой чистоты (А999 – примесей менее 0.001%), высокой чистоты (А995...А950 – и примесей от 0.005% до 0.05%) и технической чистоты (до 0.1% примеси); алюминий особой и высокой чистоты применяется для проводов и кабелей, технической чистоты — как конструкционный материал

УПРОЧНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ — алюминий хорошо упрочняется холодной пластической деформацией (ГЦК решетка)

ПРИМЕНЕНИЕ АЛЮМИНИЯ — рамы, двери, трубы, цистерны, фольга, посуда, провода, отражатели

СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ — по технологии изготовления: деформируемые, литейные и спеченные; по способности упрочняться ТО: упрочняемые и неупрочняемые; прочность до 700 МПа, плотность  $< 2850 \text{ кг/м}^3$ , удельная прочность до 23 км (высокопрочная сталь — 27 км); технологичны: давление, сварка, резание; легируют: Cu, Mg, Si, Mn, Zn...

ДЕФОРМИРУЕМЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ — сплав, не содержащий эвтектики; сравнительно низколегирован (Д1...Д16)

ЛИТЕЙНЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ — сплав, содержащий эвтектику; легирован сильнее деформируемых сплавов (АЛ1... АЛ19)

СПЕЧЕННЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ — сплав полученный из гранул

методами порошковой металлургии; гранулы имеют мелкокристаллическую структуру за счет сверхбыстрого охлаждения из расплава; обычно представляют из себя аномально пересыщенные твердые растворы с соответствующими этому состоянию свойствами

**НАГАРТОВКА** — технологическая операция по созданию наклепа, применяется для упрочнения алюминия и его сплавов

**ДУРАЛЮМИН** — сплав системы Al-Cu-Mg; деформируемый сплав, обладающий хорошим сочетанием прочности и пластичности

**СИЛУМИН** — сплав системы Al-Si; может быть двойной и легированный; литейный сплав с наилучшими литейными свойствами

**МАГНИЙ** — серебристо-белый металл без полиморфных превращений, температура плавления 650 °С, ГЦК решетка; температура воспламенения 623 °С, в измельченном состоянии пирофорен (самовоспламеняется) и горит ослепительно с большим выделением тепла; Mg96 (99,96% магния), Mg90 (99,90% магния); обрабатывают давлением при 400 °С (состояние наибольшей пластичности); пиротехника, химия, металлургия

**ДОСТОИНСТВА МАГНИЯ** — рекордно низкая плотность; хорошо режется и гасит вибрацию

**НЕДОСТАТКИ МАГНИЯ** — плохие механические свойства (прочность 120 МПа — как конструкционный материал не используют); низкие пластичность и коррозионная стойкость

**СПЛАВЫ МАГНИЯ** — прочность до 400 МПа при плотности менее 2000 кг/м<sup>3</sup>; легирующие элементы: Al, Zn, Mn...; отлично режутся, шлифуются и полируются, хорошо свариваются, литейные свойства плохие; окисляются и воспламеняются при нагреве (плавка и разливка под флюсом)

**КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ** — по технологии изготовления: деформируемые и литейные; по способности упрочняться ТО: уп-

рочняемые и неупрочняемые; по прочности: средней прочности, высокопрочные и жаропрочные

**ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ** обладают плохими литейными свойствами, так как не содержат эвтектики; наиболее прочны сплавы магния с алюминием и цинком, которые дополнительно легируют цирконием (МА14), кадмием и серебром (МА10 — 430 МПа, 24 км), редкоземельными элементами (МА15)

**ЛИТЕЙНЫЕ МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ** имеют низкую пластичность (наличие эвтектики приводит к грубозернистой литой структуре); наиболее распространены сплавы системы Mg-Al-Zn; самолетостроение: детали авиадвигателей, ракетостроение: корпуса ракет, автомобилестроение (гоночные), атомная техника (слабое поглощение нейтронов)

**ТЕРМООБРАБОТКА СПЛАВОВ МАГНИЯ** — отжиг: гомогенизационный, рекристаллизационный (300°C) и для снятия напряжений (150°C); закалка (выдержка 25 часов, охлаждение на воздухе) + старение (200°C, 20 часов) — большие выдержки из-за медленной диффузии

#### **4.6. МЕТАЛЛЫ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ И ЖЕСТКОСТЬЮ**

**МЕТАЛЛЫ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ** — титан, бериллий и их сплавы

**ТИТАН** — легкий тугоплавкий (1665 °C) металл, полиморфное превращение при 882 °C (ГПУ — ОЦК), внешне похож на сталь

**ДОСТОИНСТВА ТИТАНА** — малая плотность, хорошее сочетание прочности (400 МПа) и пластичности (относительное удлинение 50%), высокая удельная прочность (30 км); хорошо обрабатывается давлением и сваркой

**НЕДОСТАТКИ ТИТАНА** — низкий модуль упругости (вдвое меньше, чем у

железа) и плохие антифрикционные свойства; плохо режется

УПРОЧНЕНИЕ ТИТАНА — титан упрочняется наклепом (в два раза)

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ — по технологии изготовления: деформируемые и литейные; по механическим свойствам: нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластичности; по способности упрочняться термообработкой: упрочняемые и неупрочняемые

ДОСТОИНСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ — прочнее титана; пластичнее, технологичнее и дешевле бериллия; превосходят сплавы алюминия и магния по удельной прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости; безопасны при переработке

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ ТИТАНА — авиация (обшивка сверхзвуковых самолетов, детали реактивных двигателей), ракетостроение (корпуса ракетных двигателей), судостроение (обшивка подводных лодок), промышленность (баллоны для сжатых и сжиженных газов)...

ДОСТОИНСТВА БЕРИЛЛИЯ — очень легкий металл с рекордно высокой удельной жесткостью (по модулю упругости уступает лишь вольфраму и молибдену, но они много плотнее); высокая удельная прочность (37 км); очень тверд — режет стекло; обладает огромной теплоемкостью (в 8 раз превосходит сталь) и большой теплопроводностью (лишь на 12% уступает алюминию); стойкость к резонансным колебаниям, высокое сопротивление усталостному разрушению и большая скорость распространения звука (в 2.5 раза больше стали) делают бериллий незаменимым в двигателестроении и акустической технике

НЕДОСТАТКИ БЕРИЛЛИЯ — редкий и дорогой металл, из-за химической инертности трудно извлекать из руды; низкая пластичность; режется плохо и только твердосплавным инструментом, сваривается специальными методами; токсичен при переработке (тяжелые легочные заболевания, при попадании в ранки вызывает изъязвление, необходимо при-



менять средства индивидуальной защиты)

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ** — один из лучших материалов для конструкций, где важны собственная масса и жесткость: детали сверхзвуковых самолетов, обшивка ракет (самолет, изготовленный на 80% из бериллия, вдвое легче, чем из алюминия — на 40% увел. дальность полета, больше грузоподъемность); теплозащитный материал в ракетной и космической технике: головные части ракет, оболочки кабин космонавтов, передние кромки крыльев сверхзвуковых самолетов...; бериллиевая микропрополка (диаметр неск. мкм) имеет прочность 1300 МПа, используется для армирования композиционных материалов на основе алюминия и титана (космическая техника); ответственные детали высокоточных приборов: системы навигации ракет, самолетов, подводных лодок; гироскопы...; атомная техника (слабо поглощает тепловые нейтроны), конструкционный материал для рентгеновских трубок (поглощает рентгеновские лучи в 17 раз слабее алюминия)

**СПЛАВЫ БЕРИЛЛИЯ** — очень трудно получить из-за малого размера элементарной ячейки бериллия; основной легирующий элемент — алюминий — практически нерастворим в бериллии при комнатной температуре; пластичнее и технологичнее чистого бериллия; 24% алюминия: прочность 620 МПа, относ. удлинение 3%

**МЕТАЛЛЫ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ** — сплавы на основе: магния (2.3 км), алюминия (2.4 км), титана (2.6 км), железа (2.6 км); чистый бериллий — 16 км!

#### **4.7. МАТЕРИАЛЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ**

**КОРРОЗИЯ** — разрушение металлов под действием окружающей среды; электрохимическая и химическая

**КОРРОЗИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ** — коррозия под воздействием

электролитов: кислот, щелочей и солей (атмосферная, почвенная ...)

**КОРРОЗИЯ ХИМИЧЕСКАЯ** — коррозия под действием газов и неэлектролитов (нефтепродуктов ...)

**КОРРОЗИОННО-СТОЙКАЯ СТАЛЬ** — сталь, устойчивая к электрохимической и химической коррозии; легирована элементами, образующими на поверхности защитные пленки или повышающими электрохимический потенциал стали в агрессивных средах

**ХРОМИСТЫЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ СТАЛИ** — стали, содержащие не менее 12% хрома; устойчивы: к атмосферной коррозии, в пресной и морской воде, слабых растворах солей кислот и щелочей; 12X13...40X13, 12X17, 15X28 (углерод снижает корр. стойкость)

**ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ СТАЛИ** — аустенитные (12X18Н9, 17X18Н9); аустенитно-ферритные (08X22Н6Т, 08X21Н6М2Т) — прочнее; аустенитно-мартенситные (09X15Н8Ю) — хорошие механические свойства, пластичны (мартенсита мало)

**ЖАРОСТОЙКОСТЬ** — способность противостоять газовой коррозии при высоких температурах (> 550 °С)

**ОКАЛИНОСТОЙКОСТЬ** — способность не покрываться слоем окалины при нагреве; то же, что и жаростойкость

**ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ** — стали с хромом и алюминием: 5...8% хрома повышают жаростойкость до 750°С, 15...17% — до 1000°С, 25% — до 1100°С, 25% хрома + 5% алюминия — до 1300°С; ферритные (12X17, 15X25Т), аустенитные (20X23Н13, 12X25Н16Г7АР); детали печей, газовые турбины...

