

## Введение

В широком понимании материалы – это исходные вещества для производства различной продукции.

Различают следующие разновидности материалов в общем виде:

- сырье, которое подлежит дальнейшей переработке (железные руды, нефть, газ);
- полуфабрикат – переработанный материал, прошедший не- сколько стадий обработки, для того чтобы стать изделием, пригодным к потреблению.

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства материалов и устанавливающая связь между составом, строением и свойствами, а также разрабатывающая пути воздействия на их свойства с целью повышения их качества, которое связано с применением внешних воздействий (тепловое, механическое, химическое).

Предмет изучения материаловедения состоит из двух частей: металлические и неметаллические материалы.

Материаловедение или наука о материалах получила свое развитие с древнейших времен. Первый этап развития материаловедения начинается со специализированного изготовления керамики. Особый вклад в становление материаловедения в России был сделан М.В. Ломоносовым (1711–1765) и Д.И. Менделеевым (1834–1907). Ломоносов разработал курс по физической химии и химической атомистике, подтвердил теорию об атомно-молекулярном строении вещества. Менделееву принадлежит заслуга разработки периодической системы элементов. Оба ученых немало внимания уделяли проблеме производства стекла.

В XIX в. вклад в развитие материаловедения внесли Ф.Ю. Левинсон-Лессинг, Е.С. Федоров, В.А. Обручев, А.И. Ферсман, Н.Н. Белелюбский. Начинают производиться новые материалы: портландцемент, новые гипсы, цементные бетоны, полимерные материалы и т. д.

В машиностроении широкое применение получили металлы и сплавы металлов, именно поэтому металловедение является важной частью материаловедения.

Металловедение как наука возникло в России в XIX в, оно является научной основой для разработки новых оптимальных технологических процессов: термической обработки, литья, прокатки штамповки сварки. Сочетание высокой прочности и твердости с хорошей пластичностью, вязкостью и обрабатываемостью, не встречающееся у других материалов, явилось причиной использования металлов в качестве основного конструкционного материала во всех областях техники.

Впервые установил существование связи между строением стали и ее свойствами выдающийся русский ученый П.П. Аносов (1799–1851 гг.), раскрывший давно утраченный секрет изготовления и получения древними мастерами Востока булатной стали, которая идет для производства клинков. Булатная сталь Аносова славилась во всем мире и даже вывозилась за границу. Клинки, которые были изготовлены из этой стали, отличались высокой твердостью и вязкостью. П.П. Аносов считается «зачинателем» производства высококачественной стали, он впервые применил микроскоп для определения строения стали и положил начало изучению закономерной связи между структурой и свойствами сплавов.

Основоположник научного металловедения Д.К. Чернов (1839–1921 гг.), который открыл в 1868 г. фазовые превращения в стали. Открытие Д.К. Черновым критических точек  $\alpha$  и  $\beta$  (по современному обозначению  $A_1$  и  $A_3$ ) совершило революцию в познании природы металлических сплавов и позволило объяснить ряд «таинственных» явлений, которые происходят при термической обработке сталей.

Огромный вклад в развитие науки о металлах внесли Н.С. Курнаков, А.А. Байков, Н.Т. Гудцов, А.А. Бочнар, Г.В. Курдюмов, С.С. Штейнберг, А.П. Гуляев, а также другие советские ученые.

Большое значение в развитии металловедения и термической обработки имели работы Осмонда (Франция), Зейтца, Бейна и Мейла (США), Таммана и Ганемана (Германия).

В XX веке были достигнуты крупные достижения в теории и практике материаловедения, созданы высокопрочные материалы для инструментов, разработаны композиционные материалы, открыты и использованы свойства полупроводников, совершенствовались способы упрочнения деталей термической и химико-термической обработкой.

Конструкционные материалы - это металлические, неметаллические и композиционные материалы, обладающие комплексом свойств, позволяющих использовать их для изготовления деталей машин, механизмов и сооружений.

### Материалы, применяемые в машиностроении

Для изготовления деталей машин применяются различные материалы, называемые *конструкционными*. От правильного выбора конструкционного материала зависят *качество, надежность, экономичность и долговечность деталей и машины в целом*. Все конструкционные материалы можно условно разделить на *однородные* и *композиционные, металлические и неметаллические* (Рисунок 1).



Рисунок 1– Классификация конструкционных материалов

**Металлы** – химические элементы, образующие в свободном состоянии простые вещества с металлической связью между атомами.

**Сплавы** – твердые вещества, образованные сплавлением двух или более компонентов.

Сплав образуется в результате как чисто физических процессов (растворение, перемешивание), так и в результате химического взаимодействия между элементами. Разнообразие состава типов межатомной связи и кристаллических структур сплавов обуславливает значительное различие их физико-химических, электрических, магнитных,

механических, оптических и других свойств.

Сплавы на основе железа называются **черными**, на основе других металлов **цветными**.

**Неметаллические материалы** – неорганические и органические материалы, композиционные материалы на неметаллической основе, клеи, герметики, лакокрасочные покрытия, графит, стекло, керамика и т.д.

**Полимеры** – вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев (мономеров) одинаковой структуры.

**Композиционные материалы** – гетерофазные (состоящие из различных по физическим и химическим свойствам фаз) системы, полученные из двух и более компонентов с сохранением индивидуальности каждого отдельного компонента.

При этом:

- материал является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе (компоненты различаются по свойствам, между ними существует явная граница раздела);
- один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, является матрицей; компонент прерывистый, разделенный в объеме композиции, считается усиливающим или армирующим.

**В машиностроении большое применение находят различные неметаллические материалы**, такие как **пластмассы, резина, стекло, керамика, лакокрасочные и клеевые материалы**, причем с развитием химии и новых технологий доля неметаллических материалов в машиностроении постоянно увеличивается.

Выбор пластмасс определяется назначением детали и характерной особенностью ее получения (прессование, литье и другие способы), причем особенности строения, механические и физические свойства пластмасс существенно влияют на конструкцию детали и способ ее изготовления.

Применение порошковых материалов определяется необходимостью изготовления изделий с особыми свойствами и структурой, которые недостижимы другими методами производства, либо изделий с обычным составом, структурой и свойствами, но при значительно более выгодных экономических показателях производства.

## Строение металлических конструкционных материалов

В природе существует две разновидности твердых тел, различающиеся по своим свойствам – *кристаллические* и *аморфные*.

*Кристаллические тела* характеризуются упорядоченным расположением в пространстве элементарных частиц, из которых они составлены (ионов, атомов, молекул); аморфные - хаотичным.

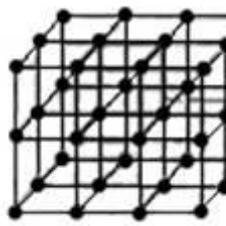
*Металлы и сплавы* – основные машиностроительные материалы, которые обладают свойствами, обусловленными их внутренним строением.

*Металлы и их сплавы в твердом состоянии представляют собой кристаллические тела*, в которых атомы располагаются относительно друг друга в определенном, геометрически правильном порядке, образуя кристаллическую структуру. Такое закономерное, упорядоченное пространственное размещение атомов называется *кристаллической решеткой*.

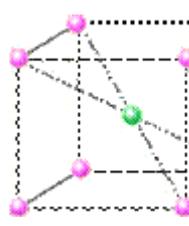
В кристаллической решетке можно выделить элемент объема, образованный минимальным количеством атомов, многократное повторение которого в пространстве по трем непараллельным направлениям позволяет воспроизвести весь кристалл. Такой элементарный объем, характеризующий особенности строения данного типа кристалла, называется *элементарной ячейкой*.

Наиболее распространенными среди металлов являются следующие типы решеток (Рисунок .2):

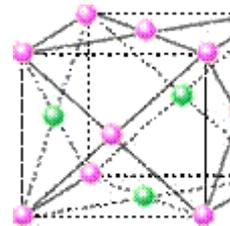
- объемно-центрированная кубическая (ОЦК) – атомы расположены в вершинах и в центре куба; такую решетку имеют Na, V, Nb, Fe $\alpha$ , K, Cr, W и другие металлы;
- гранецентрированная кубическая (ГЦК) – атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани; решетку такого типа имеют Pb, Al, Ni, Ag, Au, Cu, Co, Fe $\gamma$  и другие металлы;
- гексагональная плотно упакованная (ГПУ) – четырнадцать атомов расположены в вершинах и центре шестиугольных оснований призмы, а три – в средней плоскости призмы; такую решетку имеют Mg, Ti, Re, Zn, Hf, Be, Ca и другие металлы.



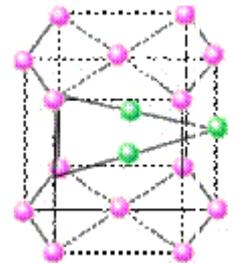
а)



б)



в)



г)

а – схема кристаллической решетки; б – ячейка объемно-центрированная кубическая (ОЦК); в – ячейка гранецентрированная (ГЦК); г) – ячейка гексагональная плотноупакованная (ГПУ)

Рисунок .2 – Схемы кристаллических решеток

Некоторые металлы могут существовать в нескольких формах (Ti, Co, Zr, Fe). Это явление носит название аллотропии (полиморфизма). Так, железо при нагреве претерпевает ряд аллотропических превращений.

При температуре:

- - до 728°С железо имеет решетку ОЦК и обозначается Fe  $\alpha$ ;
- - 1400...910°С имеет решетку ГЦК и обозначается Fe  $\gamma$  (немагнитно);
- - 910...768°С – имеет решетку ОЦК и обозначают Fe  $\beta$  (немагнитно);
- - более 768°С Fe  $\beta$  превращается в магнитное Fe  $\alpha$ .

**Технические металлы являются поликристаллами**, т.е. состоят из большого числа анизотропных кристаллитов. В большинстве случаев кристаллиты статистически неупорядоченно ориентированы один по отношению к другому, поэтому во всех направлениях свойства более или менее одинаковы, т.е. поликристаллическое тело является изотропным.

Характерным признаком кристалла является твердое состояние до температуры плавления, причем процесс плавления происходит при постоянной температуре.

## Свойства конструкционных материалов

Физико-механические свойства конструкционных материалов подразделяются на:

- конструкционные;
- технологические;
- эксплуатационные.

**Конструкционные свойства.** К конструкционным свойствам относятся:

- прочность;
- упругость;
- пластичность;
- твердость;
- ударная вязкость.

Эти свойства определяют прочность и долговечность машины.

**Прочность** – это способность материала сопротивляться деформации и разрушению.

**Деформацией** называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил. Деформации подразделяются на упругие и пластические. Упругие деформации исчезают после окончания действия сил, а пластические остаются.

**Пластичность** – способность материала деформироваться. Пластичность обеспечивает конструктивную прочность деталей под нагрузкой и нейтрализует влияние концентраторов напряжений – отверстий, вырезов и т.п. При пластическом деформировании металла одновременно с изменением формы изменяется ряд свойств, в частности при холодном деформировании повышается прочность, но снижается пластичность.

Большинство механических характеристик материалов определяют в результате испытания образцов на растяжение (ГОСТ 1497-84).

При растяжении образцов с площадью поперечного сечения  $F_0$  и рабочей (расчетной) длиной  $l_0$  строят диаграмму растяжения в координатах: нагрузка  $P$  – удлинение  $\Delta l$  образца (рисунок 3).

**Диаграмма растяжения** характеризует поведение металла при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца. На диаграмме выделяют три участка:

- упругой деформации – до нагрузки  $P_{упр}$ ;
- равномерной пластической деформации от  $P_{упр}$  до  $P_{max}$ ;
- и сосредоточенной пластической деформации от  $P_{max}$  до  $P_k$ .

Если образец нагрузить в пределах  $P_{упр}$ , а затем полностью разгрузить и измерить его длину, то никаких последствий нагружения не обнаружится.