**ЖАРОПРОЧНОСТЬ** — способность выдерживать нагрузки при высокой температуре в течение определенного времени

**КРИТЕРИИ ЖАРОПРОЧНОСТИ** — условный предел ползучести, предел

длительной прочности и рабочие температуры материала

**ПОЛЗУЧЕСТЬ** — медленная деформация металла при напряжениях ниже предела текучести, вызванная одновременным воздействием нагрузки и высокой температуры

**УСЛОВНЫЙ ПРЕДЕЛ ПОЛЗУЧЕСТИ** — напряжение, которое вызывает заданное удлинение образца при определенной температуре за оговоренное время

**ПРЕДЕЛ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ** — наибольшее напряжение, вызывающее разрушение образца за определенное время при заданной температуре

**ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ** — рабочие температуры 500...750 °С; перлитные: 15К (котельная, 1.5% С), мартенситные: 15Х11МФ, мартенситно-ферритные: 40Х9С2, 40Х10С2М (сильхромы), аустенитные: 10Х18Н12Т (наиболее жаропрочные — до 750°С)

**ЖАРОПРОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ** — ХН35ВТЮ (до 0.08% С, 12...15% Cr, 3% Ti — до 750 °С), ХН38ВТ (до 0.12% С, 20...23% Cr, 1% Ti, 3% W — до 1100 °С); содержат менее 50% железа

**ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ** — содержат около 20% хрома (окалиностойкость), 1...3% титана и 1...5% алюминия (жаропрочность), молибден, вольфрам, кобальт; рабочие температуры до 850 °С, ХН77ТЮР: 20% хрома, 2.5% титана, 1% алюминия, 6% вольфрама, 0.01% бора

**КРИОГЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ** — температуры ниже точки кипения кислорода (- 183 °С)

**КРИОГЕННЫЕ СТАЛИ** — низкоуглеродистые никелевые стали (0Н6А, 0Н9А — углерода менее 0.1%) работают до -196 °С: резервуары для сжиженных газов...; некоторые аустенитные стали (почти вдвое дороже,

рабочие температуры ниже)

Витебский государственный технологический университет

## ГЛАВА 5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — стали, твердые сплавы и сверхтвердые материалы

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ** — углеродистые, низколегированные и быстрорежущие

**УГЛЕРОДИСТЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ** — эвтектоидные и заэвтектоидные стали: качественные У7...У13 и высококачественные У7А...У13А (0.7...1.3% углерода); прокаливаемость до 12 мм (инструмент до 25 мм в поперечнике); теплостойкость низкая — до 200 °С — ручной и деревообрабатывающий инструмент; термообработка: закалка и отпуск (низкий: HRC 60...64, средний: HRC 45...50 — в условиях ударного нагружения)

**ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА** — способность сохранять высокую твердость при нагреве

**ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ** — способность сохранять мартенситную структуру при нагреве

**НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ** — заэвтектоидные стали перлитного класса; легированы хромом (1%, присутствует всегда), марганцем (уменьшает коробление при закалке), вольфрамом (1...4%, износостойкость); теплостойкость до 260 °С; обладают большой прокаливаемостью; HRC 62...69 (закалка от 800...850 °С в масле и низкий отпуск); X, 9XC, XBG, XBGС

**АЛМАЗНАЯ СТАЛЬ** — ХВ4 — низколегированная инструментальная сталь с рекордно высокой твердостью (HRC 67...69 — карбиды вольфрама не растворяются при температуре закалки); чистовая обработка твердых материалов

**БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ** — высоколегированная инструментальная

сталь с высокой теплостойкостью (до 640 °С); легирована карбидообразователями (W, Mo, V, Cr): карбиды затрудняют распад мартенсита; сталь ледебуритного класса (после литья содержит эвтектику), обладает способностью к дисперсионному старению (явление вторичной твердости); нормальной и повышенной производительности; дорогая

**ДИСПЕРСИОННОЕ СТАРЕНИЕ** — выделение дисперсных карбидов при отпуске, что обеспечивает высокую твердость быстрорежущей стали

**ВТОРИЧНАЯ ТВЕРДОСТЬ** — аномально высокая твердость быстрорежущей стали после отпуска; объясняется процессами дисперсионного старения мартенсита

**БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ НОРМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ** имеет теплостойкость до 620 °С (при HRC 58); P18, P12, P9, P9Ф5, P6M5

**БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ** имеет теплостойкость до 640 °С; дополнительно легирована кобальтом: P9K5, P9K10, P6M5K5...; прочность и пластичность ниже

**ТЕРМООБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ** — закалка (1280 °С) и трехкратный отпуск (при 560 °С, или обработка холодом при -80 °С); нагрев под закалку осуществляют медленно (выдержки при 450 °С и 850 °С); проводить лучше в соляных ваннах — меньше окисление и обезуглероживание; охлаждение в масле (крупный инструмент) или на воздухе (мелкий инструмент); высокая температура закалки необходима для растворения вторичных карбидов и перехода легирующих элементов в твердый раствор; после закалки 40% остаточного аустенита, после первого отпуска — 20%, после второго — 10%, после третьего — 3...5% (как и после обработки холодом); HRC 63...65, структура — мартенсит отпуска + карбиды

**ТВЕРДЫЙ СПЛАВ** — сплав на основе карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, титана, тантала) с пластичной металлической связкой (ко-

бильт, никель, молибден); обладают высокой твердостью (HRC 74...76) и теплостойкостью (до 1000 °С); получают по порошковой технологии; состоят на 90% из карбидов — хрупкие, нетехнологичные; три группы: вольфрамовая, титановольфрамовая и титанотанталовольфрамовая

**ВОЛЬФРАМОВЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ** — состоят из карбида вольфрама (WC) с кобальтовой связкой: BK3...BK25 (цифра — кобальт в %); самые прочные, твердость ниже других, теплостойкость 800 °С; BK3...BK8 — для материалов с прерывной стружкой (чугун, цветные металлы, фарфор, керамика); BK10, BK15 — для резания более вязких металлов, волоки и буры по стойкости в десятки раз превосходят стальные; BK20, BK25 — штампы, износостойкий конструкционный материал

**ТИТАНОВЛЬФРАМОВЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ** состоят из TiC-WC-Co: T30K4 (30% TiC, 4% Co); теплостойкость до 1000 °С; тверже вольфрамовых, прочность ниже; высокоскоростное резание стали

**ТИТАНОТАНТАЛОВЛЬФРАМОВЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ** состоят из TiC-TaC-WC-Co: TT8K6 (TiC+TaC=8%, Co 6%); для наиболее тяжелых режимов резания

**БЕЗВОЛЬФРАМОВЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ** — основа TiC-Ni-Mo (ТН-20: Ni+Mo=20%) или Ti(NC)-Ni-Mo (КНТ-16) — не содержат дефицитного вольфрама

**СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — синтетический алмаз и кубический нитрид бора; вставки лезвийных инструментов, чистовая высокоточная обработка на высоких скоростях

**АЛМАЗ СИНТЕТИЧЕСКИЙ** — поликристаллический материал: борт, балласт, карбонадо; теплостойкость до 800°С, затем графитизируется; высокая теплопроводность предохраняет режущую кромку от перегрева; высокая адгезия к железу — низкая стойкость при обработке сталей и чугунов; при обработке цветных металлов и керамики позволяет получать

чистую поверхность; HV 100000 МПа (WC — 17000, P18 — 13000)

КУБИЧЕСКИЙ НИТРИД БОРА — поликристаллический нитрид бора с кубической решеткой (в природе не встречается); получают спеканием порошка нитрида бора при высоких температурах и давлении; в зависимости от технологии получения: эльбор, эльбор-Р, боразон...; решетка как у алмаза, свойства тоже близкие: HV 90 000, теплостойкость 1200 °С, химически инертнее алмаза; нет сродства к железу, хорошо режет закаленные и цементованные стали, высокая чистота поверхности

Витебский государственный технологический университет



## ГЛАВА 6. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал, представляющий собой композицию из нескольких, сильно различающихся по составу и свойствам, материалов; состоит из матрицы, армированной упрочнителем; рекордно-высокие удельные прочность и жесткость, высокотемпературная прочность, сопротивление усталостному разрушению; комплекс свойств проектируется заранее и реализуется при изготовлении материала, форма которого максимально приближена к форме изделия...

**МАТРИЦА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА** (основа, связка) обеспечивает совместную работу арматуры при нагружении; должна обладать хорошими связующими свойствами, быть химически инертной к материалу упрочнителя; полимерная, металлическая, керамическая и углеродная

**АРМАТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА** — упрочняющая фаза: порошки, волокна, нитевидные монокристаллы, ткани, сетки, листы...