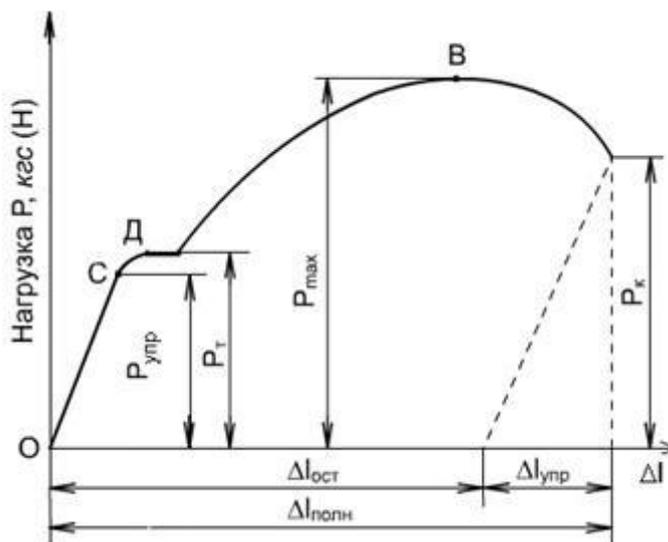


Рисунок 3 – Диаграмма растяжения металла

Такой характер деформирования образца называется **упругим**.

При нагружении образца более  $P_{упр}$  появляется **остаточная (пластическая) деформация**.

Пластическое деформирование идет при возрастающей нагрузке, так как металл упрочняется в процессе деформирования.

Упрочнение металла при деформировании называется **наклепом**.

При дальнейшем нагружении пластическая деформация, а вместе с ней и наклеп все более увеличиваются, равномерно распределяясь по всему объему образца.

После достижения максимального значения нагрузки  $P_{max}$  в наиболее слабом месте появляется местное утонение образца – шейка, в которой в основном и протекает дальнейшее пластическое деформирование. В связи с развитием шейки, несмотря на продолжающееся упрочнение металла, нагрузка уменьшается от  $P_{max}$  до  $P_k$ , и при нагрузке  $P_k$  происходит разрушение образца.

При этом упругая деформация образца  $\Delta l_{упр}$  исчезает, а пластическая  $\Delta l_{ост}$  остается.

При деформировании твердого тела внутри него возникают внутренние силы. **Величину сил, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца, называют напряжением.** Размерность напряжения МПа.

Отмеченные выше нагрузки на кривой растяжения ( $P_{упр}$ ,  $P_T$ ,  $P_{max}$ ,  $P_k$ ) служат для определения основных характеристик прочности (напряжений):

- предела упругости  $\sigma_y$ ;
- предела текучести  $\sigma_T$ ;
- временного сопротивления  $\sigma_\sigma$  (предела прочности) и истинного сопротивления разрушению.

**Временное сопротивление** (предел прочности)  $\sigma_\sigma$  – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$$\sigma_\sigma = \frac{P_{max}}{F_0} ;$$

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

$F_0$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Для оценки пластичности металла служат **относительное остаточное удлинение** образца при растяжении  $\delta_p$  и относительное остаточное сужение площади поперечного сечения образца  $\Psi_p$ .

**Относительное остаточное удлинение** определяется по формуле:

$$\delta_p = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100, \%$$

где  $l_k$  – длина образца после испытания;

$l_0$  – длина образца до испытания.

**Относительное остаточное сужение** определяется из выражения:



$$\Psi_p = \frac{F_k - F_0}{F_0} \cdot 100, \%$$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца;

$F_k$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

**Твердость** – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора). О твердости судят либо по глубине проникновения индентора, либо по величине отпечатка от вдавливания. Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы определения твердости Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рисунке 4.

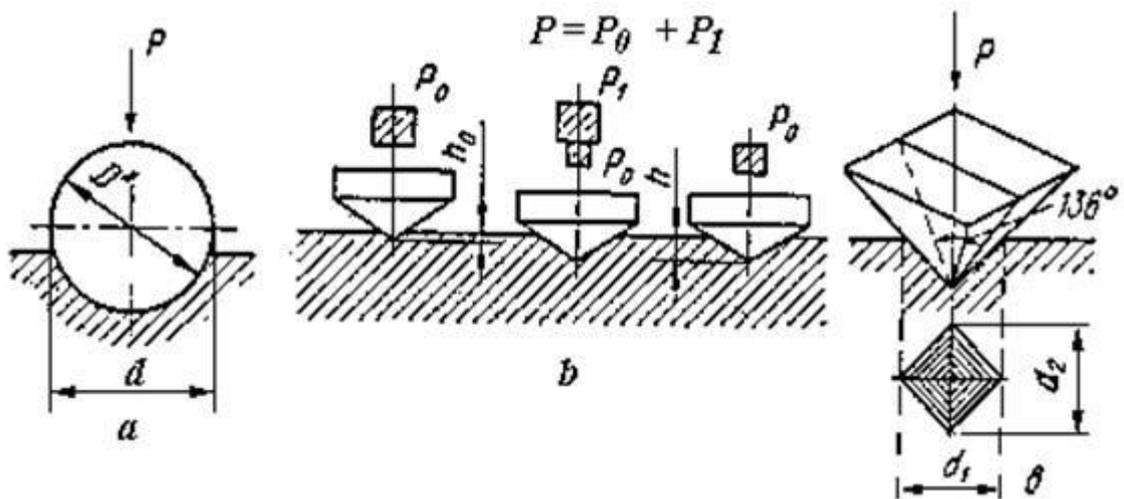


Рисунок 4 – Схема определения твердости материала по Бринеллю (а), по Роквеллу (б), по Виккерсу (в).

**Твердость по Бринеллю определяют на твердомере Бринелля.** В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром  $D$  2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля. Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки  $P$  к сферической поверхности отпечатка.

**Метод Роквелла** основан на вдавливании в поверхность под определенной нагрузкой наконечника в виде шарика или алмазного конуса. Для мягких материалов (до

НВ 230) используется стальной шарик диаметром 1/16" (1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка  $P_0$  (100 н) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка  $P_1$ , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка  $P$ . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника  $h$  под нагрузкой  $P_0$ .

**Твердость по Виккерсу** определяется по величине отпечатка индентора: алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°.

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки  $P$  к площади поверхности отпечатка.

Нагрузка  $P$  составляет 50...1000 н. Диагональ отпечатка  $d$  измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонких изделий, поверхностных слоёв. Метод обеспечивает высокую точность при высокой чувствительности.

**Способ микротвердости** – используется для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра). Метод аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании  $P$  составляют 5...500 н.

**Ударная вязкость** характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению. Испытания на ударную вязкость производят на маятниковых копрах. Испытуемые образцы имеют надрезы определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту.

Характеристикой вязкости является ударная вязкость  $a_{\text{н}}$ , (удельная работа разрушения).

## Технологические свойства конструкционных материалов

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся:

- литейные свойства;
- деформируемость;
- свариваемость;
- обрабатываемость режущим инструментом.

Эти свойства позволяют производить формоизменяющую обработку и получать заготовки и детали машин.

**Литейные свойства** характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

Литейные свойства определяются способностью расплавленного металла или сплава к заполнению литейной формы (жидкотекучесть), степенью химической неоднородности по сечению полученной отливки (ликвация), а также величиной усадки – сокращением линейных размеров при кристаллизации и дальнейшем охлаждении.

**Способность материала к обработке давлением** – это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь (обработка без снятия стружки). Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным. Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб. Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

**Свариваемость** – это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества при сварке. Свойство оценивается по качеству сварного шва.

**Обрабатываемость резанием** – характеризует способность материала поддаваться обработке режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству обработанной поверхности.

Технологические свойства часто определяют выбор материала для конструкции. Разрабатываемые материалы могут быть внедрены в производство только в том случае, если их технологические свойства удовлетворяют необходимым требованиям.

Современное автоматизированное производство, предъявляет к технологическим свойствам материала особые требования: проведение сварки на больших скоростях, ускоренное охлаждение отливок, обработка резанием на повышенных режимах и т. п. при обеспечении необходимого условия – высокого качества получаемой продукции.

**Эксплуатационные свойства** характеризуют способность материала работать в конкретных условиях:

- износостойкость – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения;
- коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных и щелочных сред;
- жаростойкость – способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре;
- жаропрочность – это способность материала сохранять прочность и твердость при высоких температурах;
- хладостойкость – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах;
- антифрикционность – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий. При выборе материала для создания конструкции необходимо учитывать конструкционные, технологические и эксплуатационные свойства.

## Черные металлы и сплавы

К черным металлам относятся *железо и сплавы на его основе (сталь и чугун)*. Железо в чистом виде в машиностроении не применяется. Сталь многокомпонентный сплав с содержанием углерода до 2,14 %. Чугун – сплав железа с углеродом при содержании углерода более 2,14 %.

**Сталь.** В зависимости от химического состава различают стали углеродистые (ГОСТ 380-94, ГОСТ 1050-88) и легированные (ГОСТ 4543-71, ГОСТ 5632-72, ГОСТ 14959-79).

В свою очередь углеродистые стали могут быть:

- малоуглеродистыми, содержащими углерода менее 0,25%;
- среднеуглеродистыми, содержание углерода составляет 0,25...0,60%
- высокоуглеродистыми, в которых концентрация углерода превышает 0,60%

Легированные стали подразделяют на:

- низколегированные содержание легирующих элементов до 2,5%
- среднелегированные, в их состав входят от 2,5 до 10% легирующих элементов;
- высоколегированные, которые содержат свыше 10% легирующих элементов.

Конструкционные стали предназначены для изготовления строительных и машиностроительных изделий.

**Инструментальные стали** предназначены для изготовления режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента. Эти стали содержат более 0,65% углерода.

Стали с особыми физическими свойствами: с определенными магнитными характеристиками (электротехническая сталь) или с малым коэффициентом линейного расширения (суперинвар).

Стали с особыми химическими свойствами: нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали.

Качество стали зависит от содержания вредных примесей: серы и фосфора. Стали обыкновенного качества, содержат до 0,06% серы и до 0,07% фосфора; качественные – до

0,035% серы и фосфора каждого отдельно; высококачественные – до 0,025% серы и фосфора; особо высококачественные – до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

По степени удаления кислорода из стали, т. е. по степени её раскисления, существуют:

- спокойные стали, т. е., полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами "сп" в конце марки (иногда буквы опускаются);
- кипящие стали – слабо раскисленные; маркируются буквами "кп";
- полуспокойные стали, занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

Сталь обыкновенного качества подразделяется еще и по поставкам на 3 группы:

- сталь группы А поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы или фосфора);
- сталь группы Б – по химическому составу;
- сталь группы В – с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

**Конструкционные стали.** Нелегированные конструкционные стали обыкновенного качества обозначают по ГОСТ 380-94 буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер. Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали. Например:

Ст1кп2 – углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 1, кипящая второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа А);

ВСт5Г – углеродистая сталь с повышенным содержанием марганца, спокойная, номер марки 5, первой категории с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В);

Бст0 – углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0, группы Б, первой категории.

Содержание углерода в стали:

Марка стали	Содержание углерода		Марка стали	Содержание углерода
Ст0	< 0.23%		Ст4	0.18...0.27%
Ст1	0.06...0.12%		Ст5	0.28...0.37%
Ст2	0.09...0.15%		Ст6	0.38...0.49%
Ст3	0.14...0.22%			

**Нелегированные конструкционные качественные стали.** в соответствии с ГОСТ 1050-88 эти стали маркируются двухзначными числами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: 05; 08; 10; 25; 40 и т.д. Так сталь с содержанием углерода 0,07...0,14% обозначается 10, сталь с содержанием углерода 0,42...0,50% – 45 и т.д..

При этом для сталей с содержанием углерода меньше 0,2%, не подвергнутых полному раскислению, в обозначение добавляются буквы кп (для кипящей стали) и пс (для полуспокойной). Для спокойных сталей буквы в конце их наименований не добавляются.

Например, 08кп, 10пс, 15, 18кп, 20 и т.д. Буква Г в марке стали указывает на повышенное содержание марганца.

Например: 14Г, 18Г и т.д.

**Качественные стали с повышенными свойствами,** используемые для производства котлов и сосудов высокого давления, обозначают по ГОСТ 5520-79 добавлением буквы К в конце наименования стали: 15К, 18К, 22К.

**Конструкционные легированные стали.** В соответствии с ГОСТ 4543-71 наименования таких сталей состоят из цифр и букв. Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь. Буквенные обозначения легирующих элементов приведены в таблице 1.

Таблица.1 . Буквенные обозначения легирующих элементов в сталях

Элемент	Обозначение	
Ниобий	Nb	Б
Вольфрам	W	В
Марганец	Mn	Г
Медь	Cu	Д
Кобальт	Co	К
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Бор	B	Р
Кремний	Si	С
Титан	Ti	Т
Ванадий	V	Ф
Хром	Cr	Х
Цирконий	Zr	Ц
Алюминий	Al	Ю

Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа, при содержании легирующего элемента до 1,5% цифра за соответствующей буквой не указывается.