**ДИСПЕРСНОУПРОЧНЕННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал, упрочненный порошком; армирование может быть неупорядоченным или упорядоченным

**ВОЛОКНИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал, армированный непрерывными (проволока, нити) или дискретными (ориентированными или неориентированными) волокнами

**ВОЛОКНА** — тонкие (диаметром несколько мкм) нити, выдерживающие очень большие напряжения: стальные (до 3.5 ГПа), стеклянные (5 ГПа), углеродные (8 ГПа) и обладающие высокой удельной прочностью: (50, 180 и 400) км соответственно

**АРАМИДНЫЕ ВОЛОКНА** — очень прочные (до 5 ГПа) органические во-

локна; родственники полиамидных волокон (капрон, нейлон) с улучшенной структурой; появились в 1971 г. (хим. компания “Дюпон”, США)

**КЕВЛАР** — прочное арамидное волокно; броня, каски, пуленепробиваемые жилеты...

**ТАВРОН** — сверхпрочное арамидное волокно с огромной удельной прочностью: канат из него в пять раз легче стального (при равной прочности) и в десять раз превосходит его по удельной прочности; очень дорогое; *на таких канатах теоретически можно поднять подв. лодку “Комсомолец” (1989, Норвежское море, 500 км от берега, 1370 м глубины, 2 ядерных реактора и две торпеды с ядерными боеголовками: 15 млн. Кюри, вес 6000 тонн, наполнена водой, стоимость подъема на канатах из таврона (Нидерланды) = стоимости жилья для 20 000 семей)*

**НИТЕВИДНЫЕ МОНОКРИСТАЛЛЫ** — монокристаллы, имеющие форму коротких (до 1 см) разветвляющихся волокон; механическая и удельная прочность рекордные (карбид кремния: 40 ГПа и 1300 км/ч)

**СЛОИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ** — материал с плоской арматурой (сетки, пластины, ткани...)

## **6.2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕ**

**НАПОЛНЕННЫЕ ПЛАСТИКИ** — дисперсноупрочненные порошковые композиционные материалы: конструкционные пластики (связка — полиамиды, фторопласты...), металлонаполненные пластики (ферромагнитные диэлектрики...), графитопласты (антифрикционные материалы на основе капрона...), саженалполненные каучуки (шинные протекторы...), фено- и аминопласты (литейные формы — наполнитель кварцевый песок...), текстурированные материалы (получают направленной кристаллизацией)

**ЖИДКОФАЗНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** содержат поры,

наполненные жидкостью: антимикробные полимерные материалы (антибиотики...), ионообменные смолы (меняют ионы с электролитами: деминерализация воды, извлечение металлов из растворов...), противокоррозионные (содержат ингибиторы коррозии)

**ПРИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — пенопласты и поропласты, имеют плотность до  $10 \text{ кг/м}^3$ ; тепло- и звукоизоляция...

**ПЕНОПЛАСТ** — полимерный композит с закрытой пористостью

**ПОРОПЛАСТ** — полимерный композит с сообщающимися порами

**СТЕКЛОПЛАСТИК** — материал на полимерной основе, армированной стеклянными волокнами; один из первых композиционных материалов: появился в Америке (самолетостроение, 40-е года); не горюч, тепло- влаго- и коррозионностоек; самый распространенный композит: судостроение, строительство, транспорт, ширпотреб; тяжелый

**АСБООПЛАСТИК** — полимерный композиционный материал, армированный асбестовыми волокнами; теплостойкость до  $400^\circ\text{C}$ ; тормозные колодки, коллекторы электрических машин, химическая аппаратура...

**ПАРОНИТ** — асбобластик на каучуковой основе с добавками: герметизирующие прокладки, работающие под давлением в неподвижных соединениях...

**БОРОВОЛОКНИТ** — полимерный композит, армированный волокнами бора; прочный, жесткий и термостойкий; винты, рули, обшивка крыльев, лопатки вентиляторов, спорттовары...

**ОРГАНОВОЛОКНИТЫ** — полимерные композиты с органическими (хлопковыми или синтетическими) волокнами; суперкорд (шины самолетов), парашюты, паруса, баллоны, тросы...

**СЛОИСТЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ** — текстолиты, гетинаксы, дублированные пластики, древесно-слоистые пластики, металлопла-

сты...

**ТЕКСТОЛИТ** — слоистый пластик на тканевой основе, пропитанной терморезактивным синтетическим связующим; прочен, свойства мало зависят от температуры; ткань: хлопчатобумажная, стеклянная, асбестовая, углеродная, синтетика; листы, стержни, трубы; зубчатые колеса, шкивы, втулки, электротехнические детали (распределительные щиты...); стеклотекстолит — корпуса судов, асботекстолит — теплозащита ракет, фрикционный материал

**ГЕТИНАКС** — слоистый пластик; получают горячим прессованием сульфатно-целлюлозной бумаги, пропитанной терморезактивной смолой; печатные платы, щиты, изолирующие перегородки...

**ДУБЛИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ** — листы термопластов (полиэтилена, полипропилена), соединенные с тканью, резиной...; дуплен: листы полиэтилена с бутилкаучуком; линолеум: ткань с полимерами (обычно синтетическим каучуком)

**ДРЕВЕСНО-СЛОИСТЫЕ ПЛАСТИКИ** получают горячим прессованием шпона, пропитанного синтетическими терморезактивными смолами

**МЕТАЛЛОПЛАСТ** — металлический лист, покрытый полимером; коррозионностоек

### **6.3. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА НЕОРГАНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ**

**КОМПОЗИТЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ** — дисперсноупрочненные, эвтектические и волокнистые; прочность, жесткость, негорючесть, электропроводность; легкие металлы: алюминий, магний, титан; арматура: стальная проволока, волокна (бор, углерод, карбид кремния), порошки; алюминий с монокристаллами карбида кремния позволит уменьшить массу консольной части крыла самолета на 30%

**ДИСПЕРСНОУПРОЧНЕННЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ** состоят из алюминия и равномерно распределенного в нем оксида алюминия; технология порошковая: распыление жидкого алюминия, измельчение в шаровой мельнице (размер частиц около 1 мкм), прессование и спекание; САП: прочность до 450 МПа, свободная длина до 17 км, жаропрочность 500°C, корр. стойкость, термическая стабильность свойств; листы, профили, трубы, фольга...

**ДИСПЕРСНОУПРОЧНЕННЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ** имеют матрицу из никеля и хрома (хрома до 20%), упрочненную частицами тория, гафния...; легируют W, Ti, Al; сложная порошковая технология; прочность до 800 МПа, свободная длина до 10 км

**ПСЕВДОСПЛАВЫ** — разновидность дисперсноупрочненных композитов на металлической матрице, которые невозможно получить кристаллизацией; состоят из металлических и металлоподобных фаз, не образующих растворы и химические соединения; получают по порошковой технологии (с пропиткой или жидкофазным спеканием); в основном это материалы триботехнического назначения; W-Cu, W-Ag — твердые, прочные, электропроводные: контакты; Fe-Cu, Fe-Mn-Cu — износостойкие, самосмазывающиеся

**ЭВТЕКТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ** — материалы с близким к эвтектическому составом; армирующая фаза — ориентированные волокнистые или пластинчатые кристаллы, образовавшиеся в результате направленной кристаллизации; структура формируется естественно — нет проблем химической совместимости; технология должна обеспечить создание плоского фронта при кристаллизации (метод Бриджмена)

**МЕТОД БРИДЖМЕНА** — способ кристаллизации, основанный на вытягивании расплава из зоны нагрева с постоянной скоростью; применяется при выращивании монокристаллов, получении ориентированной эвтектики...

КОМПОЗИТЫ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ — рекордная теплостойкость и прочность; арматуру вводят для уменьшения хрупкости; порошковая технология (расплавить керамику трудно); композиционный материал углерод-углерод имеет теплостойкость до 2500°C (от окисления защищают тонким слоем керамики) — носовая часть высокоскоростных летательных аппаратов

КЕРМЕТ — металлокерамический композиционный материал, сочетающий преимущества керамической и металлической матриц; оксидный, боридный, нитридный, карбидный...; типы: износостойкие, жаропрочные, для ядерных реакторов; наиболее распространен оксид алюминия с тугоплавкими металлами (W, Mo, Nb, Ta)

## ГЛАВА 7. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 7.1. ПРОВОДНИКИ

**ПРОВОДНИК** — материал с удельным сопротивлением менее  $10 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ; твердые, жидкие, газообразные и плазма; первого и второго рода

**УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ** — электрическое сопротивление проводника длиной  $1 \text{ м}$  и площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$

**УДЕЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ** — величина, обратная удельному сопротивлению

**ТВЕРДЫЕ ПРОВОДНИКИ** — две группы: материалы высокой проводимости и сплавы с большим сопротивлением

**ЖИДКИЕ ПРОВОДНИКИ** — расплавленные металлы и электролиты

**ПРОВОДНИК ПЕРВОГО РОДА** — проводниковый материал с электронной проводимостью: жидкие и твердые металлы

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ТИП ПРОВОДИМОСТИ** — заряд переносится свободными электронами

**ПРОВОДНИК ВТОРОГО РОДА** имеет ионный тип проводимости; электролиты и ионные кристаллы в расплавленном состоянии

**ЭЛЕКТРОЛИТ** — раствор кислот, щелочей и солей

**ИОННЫЙ ТИП ПРОВОДИМОСТИ** — электрический ток обусловлен перемещением заряженных ионов; протекание тока по такому проводнику сопровождается переносом вещества, выделением продуктов электролиза на электродах, изменением состава электролита...

**МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ПРОВОДИМОСТИ** имеют удельное сопротивление менее  $0.05 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ; из них делают провода, шины...; серебро,

медь, алюминий, сверхпроводники и криопроводники...

**СЕРЕБРО** — материал с рекордно низким удельным сопротивлением ( $0.016 \text{ мОм}\cdot\text{м}$ ); дефицитно; мягкое (НВ 25), непрочное (250 МПа), пластичное (50%), белое; благородно, но по химической инертности уступает золоту и платине; склонно диффундировать в подложку — недостаток; применение: ВЧ радиокабель, защита меди от окисления при  $T > 250 \text{ }^\circ\text{C}$ , электроды керамических и слюдяных конденсаторов, контакты...

**БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ** — химически инертные металлы с высокой термодинамической стабильностью; коррозионностойкие, тугоплавкие, плотные, дорогие; золото, серебро и платиноиды: платина, палладий, рутений, иридий, осмий, родий

**ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ** — металлы, имеющие температуру плавления выше, чем железо; обладают высокой химической инертностью

**МЕДЬ** — ГЦК решетка, полиморфных превращений нет; проводниковый материал с удельным сопротивлением  $0.017 \text{ мОм}\cdot\text{м}$ ; дефицитна; достаточно прочна и коррозионностойка; обладает высокой технологичностью: хорошо прокатывается, протягивается, сваривается и паяется; коррозия на воздухе и в пресной воде практически отсутствует, в соленой воде идет достаточно медленно; при температуре  $225^\circ\text{C}$  на воздухе начинает быстро окисляться; М00 (99.99% Cu), М0 (99.97%)...М3 (99.5%); диффундирует в кремний — сложно изготавливать микросхемы (надо изолировать)

**МЯГКАЯ МЕДЬ** — отожженная медь с удельным сопротивлением до  $0.01724 \text{ мОм}\cdot\text{м}$  и низкой прочностью; обмоточные провода, жилы кабелей, провода, экраны...; маркируется буквами ММ

**ТВЕРДАЯ МЕДЬ** — медь после протяжки; удельное электросопротивление до  $0.018 \text{ мОм}\cdot\text{м}$ ; прочнее мягкой меди; контактные провода, коллекторные пластины электродвигателей...; маркируется буквами МТ



**ЗОЛОТО** — благородный металл с удельным электросопротивлением  $0.024 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ; как проводниковый материал используется редко (дорого); там, где нужна высокая химическая инертность

**АЛЮМИНИЙ** — серебристо-белый металл без полиморфных превращений, удельное сопротивление  $0.028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ; защищен от коррозии оксидной пленкой: не боится любой воды, горячего пара; диэлектрическая пленка ухудшает электрический контакт и затрудняет пайку (паять нужно со спец. припоем, лучше ультразвуковым паяльником); соединяют холодной сваркой (пластическое обжатие проводов в месте контакта); неизолированные провода воздушных линий, жилы кабелей, обмоточные и монтажные провода

**СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ** — явление полной потери электрического сопротивления материалом при критических значениях температуры и напряженности магнитного поля; обнаружено более чем у 35 металлов и 1000 сплавов

**СВЕРХПРОВОДНИКИ** — по физико-механическим свойствам: мягкие и жесткие; по термодинамическим параметрам: первого, второго и третьего рода; по критической температуре перехода в сверхпроводящее состояние: обычные и высокотемпературные

**МЯГКИЙ СВЕРХПРОВОДНИК** — сверхпроводящий материал без внутренних напряжений и с низкой температурой плавления: ртуть, олово, спинец, индий ...

**ЖЕСТКИЙ СВЕРХПРОВОДНИК** имеет большие внутренние напряжения: тантал, титан, цирконий, ниобий...

**СВЕРХПРОВОДНИК ПЕРВОГО РОДА** имеет определенную температуру перехода в сверхпроводящее состояние и низкую критическую напряженность магнитного поля (что затрудняет использование)

**СВЕРХПРОВОДНИК ВТОРОГО РОДА** — не имеет определенной темпе-

ратуры перехода в сверхпроводящее состояние (переход происходит постепенно); из чистых металлов только ниобий, ванадий и технеций

**СВЕРХПРОВОДНИК ТРЕТЬЕГО РОДА** — жесткий (неидеальный) сверхпроводник второго рода; в основном сплавы и химические соединения; критическая напряженность магнитного поля очень велика

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ** имеют критическую температуру выше  $-183^{\circ}\text{C}$  (температура кипения кислорода); открыты в 1986 году; керамика системы  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  (Y — иттрий) сохраняет сверхпроводимость до  $-163^{\circ}\text{C}$  (при плотности тока  $1 \text{ A}/\text{m}^2$ ); системы с висмутом — до  $-158^{\circ}\text{C}$

**ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВ** — создание сверхсильных магнитных полей в больших объемах; обмотка миниатюрных электродвигателей и трансформаторов с очень высоким (почти 100%) КПД; сверхпроводящие кабели для мощных линий электропередач; опоры без трения (гироскопы, поезда, электродвигатели...)

**КРИОПРОВОДНИКИ** — материалы, приобретающие очень высокую проводимость при глубоком ( $< -183^{\circ}\text{C}$ ) охлаждении; жилы кабелей, провода; охлаждают жидким водородом ( $-253^{\circ}\text{C}$ ), неоном ( $-246^{\circ}\text{C}$ ) и азотом ( $-196.6^{\circ}\text{C}$ )

**КРИОПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — наиболее часто используют алюминий, медь и бериллий после глубокой очистки и хорошего отжига

**СПЛАВЫ С БОЛЬШИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ** — проводниковые материалы с удельным сопротивлением  $> 0.3 \text{ мОм}\cdot\text{м}$ ; применяют в электроизмерительных и нагревательных приборах, как образцовые сопротивления, в реостатах...; манганин, константан, нихром, нейзильбер, фехрали, хромали...

**МАНГАНИН** — сплав, содержащий 85...89% меди, 11...13% марганца и 2...4% никеля; удельное сопротивление ( $0.4...0.5 \text{ мОм}\cdot\text{м}$ ) стабильно в

интервале температур от -100 до 100°C; используется для изготовления резисторов, а также в точных приборах

**КОНСТАНТАН** — прецизионный сплав, содержащий 56...59% меди, 1...2% марганца, 39...41% никеля; удельное сопротивление 0.45...0.5 мкОм\*м, практически не зависит от температуры (температурный коэффициент сопротивления 0.000 002); допускает нагрев при работе до 500° С (больше манганина); прочен (500 МПа) и пластичен (15%), что позволяет получать из него микропроволоку, ленту, фольгу; реостаты, нагреватели, дороже манганина

**НИХРОМ** — сплав, содержащий 55...78% никеля, 15...25% хрома и 1.5% марганца; удельное сопротивление 1.1 мкОм\*м; хорошая коррозионная стойкость при высоких температурах позволяет изготавливать из него нагревательные элементы; технологичен — хорошо протягивается в тонкую проволоку и ленту; дорог

**НИИЗИЛЬБЕР** — сплав на медной основе, содержащий 13...43% цинка и 6...35% никеля; удельное сопротивление 0.3 мкОм\*м; прочен, пластичен, коррозионностоек, внешне похож на серебро; дешевле константана; реостаты, контактные пружины, монеты...

**ФЕХРАЛЬ** — сплав на железной основе, содержащий 12...25% хрома, 4...7% алюминия и до 1% кремния и марганца; удельное сопротивление 1.3...1.4 мкОм\*м; жаростойкий: рабочая температура до 1200°C (температура плавления 1500°C); прочный (800 МПа), пластичность удовлетворительная, коррозионная стойкость высокая; можно сваривать; проволока, прутки, лента; нагреватели, реостаты...

**ХРОМАЛЬ** — сплав на железной основе, содержащий 22...28% хрома и 4...6% алюминия; по свойствам близок к фехралям; нагреватели электронагревателей и приборов

**СПЛАВЫ ДЛЯ ТЕРМОПАР** — сплавы, дающие при правильном подборе пары большую термо-ЭДС; алюмель, копель, хромель, константан, пла-

тинородий...