Например, сталь состава: углерода С 0,09...0,15%, хрома Cr 0,4...0,7%, никеля Ni 0,5...0,8% обозначается 12ХН, а обыкновенного качества с повышенным содержанием легирующих элементов: сталь содержащая углерода С 0,27...0,34%, хрома Cr 2,3...2,7%, молибдена Мо 0,2...0,3%, ванадия V 0,06...0,12%.обозначается 30Х3МФ. Для того, чтобы показать, что в стали ограничено содержание серы и фосфора ( $S < 0,03\%$ ,  $P < 0,03\%$ ) и сталь относится к группе высококачественных в конце ее обозначения ставят букву А.



**Особовысококачественные стали, подвергнутые электрошлаковому переплаву**, обеспечивающему эффективную очистку от сульфидов и оксидов, обозначают добавлением через тире в конце наименования стали буквы Ш. Например: 12Х2Н4А, 15Х2МА, 18ХГ-Ш, 20ХГНТР-Ш и др.

**Литейные конструкционные стали.** В соответствии с ГОСТ 977-88 обозначаются по тем же правилам, что и качественные и легированные стали. Отличие заключается лишь в том, что в конце наименований литейных сталей приводится буква Л.

Например, 15Л, 20Г1ФЛ, 35ХГЛ и др.

**Шарикоподшипниковые стали** по ГОСТ 801-78 маркируют буквами "ШХ", после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента. Для сталей, подвергнутых электрошлаковому переплаву, буква Ш добавляется также и в конце их наименований через тире. Например: ШХ15, ШХ20СГ, ШХ4-Ш.

**Автоматные стали** ГОСТ 1414-75 начинаются с буквы А (автоматная). Если сталь при этом легирована свинцом, то ее наименование начинается с букв АС. Для отражения содержания в сталях остальных элементов используются те же правила, что и для легированных конструкционных сталей. Например: А20, А40Г, АС14, АС38ХГМ.

**Инструментальные стали.** Данные стали в соответствии с ГОСТ 1435-90 делятся на качественные и высококачественные. Качественные стали обозначаются буквой У (углеродистая) и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в стали в десятых долях процента. Например, сталь У7 содержит 0,65...0,74% углерода, сталь У10...0,95...1,04%, а сталь У13 – 1,2%.в обозначения высококачественных сталей добавляется буква А (У8А, У12А и т.д.). Кроме того, в обозначениях как качественных, так и высококачественных углеродистых инструментальных сталей может присутствовать буква Г, указывающая на повышенное содержание в стали марганца. Например: У8Г, У8ГА.

**Инструментальные легированные стали.** Правила обозначения инструментальных легированных сталей по ГОСТ 5950-73 в основном те же, что и для конструкционных легированных. Различие заключается лишь в цифрах, указывающих на массовую долю углерода в стали. Процентное содержание углерода также указывается в начале наименования стали, в десятых долях процента, а не в сотых, как для конструкционных легированных сталей. Если же в инструментальной легированной стали содержание углерода составляет около 1.0%, то соответствующую цифру в начале ее

наименования не указывают. Например: сталь 4Х2В5МФ имеет содержание С 0,3...0,4%, Cr 2,2...3,0%, W 4,5...5,5%, Mo 0,6...0,9%, V 0,6...0,9%, а сталь ХВГ...С 0,9...1,05%, Cr 0,9...1,2%, W 1,2...1,6%, Mn 0,8...1,1%.

**Быстрорежущие стали.** Обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама. В отличие от легированных сталей в наименованиях быстрорежущих сталей не указывается процентное содержание хрома, т.к. оно составляет около 4% во всех сталях, и углерода (оно пропорционально содержанию ванадия). Буква Ф, показывающая наличие ванадия, указывается только в том случае, если содержание ванадия составляет более 2,5%. В соответствии с вышесказанным сталь Р6М5 имеет состав С 0,82...0,9%, Cr 3,8...4,4%, Mo 4,8...5,3%, V 1,7...2,1%, W 5,5...6,5%, а сталь состава С 0,95...1,05%, Cr 3,8...4,3%, Mo 4,8...5,3%, V 2,3...2,7%, N 0,05...0,1%, W 5,7...6,7% называется Р6АМ5Ф3.

**Нержавеющие стали.** Обозначения стандартных нержавеющих сталей согласно ГОСТ 5632-72 состоят из букв и цифр и строятся по тем же принципам, что и обозначения конструкционных легированных сталей. В обозначения литейных нержавеющих сталей добавляется буква Л.

Например: нержавеющая сталь состава С < 0,08%, Cr 17,0...19,0%, Ni 9,0...11,0%, Ti 0,5...0,7% обозначается 08Х18Н10Т, а литейная сталь 16Х18Н12С4ТЮЛ имеет состав С 0,13...0,19%, Cr 17,0...19,0%, Ni 11,0...13,0%, Si 3,8...4,5%, Ti 0,4...0,7%, Al 0,13...0,35%.

В том случае, если стали получены методом электрошлакового переплава, к их наименованиям (также как и для легированных сталей) добавляется через тире буква Ш (06Х16Н15МЗБ-Ш). к наименованиям указанных сталей через тире могут добавляться буквы, означающие следующее:

ВД – вакуумно-дуговой переплав (09Х16Н4Б-ВД),

ВИ – вакуумно-индукционная выплавка (03Х18Н10-ВИ),

ЭЛ – электронно-лучевой переплав (03Н18К9М5Т-ЭЛ),

ГР – газокислородное рафинирование (04Х15СТ-ГР),

ИД – вакуумно-индукционная выплавка с последующим вакуумно-дуговым переплавом (ЭП14-ИД),

ПД – плазменная выплавка с последующим вакуумно-дуговым переплавом (ХН45НВТЮБР-ПД),

ИЛ – вакуумно-индукционная выплавка с последующим электронно-лучевым переплавом (ЭП989-ИЛ) и т.д.

## Чугун

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

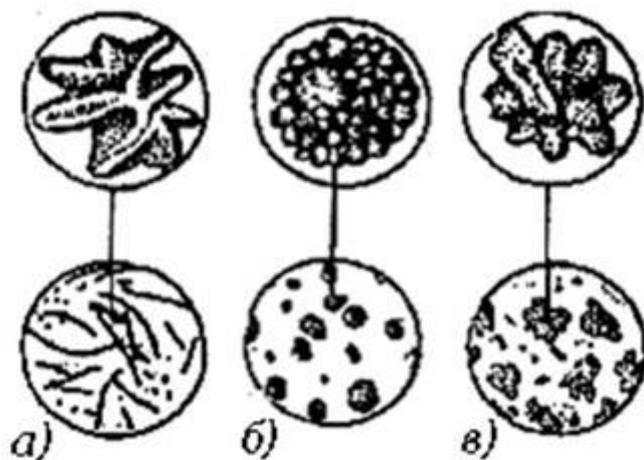
**Классификация чугунов.** Характерной особенностью чугунов является то, что углерод в сплаве может находиться не только в растворенном и связанном состоянии (в виде химического соединения – цементита  $Fe_3C$ ), но также в свободном состоянии – в виде графита. При этом форма выделений графита и структура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

Классификация чугуна с различной формой графита производится по ГОСТ 3443–77. по следующим признакам:

- по состоянию углерода – свободный или связанный;
- по форме включений графита – пластинчатый, вермикулярный, шаровидный, хлопьевидный (рисунок 5);
- по типу структуры металлической основы (матрицы) – ферритный, перлитный; имеются также чугуны со смешанной структурой: например, феррито-перлитные;
- по химическому составу – не легированные чугуны (общего назначения) и легированные чугуны (специального назначения).

В зависимости от формы выделения углерода в чугуне различают:

- – белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ ;
- – половинчатый чугун, в котором основное количество углерода (более 0,8 %) находится в виде цементита;
- – серый чугун, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита;
- – отбеленный чугун, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой – белого;
- – высокопрочный чугун, в котором графит имеет шаровидную форму;
- – ковкий чугун, получающийся из белого путем отжига, при котором углерод переходит в свободное состояние в виде хлопьевидного графита.



а – пластинчатый графит в сером чугуна;

б – шаровидный графит в высокопрочном чугуна;

в – хлопьевидный графит в ковком чугуна.

Рисунок 5 – Структура чугуна с графитом различной формы

**Серый чугун** – это сплав системы Fe-C-Si, содержащий в качестве примесей марганец, фосфор, серу. Углерод в серых чугунах преимущественно находится в виде графита пластинчатой формы.

Структура отливок определяется химическим составом чугуна и технологическими особенностями его термообработки. Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической матрицы, формы и размеров графитовых включений. Свойства металлической матрицы чугунов близки к свойствам стали. Графит, имеющий невысокую прочность, снижает прочность чугуна.

**Чем меньше графитовых включений и выше их дисперсность, тем больше прочность чугуна.**

Графитовые включения вызывают уменьшение предела прочности чугуна при растяжении. На прочность при сжатии и твердость чугуна частицы графита практически не оказывают влияния. Свойство графита образовывать смазочные пленки обуславливает снижение коэффициента трения и увеличение износостойкости изделий из серого чугуна. Графит улучшает обрабатываемость резанием.

Согласно ГОСТ 1412-85 *серый чугун маркируют* буквами «С» – серый и «Ч» – чугун. Число после буквенного обозначения показывает среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, СЧ 20 – чугун серый, предел прочности при растяжении 200 МПа.

По свойствам серые чугуны можно условно распределить на следующие группы:

- ферритные и ферритно-перлитные чугуны (марки СЧ10, СЧ15), применяют для изготовления малоответственных ненагруженных деталей машин;
- перлитные чугуны (марки СЧ20, СЧ25, СЧ30), используют для изготовления износостойких деталей, эксплуатируемых при больших нагрузках: поршней, цилиндров, блоков двигателей;
- модифицированные чугуны (марки СЧ35, СЧ40, СЧ45), получают добавлением перед разливкой в жидкий серый чугун присадок ферросилиция. Такие чугуны имеют перлитную металлическую матрицу с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

Чугун с вермикулярным графитом отличается от серого чугуна более высокой прочностью, повышенной теплопроводностью. Этот материал перспективен для изготовления ответственных отливок, работающих в условиях повышенных температур (блоки двигателей, поршневые кольца).

Вермикулярный графит получают путем обработки расплава серого чугуна лигатурами, содержащими редкоземельные металлы и силикобарий.

Модифицирование серого чугуна магнием, а затем ферросилицием позволяет получать магниевый чугун (СМЧ), обладающий прочностью литой стали и высокими литейными свойствами серого чугуна. Из него изготавливают детали, подвергаемые ударам, воздействию переменных напряжений и интенсивному износу, например, коленчатые валы легковых автомобилей.

**Высокопрочный чугун.** Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре шаровидного графита. Чугун с шаровидным графитом обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью.

Получение шаровидного графита в чугуне достигается модифицированием расплава присадками, содержащими Mg, Ca, Ce и другие редкоземельные металлы.

Химический состав и свойства высокопрочных чугунов регламентируются ГОСТ 7293-85 и маркируются буквами «В» – высокопрочный, «Ч» – чугун и числом,

обозначающим среднее значение предела прочности чугуна при растяжении. Например, ВЧ100 – высокопрочный чугун, предел прочности при растяжении 1000 МПа.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом является наиболее перспективным литейным сплавом, с помощью которого можно успешно решать проблему снижения массы конструкции при сохранении их высокой надежности и долговечности. Высокопрочный чугун используют для изготовления ответственных деталей в автомобилестроении (коленчатые валы, зубчатые колеса, цилиндры и др.).

**Белый и ковкий чугун.** Белые чугуны характеризуются тем, что у них весь углерод находится в химически связанном состоянии – в виде цементита. Излом такого чугуна имеет матово-белый цвет. Наличие большого количества цементита придает белому чугуну высокие твердость, хрупкость и очень плохую обрабатываемость режущим инструментом. Высокая твердость белого чугуна обеспечивает его высокую износостойкость, в том числе и при воздействии абразивных сред. Это свойство белых чугунов учитывается при изготовлении поршневых колец. Однако белый чугун применяют главным образом для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун. Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна определенного химического состава, отличающегося пониженным содержанием графитизирующих элементов (2,4...2,9 % С и 1,0...1,6 % Si), так как в литом состоянии необходимо получить полностью отбеленный чугун по всему сечению отливки, что обеспечивает формирование хлопьевидного графита в процессе отжига.

Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого чугуна регламентирует ГОСТ 1215-79. Ковкие чугуны, маркируют буквами «К» – ковкий, «Ч» – чугун и цифрами. Первая группа цифр показывает предел прочности чугуна при растяжении, вторая – относительное его удлинение при разрыве. Например, КЧ33-8 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 330 МПа и относительным удлинением при разрыве 8 %.

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

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

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

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

**Жаростойкие легированные чугуны** ЧХ2, ЧХ3 применяют для изготовления деталей контактных аппаратов химического оборудования, турбокомпрессоров, эксплуатируемых при температуре 600°С (ЧХ2) и 700 °С (ЧХ3).

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

Коррозионно-стойкие легированные чугуны марок ЧХ1, ЧНХТ, ЧНХМД ЧН2Х (низколегированные) обладают повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах. Их применяют для изготовления деталей узлов трения, работающих при повышенных температурах (поршневых колец, блоков и головок цилиндров двигателей внутреннего сгорания, деталей дизелей, компрессоров и т. д.).

**Антифрикционные чугуны** используются в качестве подшипниковых сплавов, способных работать в условиях трения как подшипники скольжения.

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

## Цветные металлы и сплавы

**Цветные металлы и сплавы.** Многие цветные металлы (Cu, Al, Mg, Pb, Sn, Zn, Ti) и их сплавы обладают рядом ценных свойств: хорошей пластичностью, вязкостью, высокой электро- и теплопроводностью, прочностью, низкой плотностью, коррозионной стойкостью и другими достоинствами. Благодаря этим качествам цветные металлы и их сплавы занимают важное место среди конструкционных материалов.

Из цветных металлов в автомобилестроении в чистом виде и в виде сплавов широко используются алюминий, медь, свинец, олово, магний, цинк, титан.

### Алюминий и его сплавы

**Алюминий** – металл серебристо-белого цвета, характеризуется низкой плотностью, высокой электропроводностью, температура плавления 660°C. Механические свойства алюминия невысокие, поэтому в чистом виде как конструкционный материал применяется ограниченно.

Для повышения физико-механических и технологических свойств алюминий легируют различными элементами (Cu, Cr, Mg, Si, Zn, Mn, Ni).

В зависимости от содержания постоянных примесей различают:

- алюминий особой чистоты марки А999 (0,001 % примесей);
- алюминий высокой чистоты – А935, А99, А97, А95 (0,005...0,5 % примесей);
- технический алюминий – А35, А3, А7, А5, А0 (0,15...0,5 % примесей).

Технический алюминий выпускают в виде полуфабрикатов для дальнейшей переработки в изделия. Алюминий высокой чистоты применяют для изготовления фольги, токопроводящих и кабельных изделий.

Сплавы на основе алюминия классифицируются по следующим признакам:

- по технологии изготовления;
- по степени упрочнения после термической обработки;
- по эксплуатационным свойствам.

**Деформируемые сплавы.** К неупрочняемым термической обработкой относятся сплавы:

- алюминия с марганцем марки АМц;
- алюминия с магнием марок АМг; АМг3, АМг5В, АМг5П, АМг6.



Эти сплавы обладают высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо штампуются и свариваются, но имеют невысокую прочность. Из них изготавливают бензиновые баки, проволоку, заклепки, а также сварные резервуары для жидкостей и газов, детали вагонов.

В группе деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, различают сплавы:

- нормальной прочности;
- высокопрочные сплавы;
- жаропрочные сплавы;
- сплавы дляковки и штамповки.

Сплавы нормальной прочности. К ним относятся сплавы системы Алюминий + Медь + Магний (дуралюмины), которые маркируются буквой Д. Дуралюмины (Д1, Д16, Д18) характеризуются высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью. Для упрочнения сплавов применяют закалку с последующим охлаждением в воде. Закаленные дуралюмины подвергаются старению, что способствует увеличению их коррозионной стойкости.

Дуралюмины широко используются в авиастроении: из сплава Д1 изготавливают лопасти винтов, из Д16 – несущие элементы фюзеляжей самолетов, сплав Д18 – один из основных заклепочных материалов.

**Высокопрочные сплавы алюминия** (В93, В95, В96) относятся к системе Алюминий+Цинк+Магний+Медь. В качестве легирующих добавок используют марганец и хром, которые увеличивают коррозионную стойкость и эффект старения сплава. Для достижения требуемых прочностных свойств, сплавы закаливают с последующим старением. Высокопрочные сплавы по своим прочностным показателям превосходят дуралюмины, однако менее пластичны и более чувствительны к концентраторам напряжений (надрезам). Из этих сплавов изготавливают высоконагруженные наружные конструкции в авиастроении – детали каркасов, шасси и обшивки.

**Жаропрочные сплавы алюминия** (АК4-1, Д20) имеют сложный химический состав, легированы железом, никелем, медью и другими элементами. Жаропрочность сплавам придает легирование, замедляющее диффузионные процессы.

Детали из жаропрочных сплавов используются после закалки и искусственного старения и могут эксплуатироваться при температуре до 300°С.

**Сплавы дляковки и штамповки** (АК2, АК4, АК6, АК8) относятся к системе Алюминий+Медь+Магний с добавками кремния. Сплавы применяют после закалки и

старения для изготовления средненагруженных деталей сложной формы (АК6) и высоконагруженных штампованных деталей – поршни, лопасти винтов, крыльчатки насосов и др.

**Литейные сплавы.** Для изготовления деталей методом литья применяют алюминиевые сплавы систем Al-Si, Al-Cu, Al-Mg. Для улучшения механических свойств сплавы легируют титаном, бором, ванадием. Главным достоинством литейных сплавов является высокая жидкотекучесть, небольшая усадка, хорошие механические свойства.

### **Медь и ее сплавы**

Главными достоинствами меди как машиностроительного материала являются высокие тепло- и электропроводность, пластичность, коррозионная стойкость в сочетании с достаточно высокими механическими свойствами. К недостаткам меди относят низкие литейные свойства и плохую обрабатываемость резанием.

**Легирование меди** осуществляется с целью придания сплаву требуемых механических, технологических, антифрикционных и других свойств. Химические элементы, используемые при легировании, обозначают в марках медных сплавов следующими индексами:

А – алюминий;	Мц – марганец;
Вм – вольфрам;	М – медь;
Ви – висмут;	Мш – мышьяк;
В – ванадий;	Н – никель;
Км – кадмий;	О – олово;
Гл – галлий;	С – свинец;
Г – германий;	Сн – селен;
Ж – железо;	Ср – серебро;
Зл – золото;	Су – сурьма;
К – кобальт;	Ти – титан;
Кр – кремний;	Ф – фосфор;
Мг – магний;	Ц – цинк.

Медные сплавы классифицируют по следующим признакам:

*по химическому составу на:*

- латуни;
- бронзы;
- медноникелевые сплавы;

*по технологическому назначению на:*

- деформируемые;
- литейные;

*по изменению прочности после термической обработки на:*

- упрочняемые;
- неупрочняемые.

**Латуни** – сплавы меди, а которых главным легирующим элементом является цинк.

В зависимости от содержания легирующих компонентов различают:

- простые (двойные) латуни;
- многокомпонентные (легированные) латуни.

Простые латуни маркируют буквой «Л» и цифрами, показывающими среднее содержание меди в сплаве.

Например, сплав Л90 – латунь, содержащая 90 % меди, остальное – цинк.

В марках легированных латуней группы букв и цифр, стоящих после них, обозначают легирующие элементы и их содержание в процентах.

Например, сплав ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 – латунь алюминированоникелькремнистомарганцевая, содержащая 75 % меди, 2 % алюминия, 2,5 % никеля, 0,5 % кремния, 0,5 % марганца, остальное – цинк.

В зависимости от основного легирующего элемента различают алюминиевые, кремнистые, марганцевые, никелевые, оловянистые, свинцовые и другие латуни.

**Бронзы** – это сплавы меди с оловом и другими элементами (алюминий, марганец, кремний, свинец, бериллий).

В зависимости от содержания основных компонентов, бронзы делятся на:

- оловянные, главным легирующим элементом которых является олово;

- безоловянные (специальные), не содержащие олова.

**Бронзы маркируют** буквами «Бр» и буквенные индексы элементов, входящих в состав. Затем следуют цифры, обозначающие среднее содержание элементов в процентах (цифру, обозначающую содержание меди в бронзе, не ставят).

Например, сплав марки БрОЦС5-5-5 означает, что бронза содержит олова, свинца и цинка по 5 %, остальное – медь (85 %).

В зависимости от технологии переработки оловянные и специальные бронзы подразделяют на:

- деформируемые;
- литейные;
- специальные.

**Деформируемые оловянные бронзы** содержат до 8 % олова. Эти бронзы используют для изготовления пружин, мембран и других деформируемых деталей. Литейные бронзы содержат свыше 6 % олова, обладают высокими антифрикционными свойствами и достаточной прочностью; их используют для изготовления ответственных узлов трения (вкладыши подшипников скольжения).

Специальные бронзы включают в свой состав алюминий, никель, кремний, железо, бериллий, хром, свинец и другие элементы. В большинстве случаев название бронзы определяется основным легирующим компонентом.

### **Титан и его сплавы**

Титановые сплавы классифицируют по:

- технологическому назначению на литейные и деформируемые;
- механическим свойствам – низкой (до 700 МПа), средней (700...1000 МПа) и высокой (более 1000 МПа) прочности;
- эксплуатационным характеристикам – жаропрочные, химически стойкие и др.;
- отношению к термической обработке – упрочняемые и неупрочняемые;
- структуре ( $\alpha$ -,  $\alpha+\beta$ - и  $\beta$ -сплавы).

Деформируемые титановые сплавы по механической прочности выпускаются под марками:

- низкой прочности – ВТ1;
- средней прочности – ВТ3, ВТ4, ВТ5;

- высокой прочности ВТ6, ВТ14, ВТ15 (после закалки и старения).

Для литья применяются сплавы, аналогичные по составу деформируемым сплавам (ВТ5Л, ВТ14Л), а также специальные литейные сплавы.

### **Магний и его сплавы**

Главным достоинством магния как машиностроительного материала являются низкая плотность, технологичность. Однако его коррозионная стойкость во влажных средах, кислотах, растворах солей крайне низка. Чистый магний практически не используют в качестве конструкционного материала из-за его недостаточной коррозионной стойкости. Он применяется в качестве легирующей добавки к сталям и чугунам и в ракетной технике при создании твердых топлив.

Эксплуатационные свойства магния улучшают легированием марганцем, алюминием, цинком и другими элементами. Легирование способствует повышению коррозионной стойкости (Zr, Mn), прочности (Al, Zn, Mn, Zr), жаропрочности (Th) магниевых сплавов, снижению окисляемости их при плавке, литье и термообработке.

Сплавы на основе магния классифицируют по:

- механическим свойствам – невысокой, средней прочности; высокопрочные, жаропрочные;
- технологии переработки – литейные и деформируемые;
- отношению к термической обработке – упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой.

**Маркировка магниевых сплавов** состоит из буквы, обозначающей соответственно сплав (М), и буквы, указывающей способ технологии переработки (А – для деформируемых, Л – для литейных), а также цифры, обозначающей порядковый номер сплава.

**Деформируемые магниевые сплавы** МА1, МА2, МА3, МА8 применяют для изготовления полуфабрикатов – прутков, труб, полос и листов, а также для штамповок и поковок.

**Литейные магниевые сплавы** МЛ1, МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6 нашли широкое применение для производства фасонных отливок. Некоторые сплавы МЛ применяют для изготовления высоконагруженных деталей в авиационной и автомобильной промышленности: картеры, корпуса приборов, колесные диски, фермы шасси самолетов.

Ввиду низкой коррозионной стойкости магниевых сплавов изделия и детали из них подвергают оксидированию с последующим нанесением лакокрасочных покрытий.

### **Баббиты и припой**

Для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях трения скольжения, используют сплавы, характеризующиеся низким коэффициентом трения, прирабатываемостью, износостойкостью, малой склонностью к заеданию.

К группе антифрикционных материалов относят сплавы на основе олова, свинца и цинка.

**Баббиты** – антифрикционные материалы на основе олова и свинца.

В состав баббитов вводятся легирующие элементы, придающие им специфические свойства: медь увеличивает твердость и ударную вязкость; никель – вязкость, твердость, износостойкость; кадмий – прочность и коррозионную стойкость; сурьма – прочность сплава.

Баббиты применяют для заливки вкладышей подшипников скольжения, работающих при больших окружных скоростях и при переменных и ударных нагрузках.

По химическому составу баббиты классифицируют на группы:

- оловянные (Б83, Б88),
- оловянно-свинцовые (БС6, Б16);
- свинцовые (БК2, БКА).

Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты.

Баббиты на основе свинца имеют несколько худшие антифрикционные свойства, чем оловянные, но они дешевле и менее дефицитны. Свинцовые баббиты применяют в подшипниках, работающих в легких условиях.

В конструктивных элементах подвижного состава железных дорог используют подшипники скольжения из кальциевых баббитов.

В марках баббитов цифра показывает содержание олова. Например, баббит БС6 содержит по 6 % олова и сурьмы, остальное – свинец.

**Антифрикционные цинковые ставы (ЦВМ10-5, ЦАМ9-1,5)** используют для изготовления малонагруженных подшипников скольжения. Такие подшипники успешно заменяют бронзовые при температурах эксплуатации, не превышающих 120 °С.

## Неметаллические конструкционные материалы

Понятие неметаллические материалы включает большой ассортимент материалов таких, как пластические массы, композиционные материалы, резиновые материалы, клеи, лакокрасочные покрытия, древесина, а также силикатные стекла, керамика и др.

Неметаллические материалы обладают высокой механической прочностью, низкой плотностью, термической и химической стойкостью, высокими электроизоляционными характеристиками, оптической прозрачностью и т. п. Особо следует отметить технологичность неметаллических материалов.

Применение неметаллических материалов обеспечивает значительную экономическую эффективность.

***Основой неметаллических материалов являются полимеры.***

***Полимерами называют вещества***, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев (мономеров) одинаковой структуры.

***Природные полимеры*** – натуральный каучук, целлюлоза, слюда, асбест.

Однако ведущей группой являются синтетические полимеры, получаемые в процессе химического синтеза из низкомолекулярных соединений.

Все полимеры по отношению к нагреву подразделяют на ***термопластичные*** и ***термореактивные***.

***Термопластичные полимеры*** при нагревании размягчаются, даже плавятся, при охлаждении затвердевают. Этот процесс обратим, т. е. никаких дальнейших химических превращений материал не претерпевает.

Представителями термопластов являются полиэтилен, полистирол, полиамиды и др.

***Термореактивные полимеры*** при нагревании размягчаются, затем вследствие протекания химических реакций затвердевают и в дальнейшем остаются твердыми.

Отвержденное состояние полимера называется термостабильным.

Примером термореактивных полимеров могут служить фенолоформальдегидная, глифталевая и другие смолы.

***Пластмассами*** называют искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связующих веществ. В состав пластмасс входят связующее, наполнители, красители и пластификаторы. В зависимости от природы связующего

переход отформованной массы в твердое состояние совершается или при дальнейшем ее нагревании, или при последующем охлаждении.

В качестве связующих для большинства пластмасс используются синтетические смолы, реже применяются эфиры целлюлозы. Многие пластмассы, главным образом термопластичные, состоят из одного связующего вещества, например, полиэтилен, органическое стекло и др.

В качестве наполнителей используются порошкообразные, волокнистые и другие вещества как органического, так и неорганического происхождения. После пропитки наполнителя связующим получают полуфабрикат, который спрессовывается в монолитную массу. Наполнители повышают механическую прочность, снижают усадку при прессовании и придают материалу те или иные специфические свойства (фрикционные, антифрикционные и т. д.).

Для повышения пластичности в полуфабрикат добавляют пластификаторы (органические вещества с высокой температурой кипения и низкой температурой замерзания, например олеиновую кислоту, стеарин, дибутилфталат и др.). Пластификатор сообщает пластмассе эластичность, облегчает ее обработку. Наконец, исходная композиция может содержать отвердители (различные амины) или катализаторы (перекисные соединения) процесса отверждения термореактивных связующих, ингибиторы, предохраняющие полуфабрикаты от их самопроизвольного отверждения, а также красители (минеральные пигменты и спиртовые растворы органических красок, служащие для декоративных целей).

Термопласты удобны для переработки в изделия, дают незначительную усадку при формовании (1...3%). Материал отличается большой упругостью, малой хрупкостью и способностью к ориентации. Обычно термопласты изготавливают без наполнителя. В последние годы стали применять термопласты с наполнителями в виде минеральных и синтетических волокон (органопласты).

Термореактивные полимеры после отверждения и перехода связующего в термостабильное состояние хрупки, часто дают большую усадку (до 10...15%) при их переработке, поэтому в их состав вводят усиливающие наполнители.

По виду наполнителя пластмассы делят на следующие виды:

- порошковые (пресс-порошки с наполнителями в виде древесной муки, сульфитной целлюлозы, графита, талька, измельченного стекла, мрамора, асбеста, слюды);
- волокнистые (с наполнителями в виде очесов хлопка и льна, стеклянного волокна, асбеста);



- слоистые (содержащие листовые наполнители (листы бумаги, хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые ткани, древесный шпон);
- крошкообразные (наполнитель в виде кусочков ткани или древесного шпона, пропитанных связующим);
- газонаполненные (наполнитель – воздух или нейтральные газы). В зависимости от структуры последние подразделяют на пенопласты и поропласты.

Пластмассы по своим физико-механическим и технологическим свойствам являются наиболее прогрессивными и часто незаменимыми материалами для машиностроения.

Недостатками пластмасс являются невысокая теплостойкость, низкие модуль упругости и ударная вязкость по сравнению с металлами и сплавами, а для некоторых пластмасс – склонность к старению.

## Резина

*Резиной называется продукт специальной обработки (вулканизации) смеси каучука и серы с различными добавками.*

Резина как технический материал отличается от других материалов высокими эластическими свойствами, которые присущи каучуку – главному исходному компоненту резины. Она способна к очень большим деформациям (относительное удлинение достигает 1000%), которые почти полностью обратимы. При комнатной температуре резина находится в высокоэластическом состоянии и ее эластические свойства сохраняются в широком диапазоне температур.

Модуль упругости лежит в пределах 1...10 МПа, т. е. он в тысячи и десятки тысяч раз меньше, чем для других материалов. Особенностью резины является ее малая сжимаемость (для инженерных расчетов резину считают несжимаемой). При эксплуатации толстостенных деталей (например, шин) вследствие низкой теплопроводности материала нарастание температуры в массе резины снижает ее работоспособность.

Кроме отмеченных особенностей для резиновых материалов характерны высокая стойкость к истиранию, газо- и водонепроницаемость, химическая стойкость, электроизоляционные свойства и низкая плотность.

В результате совокупности технических свойств резиновых материалов их применяют для амортизации и демпфирования, уплотнения и герметизации в условиях воздушных и жидкостных сред, химической защиты деталей машин, в производстве тары

для хранения масел и горючего, различных трубопроводов (шлангов), для покрышек и камер колес самолетов, автотранспорта и т. д.

Основой всякой резины служит каучук натуральный (НК) или синтетический (СК), который и определяет основные свойства резинового материала. Для улучшения физико-механических свойств каучуков вводятся различные добавки. Вулканизирующие вещества (сера, селен) участвуют в образовании пространственно-сеточной структуры резин. Ускорители процесса вулканизации: полисульфиды, окислы свинца, магния и др. влияют как на режим вулканизации, так и на физико-механические свойства вулканизаторов. Ускорители проявляют свою наибольшую активность в присутствии окислов некоторых металлов (цинка и др.), называемых активаторами. Противостарители (антиоксиданты) замедляют процесс старения резины, который ведет к ухудшению ее эксплуатационных свойств. пластификаторы облегчают переработку резиновой смеси, увеличивают эластические свойства каучука, повышают морозостойкость резины. В качестве пластификаторов используют парафин, вазелин, стеариновую кислоту, битумы, дибутилфталат, растительные масла. Количество пластификаторов 8...30% от массы каучука. Красители – минеральные или органические вводят для окраски резин.

### **Неорганические конструкционные материалы**

Неорганическим конструкционным материалам присущи *негорючесть, высокая стойкость к нагреву, химическая стойкость, неподверженность старению, большая твердость, хорошая сопротивляемость сжимающим нагрузкам*. Однако они обладают повышенной хрупкостью, плохо переносят резкую смену температур, слабо сопротивляются растягивающим и изгибающим усилиям и имеют большую плотность по сравнению с органическими полимерными материалами.

Основой неорганических материалов являются главным образом окислы и бескислородные соединения металлов. большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами. эти материалы объединяют общим названием силикатные. В настоящее время применяют не только соединения кремния, но и чистые окислы алюминия, магния, циркония и др., обладающие более ценными техническими свойствами, чем обычные силикатные материалы.

Неорганические материалы подразделяют на неорганическое стекло, стеклокристаллические материалы – ситаллы и керамику.

Неорганическое стекло следует рассматривать как особого вида затвердевший раствор – сложный расплав высокой вязкости кислотных и основных окислов.

Стеклообразное состояние является разновидностью аморфного состояния вещества. При переходе стекла из расплавленного жидкого состояния в твердое аморфное

в процессе быстрого охлаждения и нарастания вязкости обеспечивается беспорядочная структура, свойственная жидкому состоянию.

В состав неорганических стекол входят:

- стеклообразующие окислы кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка, образующие структурную сетку;
- модифицирующие окислы натрия, калия, лития, кальция, магния, бария, изменяющие физико-химические свойства стекломассы.

Кроме того, в состав стекла вводят окислы алюминия, железа, свинца, титана, бериллия и др., которые самостоятельно не образуют структурный каркас, но могут частично замещать стеклообразующие и этим сообщать стеклу нужные технические характеристики. В связи с этим промышленные стекла являются сложными многокомпонентными системами.

Стекла классифицируют по ряду признаков: по стеклообразующему веществу, по содержанию модификаторов и по назначению.

В зависимости от химической природы стеклообразующего вещества стекла подразделяют на:

- силикатные ( $\text{SiO}_2$ );
- алюмосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ );
- боросиликатные ( $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ );
- алюмоборосиликатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ );
- алюмофосфатные ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$ ) и др.

По содержанию модификаторов стекла бывают щелочными (содержащими окислы  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), бесщелочными и кварцевыми. По назначению все стекла подразделяют на технические (оптические, светотехнические, электротехнические, химико-лабораторные, приборные, трубные); строительные (оконные, витринные, армированные, стеклоблоки) и бытовые (стеклотара, посудные, бытовые зеркала и т. п.).

Технические стекла в большинстве относятся к алюмоборосиликатной группе и отличаются разнообразием входящих окислов. Стекла выпускаются промышленностью в виде готовых изделий, заготовок или отдельных деталей!

**Теплозвукоизоляционные стекловолоконистые материалы** имеют рыхловолоконистую структуру с большим количеством воздушных прослоек, волокна в них располагаются беспорядочно. Такая структура сообщает этим материалам малую объемную массу (от 20 до 130 кг/м<sup>3</sup>) и низкую теплопроводность.

Разновидностями стекловолоконистых материалов являются стекловата, применение которой ограничено ее хрупкостью; материалы АСИМ, АТИМС, АТМ-3, состоящие из стекловолокон, расположенных между двумя слоями стеклоткани или стеклосетки, простеганной стеклонитками. Они применяются в интервале температур от минус 60 до плюс 450...600°C. Иногда стекловолокна сочетают с термореактивной смолой, придающей матам более устойчивую рыхлую структуру (материал АТИМСС), рабочие температуры – до 150°C. Материалы, вырабатываемые из короткого волокна и синтетических смол, называются плитами. Коэффициент звукопоглощения плит при частоте 200...800 Гц равен 0,5; при частоте 8000 Гц – 0,65.

Стекловату, маты, плиты применяют для теплозвукоизоляции кабин самолетов, кузовов автомашин, железнодорожных вагонов, тепловозов, электровозов, корпусов судов, в холодильной технике, ими изолируют различные трубопроводы, автоклавы и т. д.

**Ситаллы** получают на основе неорганических стекол путем их полной или частичной управляемой кристаллизации. За рубежом их называют стеклокерамикой, пирокерамами. По структуре и технологии получения ситаллы занимают промежуточное положение между обычным стеклом и керамикой. От неорганических стекол они отличаются кристаллическим строением, а от керамических материалов – более мелкозернистой и однородной микрокристаллической структурой.