**ТЕРМОПАРА** — датчик температуры, состоящий из двух соединенных между собой разнородных электропроводящих элементов; если контакты (спаи) термопары находятся при разных температурах, то в цепи возникает термо-ЭДС, зависящая от разности температур контактов и материалов термоэлектродов

**ТЕРМО-ЭДС** — явление возникновения разности потенциалов в цепи, состоящей из нескольких разнородных проводников, контакты между которыми имеют разную температуру; если в цепи только два разнородных проводника, то она называется термопарой; причина возникновения термо-ЭДС — поток электронов от горячего конца проводника к холодному (в разных проводниках плотность этого потока различна, между холодными концами возникает ЭДС)

**АЛЮМЕЛЬ** — сплав, состоящий на 95% из никеля и на 5% из алюминия; в паре с хромелем позволяет измерять температуру до 1000°C

**ХРОМЕЛЬ** — сплав, состоящий на 90% из никеля и на 10% из хрома; применяется в термопарах

**КОПЕЛЬ** — сплав, состоящий из меди, никеля и марганца; в паре с медью позволяет измерять температуры до 350°C, а с железом — до 600 °C

**ПЛАТИНОРОДИЙ** — сплав, состоящий на 90% из платины и на 10% из родия (Rh); в паре с чистой платиной позволяет измерять температуры до 1600°C

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТАКТ** — неподвижный, разрывной и скользящий

**НЕПОДВИЖНЫЙ КОНТАКТ** — цельнометаллический (сварной, паяный) и зажимной (болтовой, винтовой); не должен заметно увеличивать сопротивление

**РАЗРЫВНОЙ КОНТАКТ** — для слабого и сильного тока

**ТРЕБОВАНИЯ К КОНТАКТНЫМ МАТЕРИАЛАМ** — коррозионная стойкость, сопротивление электрической эрозии и свариванию, стойкость к ударным нагрузкам, малое удельное сопротивление, высокая теплопроводность, хорошие технологичность и прирабатываемость, износостойкость

**КОНТАКТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — тугоплавкие (Mo, W), благородные металлы, сплавы (Au-Ag, Pt-Rh), металлокерамика (Ag-CdO, Cu-C, Ag-C...)

**УГОЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ** — материал для скользящего контакта, поддерживающий сажу, графит, антрацит и связку (жидкое стекло, каменноугольная смола); в процессе изготовления подвергается обжигу при температуре 800...3000°C для графитирования (перехода углерода в фазу графита); щетки электромашин, электроды прожекторов и дуговых печей, аноды гальванических элементов

## 7.2. ДИЭЛЕКТРИКИ

**ДИЭЛЕКТРИК** — материал, поляризующийся в электрическом поле; удельное сопротивление более 1 Ом\*м; полярный и неполярный, пассивный и активный

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ** — смещение зарядов в атомах, молекулах или доменах; может быть вынужденная (внешними воздействиями) и спонтанная (самопроизвольная)

**ВРЕМЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ** — время, за которое завершается поляризация; от этой характеристики зависит предельная частота, на которой может работать диэлектрический материал (чем быстрее заканчивается поляризация, тем выше рабочие частоты); различают упругую (быструю) и неупругую (медленную) поляризацию

**ПОЛЯРНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК** — материал с ионной поляризацией; диэлектрическая проницаемость большая (до 200) и с ростом температуры увеличивается; слюда, керамика

**НЕПОЛЯРНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК** — материал, имеющий электронный тип поляризации; диэлектрическая проницаемость невелика (до 6 у твердых и жидких, около 1 у газов) и с ростом температуры уменьшается; гелий, водород, азот, бензол, алмаз, парафин, полиэтилен

**ПАССИВНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК** — материал, свойства которого слабо зависят от внешних воздействий; используется для электроизоляции

**АКТИВНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК** — диэлектрик, свойства которого зависят от внешних условий (полей, температуры, механических воздействий...); сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики...

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЭЛЕКТРИКА** — диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность, удельное сопротивление, сквозная и поверхностная проводимость, диэлектрические потери, рабочие частоты...

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ** — величина, показывающая, во сколько раз сила взаимодействия зарядов в вакууме больше, чем в материале; характеризует степень поляризации диэлектрика

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ** — напряженность электрического поля, при которой наступает пробой; для хороших твердых и жидких диэлектриков до  $10^4$  и  $10^3$  кВ/см соответственно; (для воздуха при н.у. 30 кВ/см); у полупроводников изменяется в очень широких пределах

**ПРОБОЙ** — резкое возрастание сквозного тока при пробивном напряжении; в твердых диэлектриках ведет к необратимым изменениям, сильно уменьшающим удельное сопротивление (газы и жидкости восстанавливают свои свойства); электрический, электротепловой, электрохимический...

**ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** — электрическая прочность, умноженная на толщину изоляции

**ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПРОБОЙ** — электрический разряд через слой за-

грязнений на поверхности; к разрушению диэлектрика не ведет, однако может вывести из строя другие элементы в цепи

**ПРОБОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ** возникает в результате ударной ионизации электронами и протекает очень быстро ( $10^{-5}$ ... $10^{-8}$  с)

**ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ПРОБОЙ** — электрический пробой, которому предшествует прожог диэлектрика (под действием выделяющейся теплоты), завершается за 0.001...0.01 с

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ** связан с постепенным уменьшением электрической прочности при эксплуатации диэлектрика (электрическое старение); определяет время жизни диэлектрика

**ПРОВОДИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКА** — сквозная и поверхностная

**СКВОЗНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ** связана с наличием небольшого количества свободных зарядов в диэлектрике; вызывает сквозной ток утечки

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ** связана с наличием загрязнений на поверхности диэлектрика, адсорбцией влаги; может значительно превышать сквозную проводимость; гидрофильные и гидрофобные материалы

**ГИДРОФИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — материалы, смачиваемые водой; обычно полярные диэлектрики: резина, смолы, керамика, стекла; поверхность таких диэлектриков рекомендуется защищать (глазури, лаки, герметики); относительная влажность не более 80%

**ГИДРОФОБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** водой не смачиваются; неполярные диэлектрики: парафины, полиэтилен; жидкость собирается в капли и пленки не образует

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ** — потери мощности в диэлектрике; вызваны наличием сквозного тока утечки и поляризации; характеризуются тангенсом диэлектрических потерь; электрическая энергия превращается

в тепловую

**ГАЗООБРАЗНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — простые и сложные; высокое удельное сопротивление, малые диэлектрические потери и диэлектрическая проницаемость (близка к 1), способность восстанавливать электрическую прочность после пробоя

**ПРОВОДИМОСТЬ ГАЗОВ** зависит от величины приложенного электрического поля; растет с увеличением напряженности этого поля пока не будет достигнут ток насыщения, затем остается постоянной до наступления ударной ионизации

**ТОК НАСЫЩЕНИЯ** наблюдается, когда все имеющиеся в газе свободные заряды приходят в движение; с этого момента электропроводность перестает зависеть от напряженности приложенного электрического поля

**УДАРНАЯ ИОНИЗАЦИЯ** — процесс выбивания электронов из нейтральных молекул газа движущимися зарядами; наблюдается, когда эти заряды достигают критической скорости (а приложенное поле критической напряженности); в этот момент возникает пробой

**ПРОСТЫЕ ГАЗООБРАЗНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — воздух, азот, водород, углекислый газ...; имеют электрическую прочность примерно как воздух; азот заменяет воздух, если присутствие кислорода нежелательно (газовые конденсаторы...); водород имеет высокую теплоемкость и применяется как диэлектрик и охладитель одновременно (турбогенераторы...)

**СЛОЖНЫЕ ГАЗООБРАЗНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — элегаз, фреон, трифторметилпентафторсеры...

**ЭЛЕГАЗ** —  $\text{SF}_6$ ; электрическая прочность в 2.5 раза больше, чем у воздуха; в 5 раз плотнее воздуха: выдерживает давление до 2 МПа без сжижения; не токсичен, химически стоек, не разлагается до  $800^\circ\text{C}$ ; обладает высокой дугогасящей способностью; выключатели, распределители, высоковольтные кабели



ФРЕОН —  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ; электрическая прочность в 2.4 раза больше, чем у воздуха; температура кипения  $-30^\circ\text{C}$

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ — нефтяные масла и синтетические жидкие диэлектрики; полярные и неполярные; характеризуются надежной и длительной работой, хорошим теплоотводом; высоковольтные аппараты, электронные блоки...

НЕФТЯНЫЕ МАСЛА — углеводороды парафинового, нафтенового и ароматического рядов с небольшими примесями; трансформаторное, конденсаторное, кабельное масла...

ТРАНСФОРМАТОРНОЕ МАСЛО состоит на 80% из нафтеновых углеводородов и на 10% из ароматических; соломенно-желтый цвет (очищенное) или темный (окисленное); пожароопасно: пары вспыхивают при  $140^\circ\text{C}$ ; температура застывания  $-45^\circ\text{C}$  (в арктическом исполнении до  $-70^\circ\text{C}$ ); с уменьшением температуры вязкость увеличивается и теплоотвод ухудшается; неполярный диэлектрик: диэлектрическая проницаемость 2.3, тангенс диэлектрических потерь 0.003 (50 Гц)

СТАРЕНИЕ МАСЛА — ухудшение эксплуатационных свойств под действием температуры (рабочая температура до  $95^\circ\text{C}$ ), света, контакта с медью и ее сплавами...; сопровождается выпадением ила (шлама), что ухудшает теплоотвод; методы борьбы: введение ингибиторов, герметизация узлов, фильтрация, применение защитной атмосферы (азот...)

ИНГИБИТОР — вещество, замедляющее какой-либо химический процесс (обычно окисление); ингибитор коррозии, ингибитор старения...