Ситаллы получают путем плавления стекольной шихты специального состава с добавкой нуклеаторов (катализаторов), охлаждения расплава до пластичного состояния и формования из него изделий методами стекольной технологии и последующей ситаллизации (кристаллизации). Ситалловые изделия получают также порошковым методом спекания.

В состав стекла, применяемого для получения ситаллов, входят окислы  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  и др. и катализаторы кристаллизации (нуклеаторы). К числу последних относятся соли светочувствительных металлов  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Cu}$ , которые являются коллоидными красителями и находятся в стекле в виде мельчайших коллоидно-дисперсных частиц, а также фтористые и фосфатные соединения,  $\text{TiO}_2$  и др., представляющие собой глушители, распределяющиеся в стекле в виде плохо растворимых частичек.

**Керамика** – неорганический материал, получаемый из окислов алюминия (глины) в процессе высокотемпературного обжига.

**Керамика на основе чистых оксидов.** Оксидная керамика обладает высокой прочностью при сжатии по сравнению с прочностью при растяжении или изгибе; более прочными являются мелкокристаллические структуры. С повышением температуры

прочность керамики понижается. Керамика из чистых оксидов, как правило, не подвержена процессу окисления.

**Бескислородная керамика.** Материалы обладают высокой хрупкостью. Сопротивление окислению при высоких температурах карбидов и боридов составляет 900...1000°C, несколько ниже оно у нитридов. Силициды могут выдерживать температуру 1300...1700°C (на поверхности образуется пленка кремнезема).

**Графит** является одной из аллотропических разновидностей углерода. Это полимерный материал кристаллического пластинчатого строения. Не плавится при атмосферном давлении. Графит встречается в природе, а также получается искусственным путем.

### Композиционные конструкционные материалы

**Композиционные материалы представляют собой объемное сочетание двух или нескольких химически разнородных материалов с четкой границей раздела между этими компонентами (фазами)** и характеризуются свойствами, которых не имеют составляющие его компоненты в отдельности. Композицию получают путем введения в основной материал (матрицу) определенного количества другого материала (наполнителя), который добавляется с целью получения специальных свойств (Рисунок 6). Композиционный материал может состоять из двух, трех и более компонентов. Размеры частиц, входящих компонентов могут колебаться от сотых долей микрометра до нескольких миллиметров.

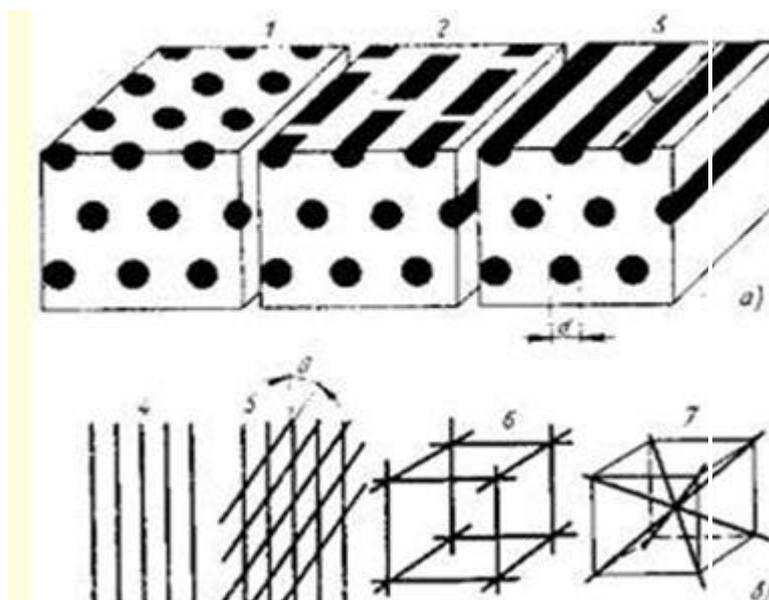


Рисунок 6 – Схема структуры (а) и схемы армирования

Физико-механические свойства композиционных материалов в зависимости от концентрации компонентов, их геометрических параметров и ориентации, а также технологии изготовления могут изменяться в широких пределах. В результате этого открывается возможность конструирования материалов с заданными свойствами.

В зависимости от материала матрицы композиционные материалы можно разделить на следующие основные группы: композиции с металлической матрицей – металлические композиционные материалы; с полимерной – полимерные композиционные материалы; с резиновой – резиновые композиционные материалы и с керамической – керамические композиционные материалы.

По типу арматуры и ее ориентации композиционные материалы подразделяют на две основные группы: изотропные и анизотропные.

Изотропные композиционные материалы имеют одинаковые свойства во всех направлениях. К этой группе относят композиционные материалы с порошкообразными наполнителями.

У анизотропных материалов свойства зависят от направления армирующего материала. Их подразделяют на однонаправленные, слоистые и трехмернонаправленные. В последнее время находят широкое применение так называемые гибридные композиционные материалы, содержащие в своем составе три и более компонентов.

*По способу получения металлические композиционные материалы делят на литейные и деформируемые, полимерные и резиновые композиционные материалы, на литейные и прессованные.*

*По назначению композиционные материалы разделяют на общие конструкционные, термостойкие, пористые, фрикционные и антифрикционные.*

В качестве материалов матриц для изготовления металлических конструкционных материалов применяют:

- легкие металлы и сплавы на основе алюминия и магния;
- сплавы на основе титана, меди;
- жаропрочные и жаростойкие сплавы на основе железа, никеля и кобальта;
- тугоплавкие сплавы на основе вольфрама, молибдена и ниобия.

Для армирования композиционных материалов с металлической матрицей используют *высокопрочные волокна углерода, бора, карбида кремния и вольфрама, оксидов алюминия и циркония, проволоку из стальных, вольфрамовых и молибденовых сплавов, а также нитевидные кристаллы.*

*Волокна углерода и бора* используют обычно для армирования легких сплавов на основе алюминия и магния. Изделия из таких композиционных материалов характеризуются высокой прочностью и жесткостью и могут длительно эксплуатироваться при температурах до 300...450°C.

*Волокна карбида кремния и вольфрама* предназначены для армирования жаропрочных композиционных материалов на основе никеля и хрома с рабочими температурами до 1100...1300°C.

*Термостойкие и жаропрочные волокна из оксидов алюминия и циркония* эффективны для армирования композиционных материалов, работающих при температурах 1400...1600°C.

*Проволоку из стальных, вольфрамовых и молибденовых сплавов* используют для армирования высокопрочных композиционных материалов.

*Нитевидные кристаллы таких тугоплавких соединений* как карбиды кремния, бора, оксида алюминия и др. используют в качестве армирующего материала для получения жаропрочных и высокопрочных композиционных материалов.

Пример применения композиционных материалов в автостроении показан на рисунке 7, а в самолетостроении на рисунке 8.

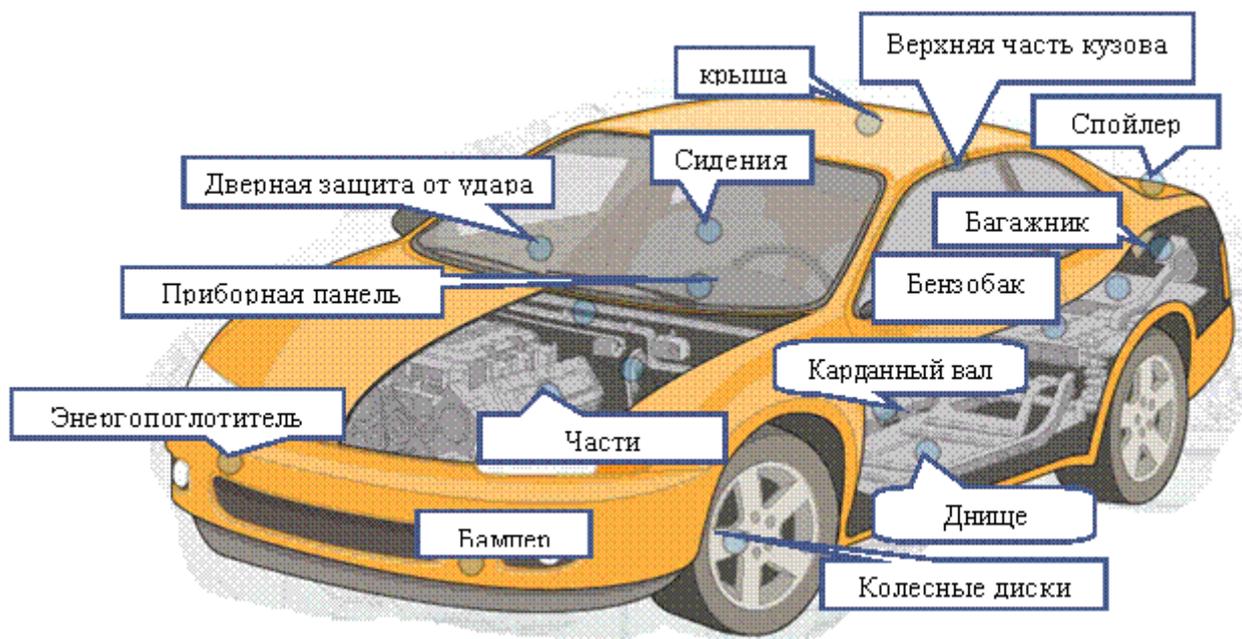


Рисунок 7 – Детали автомобиля, изготавливаемые из композиционных материалов

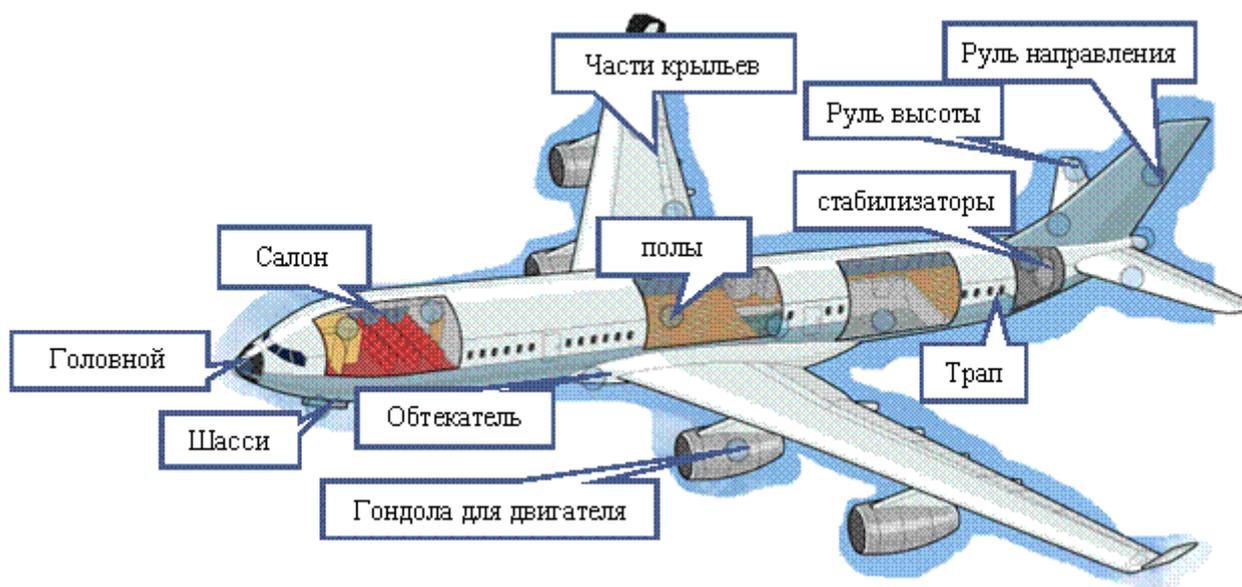


Рисунок 8 – Детали самолета, изготавливаемые из композиционных материалов

**Вопросы для самоконтроля**

1. Классификация конструкционных материалов.



2. Строение конструкционных материалов.

## Формирование структуры деформированных металлов и сплавов.

### Физическая природа деформации металлов.

*Деформацией* называется изменение формы и размеров тела под действием напряжений.

*Напряжение* – сила, действующая на единицу площади сечения детали.

Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате фазовых (структурных) превращений, усадки и других физико-химических процессов, протекающих в металлах, и связанных с изменением объема.

Металл, находящийся в напряженном состоянии при любом виде нагружения, всегда испытывает напряжения *нормальные и касательные* (рис. 9.).

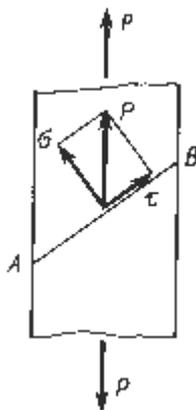


Рисунок 9- Схема возникновения нормальных и касательных напряжений в металле при его нагружении

Рост нормальных и касательных напряжений приводит к разным последствиям. Рост нормальных напряжений приводит к хрупкому разрушению. Пластическую деформацию вызывают касательные напряжения.

**Деформация металла под действием напряжений может быть упругой и пластической.**

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

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

Упругая деформация на диаграмме деформации характеризуется линией OA (рис.10).

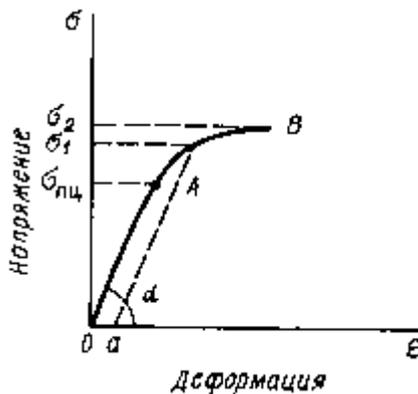


Рисунок 10- Диаграмма зависимости деформации металла ε от действующих напряжений σ

Если нормальные напряжения достигают значения сил межатомных связей, то наблюдается хрупкое разрушение путем отрыва (рис. 11)

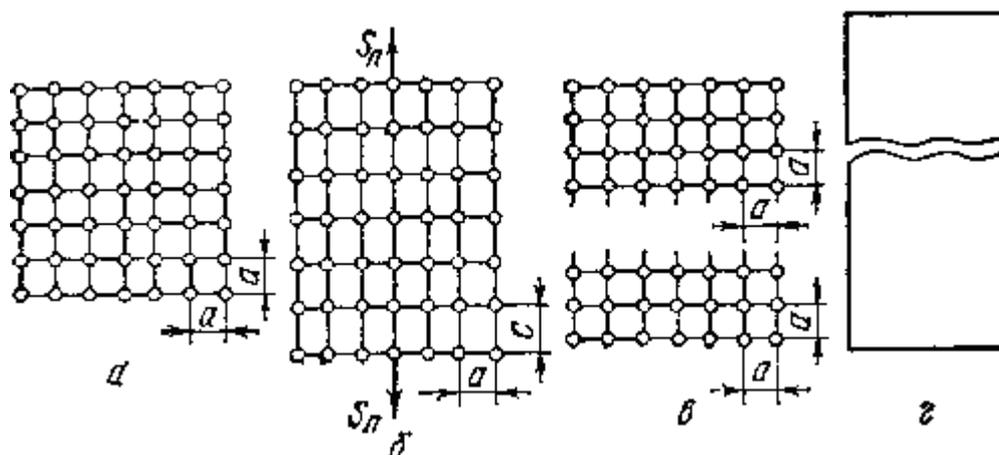


Рисунок 11- Схема упругой деформации и хрупкого разрушения под действием упругих напряжений  $a$  – ненапряженная решетка металла;  $b$  – упругая деформация;  $c$  – хрупкое разрушение в результате отрыва

Зависимость между упругой деформацией  $\epsilon$  и напряжением  $\sigma$  выражается законом Гука

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

где:  $E$  - модуль упругости.

Модуль упругости является важнейшей характеристикой упругих свойств металла. По физической природе *величина модуля упругости* рассматривается как *мера прочности связей между атомами в твердом теле*.

Эта механическая характеристика структурно нечувствительна, т. е. термическая обработка или другие способы изменения структуры не изменяют модуля упругости, а повышение температуры, изменяющее межатомные расстояния, снижает модуль упругости.

**Пластической или остаточной** называется деформация после прекращения действия вызвавших ее напряжений.

При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой под действием касательных напряжений. При снятии нагрузок сдвиг остается, *т.е. происходит пластическая деформация (рис. 12)*

В результате развития пластической деформации может произойти вязкое разрушение путем сдвига.

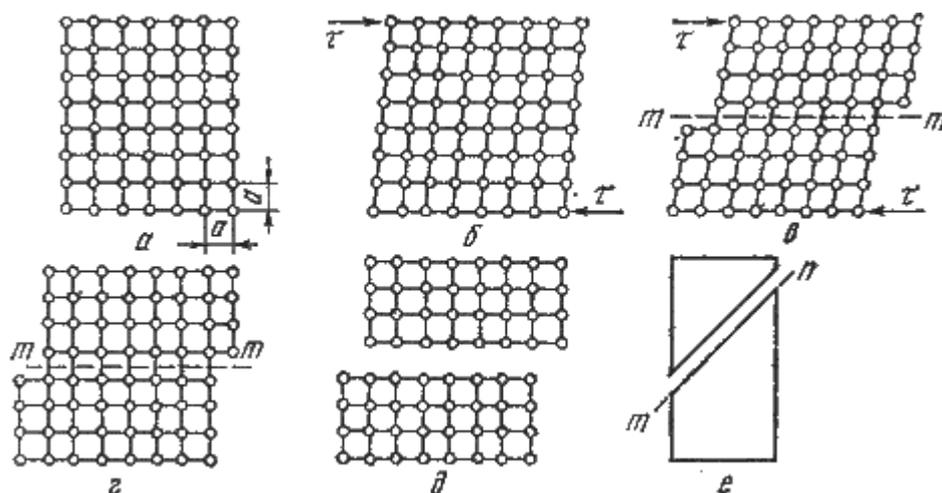


Рисунок 12- Схема пластической деформации и вязкого разрушения под действием касательных напряжений *a* – ненапряженная решетка; *б* – упругая деформация; *в* – упругая и пластическая деформация; *г* – пластическая деформация; *д, е* – пластичное (вязкое) разрушение в результате среза

### Пластическое деформирование поли- и монокристаллов.

Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, и характер их деформации зависит от типа кристаллической структуры и от наличия несовершенств в этой структуре.

Рассмотрим пластическую деформацию в *монокристалле* (отдельный кристалл).

Пластическая деформация может протекать под действием касательных напряжений и может осуществляться двумя способами.

1. **Трансляционное скольжение** по плоскостям (рис. 13 а). Одни слои атомов кристалла скользят по другим слоям, причем они перемещаются на дискретную величину, равную целому числу межатомных расстояний.

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

Плоскостями скольжения являются кристаллографические плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов.

Это наиболее характерный вид деформации при обработке давлением.

2. **Двойникование** – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (рис. 13 б).

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

Двойникование может возникать не только в результате действия внешних сил, но и в результате отжига пластически деформированного тела. Это характерно для металлов с гранцентрированной кубической решеткой (медь, латунь). Двойникованием можно достичь незначительной степени деформации.



Рисунок 13- Схемы пластической деформации различными способами: а – скольжением; б – двойникованием

### .Механизм пластического деформирования.

Пластическая деформация происходит в результате скольжения или двойникования.

В основу современной теории пластической деформации взяты следующие положения:

- скольжение распространяется по плоскости сдвига последовательно, а не одновременно;
- скольжение начинается от мест нарушений кристаллической решетки, которые возникают в кристалле при его нагружении.

Схема механизма деформации представлена на рис.14 а.

В равновесном состоянии дислокация неподвижна. Под действием напряжения экстраплоскость смещается справа налево при незначительном перемещении атомов. Нижняя часть плоскости P/S (SR) сместится вправо и совместится с нижним краем экстраплоскости PQ.

QR- остаточная деформация.

При дальнейшем движении дислокация пройдет всю плоскость скольжения и выйдет на поверхность зерна. При этом верхняя часть зерна сдвинута относительно нижней на один межатомный период решетки (рис. 14 б).

При каждом перемещении дислокации на один шаг необходимо разорвать связь только между двумя рядами атомов в плоскости P/S, а не между всеми атомами, расположенными выше и ниже плоскости скольжения. Необходимое сдвиговое напряжение при этом мало, равно практически действительному.

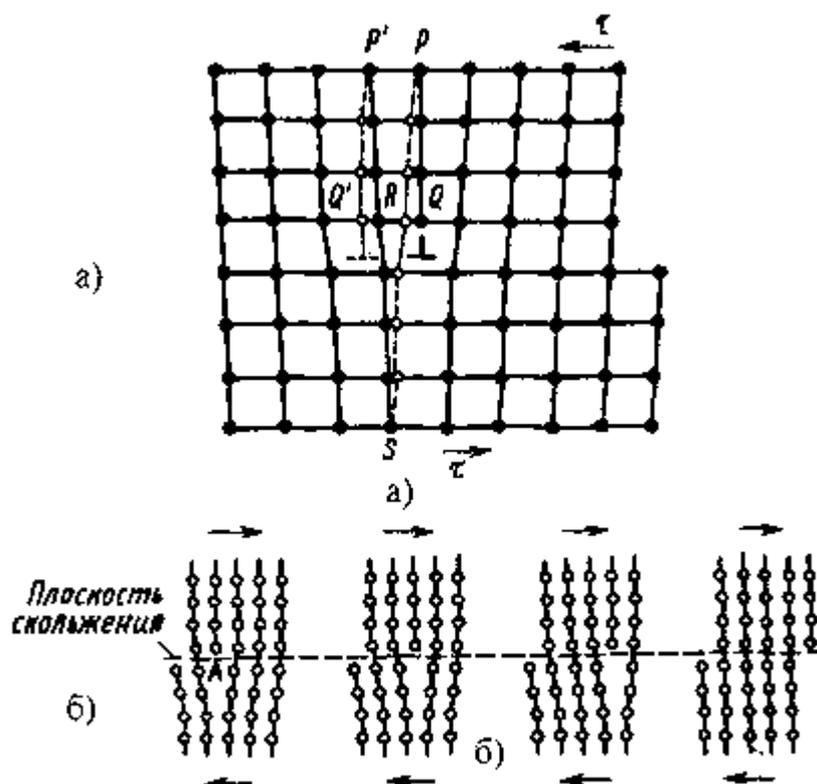


Рис. 14- Схема дислокационного механизма пластической деформации а – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние; б – перемещение дислокации через весь кристалл

### Разрушение металлов.

Процесс деформации при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Тела разрушаются по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин. Разрушение включает три стадии:

- зарождение трещины,
- ее распространение через сечение,
- окончательное разрушение.

**Различают хрупкое разрушение** – отрыв одних слоев атомов от других под действием нормальных растягивающих напряжений. Отрыв не сопровождается предварительной деформацией. Механизм зарождения трещины одинаков - благодаря скоплению движущихся дислокаций перед препятствием (границы субзерен, фазовые границы), что приводит к концентрации напряжений, достаточной для образования трещины. Когда напряжения достигают определенного значения, размер трещины становится критическим и дальнейший рост осуществляется произвольно.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Величина зоны пластической деформации в устье трещины мала. Скорость распространения хрупкой трещины велика - близка к скорости звука (внезапное, катастрофическое разрушение). Энергоемкость хрупкого разрушения мала, а работа распространения трещины близка к нулю.

**Различают транскристаллитное разрушение** – трещина распространяется по телу зерна, **интеркристаллитное** – по границам зерен (всегда хрупкое).

Результатом хрупкого разрушения является блестящий светлый кристаллический излом с ручьистым строением. Хрупкая трещина распространяется по нескольким

параллельным плоскостям. Плоскость излома перпендикулярна нормальным напряжениям.

**Вязкое разрушение** – путем среза под действием касательных напряжений. Ему всегда предшествует значительная пластическая деформация.

Трещина тупая раскрывающаяся. Величина пластической зоны впереди трещины велика. Малая скорость распространения трещины. Энергоемкость значительная, энергия расходуется на образование поверхностей раздела и на пластическую деформацию. Большая работа затрачивается на распространение трещины. Поверхность излома негладкая, рассеивает световые лучи, матовая (волокнустый) излом. Плоскость излома располагается под углом.

*По излому можно определить характер разрушения.*

### **Механические свойства и способы определения их количественных характеристик (повторение)**

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

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

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

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

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

При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности.

**Прочность** – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению.

Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца  $\Delta l$  (мм) от действующей нагрузки  $P$ , т.е.  $\Delta l = f(P)$ .