РЕГЕНЕРАЦИЯ МАСЛА — удаление влаги и примесей; на центрифугах, термовакuumная обработка

КОНДЕНСАТОРНОЕ МАСЛО — трансформаторное масло, прошедшее дополнительную очистку

**СИНТЕТИЧЕСКИЕ ЖИДКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — хлорированные углеводороды, кремнийорганические соединения, фторорганические соединения...; изоляция высоковольтных аппаратов при больших тепловых нагрузках, сильных полях и во взрывоопасных средах; заливка блоков электронной аппаратуры

**ХЛОРИРОВАННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ** — пентахлордифенил (совтол), трихлордифенил, гексол; токсичны (новые в эксплуатацию не вводят, но много старых), термически устойчивы, негорючи, дешевы

**КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ** — полиорганосиликаты — нетоксичны, экологически безопасны; температура вспышки паров более 300°C, температура застывания ниже -60°C; импульсные трансформаторы, специальные конденсаторы, блоки радиоэлектроники...

**ФТОРОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ** — нетоксичны, негорючи, химически стойки, хорошие электрические свойства, высокая теплопроводность;

**ХЛАДОН** (устаревшее: фреон) — фторорганические соединения, используемые как хладагенты; некоторые сорта имеют хорошие диэлектрические свойства; в закрытых помещениях могут вызвать удушье

**СТОИМОСТЬ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ** — в условных единицах: нефтяное мало — 1, хлорированные углеводороды — 4...10, кремнийорганические жидкости — 80...370, фторорганические соединения — до 1100 (по зарубежным данным)

**ОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — полимеры, пластмассы, резины...

**ПОЛИМЕР** — высокомолекулярное соединение, состоящее из мономеров; молекулярная масса до нескольких миллионов; природные и искусственные; термопластичные и терморезистивные

**МОНОМЕР** — молекулы, из которых составлены полимеры; например, поливинилхлорид состоит из  $n$  молекул винилхлорида, где  $n$  — степень

**ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

**СТЕПЕНЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ** — количество молекул, объединяющихся в макромолекулу полимера

**СИНТЕЗ ПОЛИМЕРОВ** производят с помощью реакций полимеризации или поликонденсации

**ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ** — реакция образования полимеров из мономеров без выделения побочных продуктов

**ПОЛИКОНДЕНСАЦИЯ** — реакция образования полимеров с выделением побочных продуктов (вода, спирты...)

**ТЕРМОПЛАСТ** (термопластичный полимер) — материал, полученный из линейных полимеров; очень чувствителен к внешним условиям; размягчается и затвердевает при изменении температуры без химических изменений; прочность низкая (10...100 МПа), подвержен старению (свет, влага, кислород...); влагостоек, не чувствителен к горюче-смазочным веществам, полиэтилен, полистирол, поливинил, органическое стекло

**РЕАКТОПЛАСТ** (термореактивный полимер) — полимер с сетчатой структурой; не плавится, не растворяется и не стареет; прочнее термопластов, нерастяжим; инертен к горюче-смазочным веществам; основа — эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые, фенолформальдегидные и кремнийорганические смолы

**ЛИНЕЙНЫЙ ПОЛИМЕР** не имеет поперечных связей между макромолекулами; растяжим, непрочен; при нагреве размягчается

**СЕТЧАТЫЙ ПОЛИМЕР** — полимер с поперечными связями между макромолекулами, образующимися в результате операции отверждения

**СОСТОЯНИЯ ТЕРМОПЛАСТОВ** — стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее

**СТЕКЛООБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ** — хрупкое состояние, в котором находятся линейные полимеры при низкой температуре

**ВЫСОКОЭЛАСТИЧНОЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние, при котором термопласты способны на большие упругие деформации без разрушения; наступает, когда температура поднимается до температуры стеклования

**ТЕМПЕРАТУРА СТЕКЛОВАНИЯ** — температура, ниже которой линейный полимер находится в стеклообразном состоянии, а выше — в высокоэластичном

**ЭЛАСТОМЕР** — полимер, сохраняющий высокоэластичное состояние в широком интервале температур

**ВЯЗКОТЕКУЧЕЕ СОСТОЯНИЕ** — состояние термопластичного полимера, при котором возможны большие пластические деформации; наблюдается при нагреве материала выше температуры текучести

**ТЕМПЕРАТУРА ТЕКУЧЕСТИ** разделяет высокоэластичное и вязкотекучее состояния полимеров

**ПОЛИМЕРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ** — природные смолы и синтетические полимеры

**ПРИРОДНЫЕ СМОЛЫ** — органические соединения растительного и биогенного происхождения; при нагреве размягчаются и плавятся; в воде нерастворимы, растворяются в спирте и других органических растворителях; шеллак, канифоль и янтарь

**ШЕЛЛАК** — продукт жизнедеятельности тропических насекомых; температура плавления 80°C; слабополярный диэлектрик; выпускается в виде спиртового раствора для изготовления клеящих и электроизоляционных лаков

**КАНИФОЛЬ** — хрупкая смола, получаемая из хвойной смолы; лаки, составная часть многих электроизоляционных смол, в смеси с нефтяным

маслом — пропитка для электроизоляционной бумаги; флюс при пайке...

**ЯНТАРЬ** — ископаемая смола растений; температура плавления более 300°C; почти нерастворим даже в сильных растворителях; чрезвычайно хороший диэлектрик: удельное сопротивление  $10^{14}$  кОм\*м; дорог; применяется в ответственных электроизмерительных приборах

**СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ** — материалы, получаемые полимеризацией: полиэтилен, полистирол...

**ПОЛИЭТИЛЕН** —  $(-CH_2-)_n$  — линейный неполярный диэлектрик (его мономеры не обладают дипольным моментом); получают полимеризацией этилена в присутствии катализаторов; температура стеклования -70°C, температура текучести 120°C; химически инертен: при комнатной температуре нерастворим в щелочах и кислотах (даже в концентрированной соляной и плавиковой), при нагреве химическая инертность исчезает

**ПОЛИСТИРОЛ** — линейный неполярный диэлектрик, получаемый полимеризацией мономеров стирола; химически стоек, диэлектрические свойства хорошие; прочность и теплостойкость (60°C) низкие; температура стеклования 80°C

**ПЛАСТМАССА** — материал, изготовленный на основе полимеров; кроме полимера, может содержать наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и отвердители; текстолит, гетинакс...

**НАПОЛНИТЕЛЬ** — добавка, улучшающая свойства и уменьшающая стоимость пластмасс; порошковый, волокнистый и листовой; сажа, тальк, графит, асбест, бумага, ткань

**СТАБИЛИЗАТОР** — органические вещества, вводимые в пластмассу для стабилизации структуры молекул и свойств; замедляет старение

**ПЛАСТИФИКАТОР** — добавки, улучшающие формуемость пластмасс (уменьшающие хрупкость); эфиры, полимеры...

**ОТВЕРДИТЕЛЬ** — вводят в реактопласты для проведения поперечной сшивки молекул; органические перекиси

**РЕЗИНА** — многокомпонентный материал на основе каучуков и близких к ним по свойствам материалов — эластомеров; выдерживает большие упругие деформации (150...500)%

**КАУЧУК** — эластомер природного или искусственного происхождения

**НАТУРАЛЬНЫЙ КАУЧУК** — полимерный углеводород  $(-C_5H_8-)_n$  с зигзагообразной формой молекул, способных распрямляться при нагружении; получают из сока растений-кучуконосов; в чистом виде не используют из-за низкой стойкости; неполярный диэлектрик; после вулканизации и введения добавок превращается в резину

**ВУЛКАНИЗАЦИЯ** — нагрев резины с введением серы; образование пространственной структуры (поперечная "сшивка" макромолекул); сопровождается некоторой потерей эластичности

**МЯГКАЯ РЕЗИНА** — резина с низкой степенью вулканизации (содержание серы до 3%); легко растягивается (упругая деформация до 500%)

**ЭБОНИТ** — резина с очень высокой степенью вулканизации (содержание серы около 30%); тверд, незластичен (относительное удлинение 5%), легко режется; хороший диэлектрик

**СИНТЕТИЧЕСКИЙ КАУЧУК** — бутиловый, хлоропеновый, кремнийорганический...

**БУТИЛОВЫЙ КАУЧУК** позволяет уменьшить старение резины, но имеет большие остаточные деформации; оболочки кабелей...

**СТАРЕНИЕ РЕЗИНЫ** вызывается повышенными температурами (хрупкость, растрескивание), освещением (особенно ультрафиолетовым), озоном (возникающим при электрических разрядах)...

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ — слюда, стекло, керамика...

СЛЮДА — водный алюмосиликат со слоистой структурой; обладает ярко выраженной анизотропией; ценный электроизоляционный материал: высокие электрическая и механическая прочность, гибкость, химическая стойкость; 3.8% земной коры; легко расщепляется на пластинки; температура плавления 1150...1400°C, температура обезвоживания 200...800°C; изоляция турбо- и гидрогенераторов, тяговых электродвигателей, мощных конденсаторов...; минеральная и синтетическая

ТЕМПЕРАТУРА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ СЛЮДЫ — температура, при которой слюда начинает выделять воду (что сильно ухудшает электрические свойства); способность выделять воду при нагреве используют в несгораемых сейфах

СЛЮДА МИНЕРАЛЬНАЯ — слюда, находящаяся в горных породах: мусковит, флогопит...

СЛЮДА СИНТЕТИЧЕСКАЯ — слюда искусственного происхождения: фторфлогопит...; выше стойкость: химическая, радиационная и тепловая; значительно дороже минеральной

СТЕКЛО — аморфный материал, полученный переохлаждением расплава (независимо от химического состава); от других аморфных материалов отличается обратимостью перехода в твердое состояние; органическое и неорганическое

ОРГАНИЧЕСКОЕ СТЕКЛО — техническое название оптически прозрачных материалов на полимерной основе (полиакрилатов, поликарбонатов, полистирола); полиметилметакрилат: плексиглас, перспекс, кларекс; теплостойкость до 140°C

НЕОРГАНИЧЕСКОЕ СТЕКЛО — оксидное, галогенидное и халькогенидное; получают на основе сложных многокомпонентных систем

**ОКСИДНОЕ СТЕКЛО** — силикатное, боратное, фосфатное, алюмосиликатное...; бесщелочное, малощелочное, многощелочное

**СИЛИКАТНОЕ СТЕКЛО** — состоит в основном из  $\text{SiO}_2$ ; свойства очень разные и зависят от состава (например, плотность колеблется от 2.2 г/см<sup>3</sup> до 8.0 г/см<sup>3</sup>); устойчиво во всех кислотах, кроме плавиковой ( $\text{HF}$ ); щелочи его разлагают

**КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО** — наиболее выдающийся представитель силикатных стекол — чистый оксид кремния  $\text{SiO}_2$ ; выплавляют из горного хрусталя или чистых кварцевых песков; прозрачно в широком диапазоне длин волн (от 200 до 5000 нм, т.е. прозрачно для ультрафиолетовых лучей); кислотостойкость, радиационная стойкость, огнеупорность (до 1000°C длительно и до 1900°C кратковременно), практически нет диэлектрических потерь, газопроницаемо; смотровые окна электрических печей и летательных аппаратов, химическая посуда...

**КЕРАМИКА** — неорганический материал, полученный при обжиге шихты, состоящей из минералов и металлических соединений; состав и свойства очень различны: диэлектрики, полупроводники, пьезоэлектрики, магнитотвердые материалы...; прочна, химически инертна, устойчива к электрическому и тепловому старению, хрупкая; исходный материал — глина: каолин, кремнезем, шпат полевой, гипс...

**ФАРФОР ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ** — керамика на основе каолина, кварца, шпата, гипса, пегматита...; как и любая керамика состоит из кристаллической, аморфной и газовой фаз; поверхность защищают глазурью, которая расплавляется при обжиге (1400°C, 50 часов), образуя стекловидную пленку (уменьшает поверхностный ток утечки); изоляторы на электрических линиях (1500 кВ, =)

**СТЕАТИТОВАЯ КЕРАМИКА** — керамика на основе талька; большое удельное сопротивление, малые диэлектрические потери; высоковольтные изоляторы, работающие на высоких частотах



**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК** — активный диэлектрик, обладающий способностью к спонтанной поляризации; имеет огромную (до нескольких тысяч) диэлектрическую проницаемость, сильно зависящую от температуры и напряженности внешнего электрического поля (возможность использования в цепях управления)

**СПОНТАННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ** — самопроизвольная поляризация, возникающая в отсутствие внешнего электрического поля; в материале образуются домены, внутри которых заряды смещены в одну сторону

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТОЧКА КЮРИ** — температура, при нагреве выше которой сегнетоэлектрические свойства исчезают (фазовый переход второго рода) и диэлектрическая проницаемость перестает зависеть от температуры; в этой точке диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика максимальна (до 8000)

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ** — ионные кристаллы  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{KNbO}_3$  (керамика)

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ** — малогабаритные низкочастотные конденсаторы большой емкости, управляемые диэлектрические устройства: усилители, модуляторы..., ячейки памяти в вычислительной технике, модуляция и преобразование лазерного излучения (электрооптический эффект)

**ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ** — зависимость коэффициента преломления от величины внешнего электрического поля (встречается у некоторых сегнетоэлектриков): модуляция лазерного луча...

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК** — активный диэлектрик, свойства которого зависят от механических напряжений; кварц монокристаллический, некоторые виды керамики

**ПРЯМОЙ ПЬЕЗОЭФФЕКТ** — поляризация материала под действием механических напряжений

**ОБРАТНЫЙ ПЬЕЗОЭФФЕКТ** — изменение размеров под действием электрического поля

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ** — резонаторы, микрофоны, детекторы, датчики давлений...

**ЭЛЕКТРЕТ** — активный диэлектрик, долго (до нескольких лет) сохраняющий остаточную поляризацию; создает вокруг себя электрическое поле; пленки лавсана, фторопласт; микрофоны, телефоны, дозиметры...; боятся нагрева

### 7.3. ПОЛУПРОВОДНИКИ

**ПОЛУПРОВОДНИК** — материал, с удельным сопротивлением от  $10^6$  до  $10^8$  Ом\*м; зависимость удельного сопротивления от внешних воздействий делает возможным использование полупроводников в цепях управления

**ТЕРМОРЕЗИСТОР** — полупроводниковый элемент, в котором используется зависимость сопротивления от температуры

**ФОТОРЕЗИСТОР** — полупроводниковый элемент, в котором используется зависимость сопротивления от интенсивности освещения

**НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЗИСТОР (варистор)** — полупроводниковый элемент, в котором используется зависимость сопротивления от электрического поля

**ТЕНЗОРЕЗИСТОР** — полупроводниковый элемент, в котором используется зависимость сопротивления от механических напряжений

**ПРОСТОЙ ПОЛУПРОВОДНИК** — чистый химический элемент (их около десяти: Si, Ge, Se, Te, C ... )

**ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ** — химическое соединение, обладающее полупроводниковыми свойствами: SiC, InSb, CdS, Cu<sub>2</sub>O

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КОМПЛЕКС** — полупроводниковый материал, содержащий проводящую или полупроводниковую фазу и керамическую основу: тирит, силит

**СОБСТВЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК** — чистый (без примесей) полупроводник; электроны проводимости дает сам материал; концентрации электронов и дырок равны, но электроны подвижнее (поэтому тип проводимости электронный); при очень низких температурах превращается в диэлектрик (все электроны связаны)

**ПРИМЕСНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК** — полупроводниковый материал, в котором электроны проводимости дают примеси и дефекты кристаллической решетки; большинство используемых полупроводников являются примесными

**ПРИМЕСИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ** — доноры и акцепторы

**ДОНОР** — примесь в полупроводнике, отдающая электроны (электронная проводимость)

**АКЦЕПТОР** — примесь в полупроводнике, забирающая электроны у основного материала (дырочная проводимость)

**ОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА** — носители (электроны или дырки) которых в полупроводнике больше

**ВЫРОЖДЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК** — полупроводник с большим количеством примесей, в котором концентрация носителей не зависит от температуры; имеет высокую проводимость; полуметалл

**КОНЦЕНТРАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ** в полупроводнике сильно зависит от температуры; обычно выделяют три зоны: низкотемпературную (концентрация носителей растет с нагревом, донор отдает все больше электронов), промежуточную (концентрация не растет с нагревом, примесь отдала все возможные электроны) и высокотемпературную зону (появляются

собственные свободные электроны за счет разрыва ковалентных связей, концентрация носителей растет с нагревом)

**ПОДВИЖНОСТЬ НОСИТЕЛЕЙ** — отношение их средней скорости направленного (не хаотического) движения к напряженности электрического поля

**ГЕРМАНИЙ** — обнаружен в 1886 г. немцем К. Винклером: IV группа; дефицитен: 0.001% земной коры; температура плавления 936°C, плотность 5.35 т/м<sup>3</sup>; кристаллы ковалентные, IV группа; нетехнологичен: хрупок, обрабатывают алмазными и абразивными инструментами; слабо токсичен (избегать длительного воздействия); рабочая температура -60...70°C, транзисторы, тензодатчики, фотодиоды...

**КРЕМНИЙ** — обнаружен в 1811 г. (IV группа), но широко применяется лишь последние 40 лет; распространен: 25% земной коры (кварц); температура плавления 1420°C; токсичен при обработке: силикоз (легкие); диоды, транзисторы, тиристоры, интегральные схемы...

**КВАРЦ** — SiO<sub>2</sub> — исходный материал для получения кремния, кварцевого стекла...

**СЕЛЕН** — IV группа; аллотропен: существует в виде стеклообразной, аморфной, моноклинной и гексагональной модификаций; распространен, но рассеян; требует глубокой очистки; выпрямители, фотоэлементы

**СЕЛЕНОВАЯ АНОМАЛИЯ** — уменьшение концентрации носителей заряда при нагревании

**ТЕЛЛУР** — VI группа; температура плавления 451°C, легко испаряется; сплавы с висмутом, сурьмой, свинцом — термоэлектрические генераторы...

**УГЛЕРОД** — перспективный полупроводниковый материал для производства сложных микросхем, в том числе и микропроцессоров; по про-

гнозам переход от кремния к углероду позволит увеличить тактовую частоту микропроцессоров на несколько порядков

**БИНАРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ** — полупроводниковое химическое соединение, состоящее из двух элементов; классифицируют по металлоидному элементу: нитриды, фосфиды, арсениды и антимониды

**АНТИМОНИД** — бинарное соединение, содержащее сурьму

**КАРБИД КРЕМНИЯ** — бинарное полупроводниковое соединение  $\text{SiC}$  (единственное, состоящее из элементов четвертой группы); получают восстановлением кварцевого песка углеродом; монокристаллы до 1 см в поперечнике выращивают при температуре  $2500^\circ\text{C}$  в аргоне; рабочая температура до  $700^\circ\text{C}$ !; очень тверд, химически инертен (при комнатной температуре не взаимодействует ни с одной кислотой), не окисляется на воздухе до  $1400^\circ\text{C}$ ; варисторы, светодиоды, транзисторы, терморезисторы...

**АРСЕНИД ГАЛЛИЯ** —  $\text{GaAs}$  — бинарное полупроводниковое соединение; очень большая ширина запрещенной зоны (1.4 эВ) и высокая подвижность электронов делают его пригодным для создания приборов, работающих при высоких температурах на высоких частотах: светодиоды, туннельные диоды, диоды Ганна, транзисторы, солнечные батареи; 1962 г. инжекционный лазер

**АНТИМОНИД ИНДИЯ** —  $\text{InSb}$  — бинарное полупроводниковое соединение с малой шириной запрещенной зоны (0.17 эВ) и очень высокой подвижностью электронов; детекторы инфракрасной области, датчики Холла, термоэлектрические генераторы, тензометры...

**АНТИМОНИД ГАЛЛИЯ** —  $\text{GaSb}$  — бинарное полупроводниковое соединение, чрезвычайно чувствительное к механическим напряжениям; тензометры

**ФОСФИД ГАЛЛИЯ** —  $\text{GaP}$  — бинарное полупроводниковое соединение с

широкой запрещенной зоной (2.5 эВ); светодиоды...

## 7.4. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА** — намагниченность, магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, индукция насыщения, потери на перемагничивание, рабочие частоты...

**НАМАГНИЧЕННОСТЬ** — магнитный момент единицы объема материала.  $J = kH$ , где  $k$  — магнитная восприимчивость,  $H$  — напряженность внешнего магнитного поля; измеряется, как и  $H$ , в А/м; характеризует поведение материала в магнитном поле

**МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ** — коэффициент пропорциональности между намагниченностью материала и напряженностью намагничивающего поля; для вакуума равна нулю

**МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ** — величина, на единицу большая магнитной восприимчивости:  $m = k + 1$ ; для вакуума равна единице

**КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА** — напряженность магнитного поля, которую надо приложить для размагничивания намагниченного до насыщения материала; у ферромагнетиков лежит в пределах от 0.1 до 1000000 А/м

**КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ** осуществляется в зависимости от магнитной восприимчивости (магнитной проницаемости): диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные, антиферромагнитные и ферримагнитные материалы; в зависимости от коэрцитивной силы: магнитно-мягкие и магнитно-твердые

**ДИАМАГНИТНЫЙ МАТЕРИАЛ** имеет отрицательную и небольшую по величине (0.0001...0.000001) магнитную восприимчивость (намагниченность противоположна внешнему полю), не зависящую от величины магнитного поля и температуры; в отсутствии внешнего магнитного поля немагнитен;

электронные оболочки в таких материалах полные: инертные газы, водород, медь, цинк, свинец, золото, серебро...

**ПАРАМАГНИТНЫЙ МАТЕРИАЛ** имеет небольшую по величине (0.00001...0.01) положительную магнитную восприимчивость, не зависящую от величины поля, но зависящую от температуры; в отсутствие внешнего поля немагнитен; электронные оболочки в таких материалах неполные; щелочные и щелочноземельные металлы, некоторые переходные элементы...

**ФЕРРОМАГНИТНЫЙ МАТЕРИАЛ** имеет большую по величине положительную магнитную восприимчивость, сильно зависящую от величины магнитного поля и температуры; магнитные моменты соседних атомов параллельны внутри доменов; при критической температуре (точка Кюри) домены разрушаются и ферромагнетики переходят в парамагнитное состояние; железо, никель, кобальт и редкоземельные элементы

**АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЙ МАТЕРИАЛ** имеет небольшую по величине (как и парамагнетик) положительную магнитную восприимчивость, зависящую от температуры; магнитные моменты соседних атомов направлены навстречу (антипараллельны), поэтому суммарная намагниченность близка к нулю; при критической температуре (температура Нееля) переходит в парамагнитное состояние; хром, марганец, редкоземельные элементы...

**ФЕРРИМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** имеют большую по величине положительную магнитную восприимчивость, зависящую от величины магнитного поля и температуры; антипараллельные моменты соседних атомов не уравновешены (нескомпенсированный ферромагнетизм); при критической температуре (точка Кюри) переходят в парамагнитное состояние; оксидные соединения — ферриты

**СИЛЬНОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** — материалы, сохраняющие намагниченность в отсутствие внешнего магнитного поля; ферромагнетики и

ферромагнетики; притягиваются к магниту с заметным усилием

**МАГНИТНО-МЯГКИЙ МАТЕРИАЛ** — ферромагнетик, намагничивающийся до насыщения в относительно слабых полях; магнитная проницаемость большая: 100...10000, коэрцитивная сила низкая: 1...8 А/м, потери на перемагничивание малы; сердечники катушек электромагнитов, пластины в электрических машинах (трансформаторах, генераторах, двигателях); низкочастотный и высокочастотный

**НИЗКОЧАСТОТНЫЕ МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ** — рафинированное железо, электротехническая сталь, пермаллой, альсиферы...

**РАФИНИРОВАННОЕ ЖЕЛЕЗО** — железо, очищенное от примесей: электролитическое, карбонильное...

**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ЖЕЛЕЗО** — железо, очищенное от углерода и примесей электролизом; содержит углерода до 0.02%, коэрцитивная сила до 28 А/м

**ЭЛЕКТРОЛИЗ** — совокупность химических процессов, протекающих в электролите при прохождении тока; используют для получения и рафинирования металлов, нанесения покрытий...

**ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ ЖЕЛЕЗО** — электролитическое железо, переплавленное в вакууме; содержит углерода до 0.01%, коэрцитивная сила 7 А/м; обладает очень большой магнитной проницаемостью

**КАРБОНИЛЬНОЕ ЖЕЛЕЗО** — железо, полученное путем термического разложения карбонила  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  в вакууме с последующим спеканием порошка; содержит углерода около 0.005%, коэрцитивная сила 6 А/м; сложная и дорогая технология

**ПЕРМАЛЛОЙ** — магнитно-мягкий материал с высокой магнитной проницаемостью; сплав никеля (45...83)% с железом (может быть легирован);



коэрцитивная сила до 16 А/м; рабочие частоты до 25 кГц (радиоаппаратура, телефония...)

АЛЬСИФЕР — сплав Fe–Al(5%)–Si(10%); магнитно-мягкий материал с высокой магнитной проницаемостью; коэрцитивная сила до 2 А/м (очень малы потери на перемагничивание); нетехнологичен (тверд и хрупок, получают литьем); дешев

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы с низкой магнитной проницаемостью и высоким удельным сопротивлением (сильномагнитные диэлектрики); ферриты

ФЕРРИТЫ — оксидные материалы (керамика); состав и свойства очень разнообразны: высокочастотные магнитные материалы (удельное сопротивление до  $10^{12}$  Ом\*м); ферритные антенны, сердечники высокочастотных контуров, покрытия магнитных пленок, дисков, головок..., мелкие постоянные магниты; рабочие температуры невысоки: точка Кюри ниже 300°C; твердые, хрупкие, получают по порошковой технологии; пример:  $FeO \cdot Fe_2O_3$

МАГНИТНО-ТВЕРДЫЙ МАТЕРИАЛ — ферро- или ферромагнетик с большой (до 300 кА/м) коэрцитивной силой; потери на перемагничивание большие; литые и порошковые

ЛИТЫЕ МАГНИТНО-ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ — сплавы системы Fe-Ni-Al; двухфазные: сильноферромагнитная фаза (много железа) и слабоферромагнитная; легируют для улучшения магнитных свойств (медь, кобальт, титан, ниобий...); хрупкие, твердые (можно только шлифовать)

ПОРОШКОВЫЕ МАГНИТНО-ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ — сплавы системы Fe-Ni-Al, ферриты (оксиды железа, бария, кобальта): очень большая коэрцитивная сила и диэлектрические свойства (высокочастотные магниты), редкоземельные металлы, высокоуглеродистые стали, платинакс...

ПЛАТИНАКС — магнитно-твердый материал, состоящий на 78% из пла-

тины и на 22% из кобальта; обладает рекордно высокой коэрцитивной силой: 320 кА/м

МАГНИТНО-ТВЕРДАЯ СТАЛЬ — высокоуглеродистая (более 1% углерода) сталь с мартенситно-цементитной структурой (получается после закалки и низкого отпуска); коэрцитивная сила до 13 кА/м; ЕХ3, ЕХ5К5... (Е — магнитно-твердая)

Витебский государственный технологический университет