Но для получения данных по механическим свойствам перестраивают: зависимость относительного удлинения  $\Delta l$  от напряжения  $\delta$

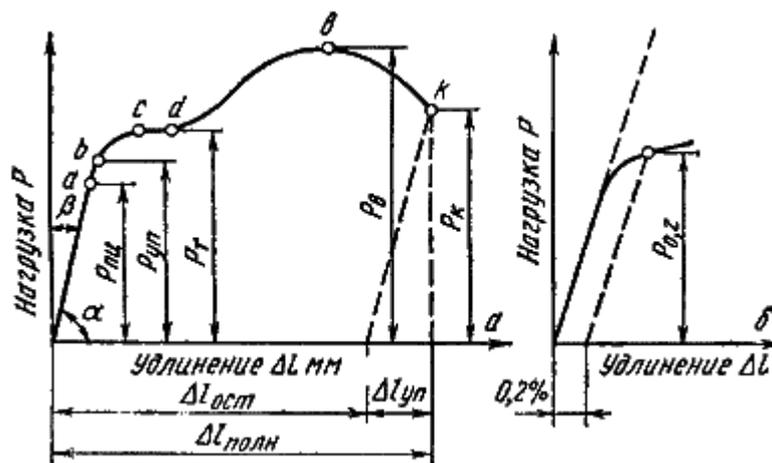


Рис. 15. Диаграмма растяжения: а – абсолютная, б – относительная; в – схема определения условного предела текучести

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца при увеличении нагрузки.

Участок *oa* на диаграмме соответствует упругой деформации материала, когда соблюдается закон Гука. Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке *a*, называется *пределом пропорциональности*.

Предел пропорциональности ( $\sigma_{нч}$ ) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением.

$$\sigma_{нч} = \frac{P_{нч}}{F_0}$$

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения).

Каждому напряжению соответствует остаточное удлинение, которое получаем проведением из соответствующей точки диаграммы растяжения линии параллельной *oa*.

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают *условный предел упругости*, – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005...0,05%).

В обозначении указывается значение остаточной деформации ( $\sigma_{0,05}$ ).

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}$$

*Предел текучести* характеризует сопротивление материала небольшим пластическим деформациям.

В зависимости от природы материала используют физический или условный предел текучести.

*Физический предел текучести* ( $\sigma_{ж}$ ) – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие горизонтальной площадки на диаграмме растяжения). Используется для очень пластичных материалов.

$$\sigma_{ж} = \frac{P_{ж}}{F_0}$$

Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести.

*Условный предел текучести* ( $\sigma_{0,2}$ ) – это напряжение вызывающее остаточную деформацию  $\delta = 0,2\%$



$$\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{F_0}$$

Физический или условный предел текучести являются важными расчетными характеристиками материала. Действующие в детали напряжения должны быть ниже предела текучести.

Равномерная по всему объему пластичная деформация продолжается до значения предела прочности.

В точке *в* в наиболее слабом месте начинает образовываться шейка – сильное местное утомление образца.

*Предел прочности* ( $\sigma_e$ ) – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).

$$\sigma_e = \frac{F_e}{F_0}$$

Образование шейки характерно для пластичных материалов, которые имеют диаграмму растяжения с максимумом.

Предел прочности характеризует прочность как сопротивления значительной равномерной пластичной деформации. За точкой В, вследствие развития шейки, нагрузка падает и в точке С происходит разрушение.

*Истинное сопротивление разрушению* – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца (рис. 16).

$$S_x = \frac{F_x}{F_x}$$

Истинное сопротивление разрушению значительно больше предела прочности, так как оно определяется относительно конечной площади поперечного сечения образца.

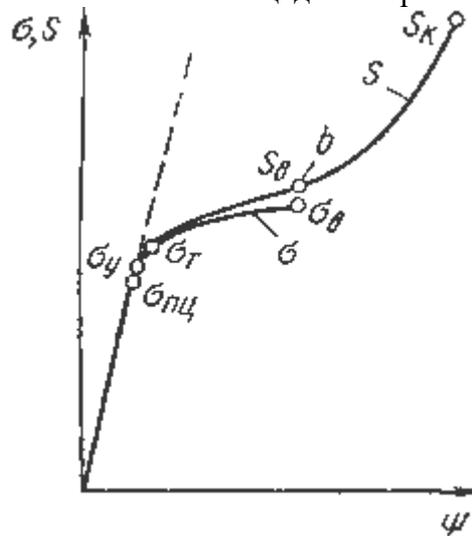


Рисунок 16-. Истинная диаграмма растяжения

$F_x$  - конечная площадь поперечного сечения образца.

Истинные напряжения  $S_i$  определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения в данный момент времени.

$$S_i = \frac{F_i}{F_i}$$

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности.

**Пластичность** — способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности.

Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики:

□ относительное удлинения. ( $\delta$ )

$$\delta = \frac{l_x - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100\%$$

$l_0$  и  $l_x$  — начальная и конечная длина образца.

$\Delta l_{ост}$  — абсолютное удлинение образца, определяется измерением образца после разрыва.

□ относительное сужение

$$\Psi = \frac{F_0 - F_x}{F_0} 100\%$$

$F_0$  — начальная площадь поперечного сечения

$F_x$  — площадь поперечного сечения в шейке после разрыва.

Относительное сужение более точно характеризует пластичность и служит технологической характеристикой при листовой штамповке.

Пластичные материалы более надежны в работе, т.к. для них меньше вероятность опасного хрупкого разрушения.

Применительно к типам кристаллической решётки можно сказать то, что в т.к. металлах с решётками ГЦК и ОЦК значительно больше систем скольжения, чем в металлах с ГПУ, то они обладают повышенной пластичностью.

Кроме того, наиболее пластичными являются чистые компоненты и однофазные твёрдые растворы. Пластичность резко понижается с появлением двухфазных смесей.

### Особенности деформации поликристаллических тел.

Рассмотрим холодную пластическую деформацию поликристалла. Пластическая деформация металлов и сплавов как тел поликристаллических, имеет некоторые особенности по сравнению с пластической деформацией монокристалла.

Деформация поликристаллического тела складывается из 1). деформации отдельных зерен и 2). деформации в приграничных объемах. Отдельные зерна деформируются скольжением и двойникованием, однако взаимная связь зерен и их множественность в поликристалле вносят свои особенности в механизм деформации.

Плоскости скольжения зерен произвольно ориентированны в пространстве, поэтому под влиянием внешних сил напряжения в плоскостях скольжения отдельных зерен будут различны. Деформация начинается в отдельных зернах, в плоскостях скольжения которых возникают максимальные касательные напряжения. Соседние зерна будут разворачиваться и постепенно вовлекаться в процесс деформации. Деформация приводит к изменению формы зерен: зерна получают форму, вытянутую в направлении наиболее интенсивного течения металла (поворачиваются осями наибольшей прочности вдоль направления деформации). Изменение структуры при деформации показано на рис. 17.

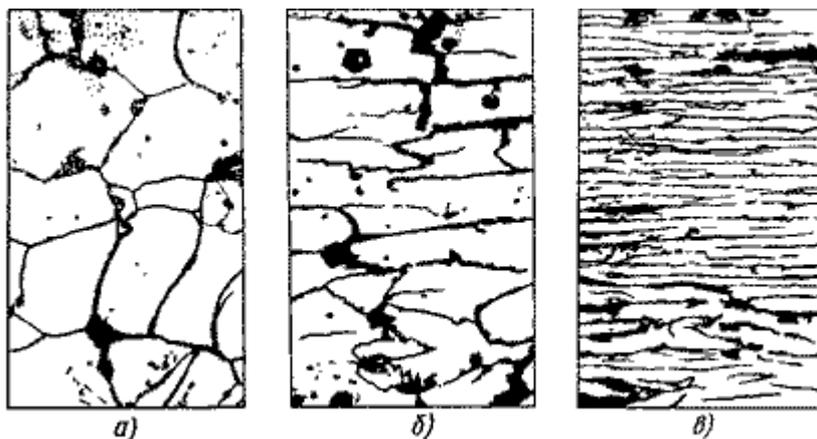


Рисунок 17 Изменение структуры при деформации: а) до деформации; б) после обжатия на 35%; в) после обжатия на 90%.

Металл приобретает волокнистое строение. Волокна с вытянутыми вдоль них неметаллическими включениями являются причиной неодинаковости свойств вдоль и поперек волокон. Одновременно с изменением формы зерен в процессе пластической деформации происходит изменение ориентировки в пространстве их кристаллической решетки.

*Когда кристаллические решетки большинства зерен получают одинаковую ориентировку, возникает **текстура деформации**.*

### Влияние пластической деформации на структуру и свойства металла: наклеп

С увеличением степени деформации характеристики пластичности (относительное удлинение, относительное сужение) и вязкости (ударная вязкость) уменьшаются, а прочностные характеристики (предел упругости, предел текучести, предел прочности) и твердость увеличиваются (рис. 18).

Также повышается электросопротивление, снижаются сопротивление коррозии, теплопроводность, магнитная проницаемость.

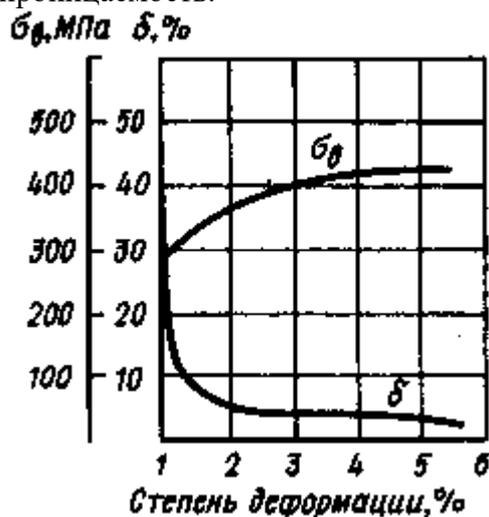


Рисунок 18- Влияние холодной пластической деформации на механические свойства металла

Совокупность явлений, связанных с изменением механических, физических и других свойств металлов в процессе пластической деформации называют *деформационным упрочнением* или **наклепом**.

Упрочнение при наклепе объясняется возрастанием на несколько порядков плотности дислокаций:

$$\rho = 10^6 \dots 10^8 \rightarrow 10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$$

Их свободное перемещение затрудняется взаимным влиянием, также торможением дислокаций в связи с измельчением блоков и зерен, искажениями решетки металлов, возникновением напряжений.

Наклёп понижает плотность металла из-за нарушения порядка в размещении атомов при увеличении плотности дефектов и образовании микропор. Уменьшение плотности используют для увеличения долговечности деталей, которые при эксплуатации подвержены переменным нагрузкам. С этой целью применяют поверхностное пластическое деформирование детали с помощью обдувки дробью или обработки специальным инструментом. Наклёпанный слой стремится расшириться, встречая сопротивление со стороны ненаклёпанных участков детали. В результате в этом слое возникнут напряжения сжатия, а под ним, на большом расстоянии от поверхности, появятся напряжения растяжения. Сжимающие напряжения в поверхностном слое замедляют зарождение усталостной трещины и тем самым увеличивают долговечность деталей.

Наклёпанные металлы легче корродируют и склонны к коррозионному растрескиванию.

### **Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла: возврат и рекристаллизация**

Деформированный металл находится в неравновесном состоянии. Переход к равновесному состоянию связан с уменьшением искажений в кристаллической решетке, снятием напряжений, что определяется возможностью перемещения атомов.

При низких температурах подвижность атомов мала, поэтому состояние наклепа может сохраняться неограниченно долго.

При повышении температуры металла в процессе нагрева после пластической деформации диффузия атомов увеличивается и начинают действовать процессы разупрочнения, приводящие металл в более равновесное состояние – **возврат и рекристаллизация**.

Т.е. процессы, происходящие при нагреве, подразделяют на возврат и рекристаллизацию. В свою очередь, при возврате различают отдых и полигонизацию.

*Возврат.* Небольшой нагрев вызывает ускорение движения атомов, снижение плотности дислокаций, устранение внутренних напряжений и восстановление кристаллической решетки.

Процесс частичного разупрочнения и восстановления свойств называется *отдыхом* (первая стадия возврата). Имеет место при температуре

$$T = (0,25 \dots 0,3) T_{\text{пл.}}$$

Возврат уменьшает искажение кристаллической решетки, но не влияет на размеры и форму зерен и не препятствует образованию текстуры деформации.

*Полигонизация* – процесс деления зерен на части: фрагменты, полигоны в результате скольжения и переползания дислокаций.

При температурах возврата возможна группировка дислокаций одинаковых знаков в стенки, деление зерна малоугловыми границами (рис 19).

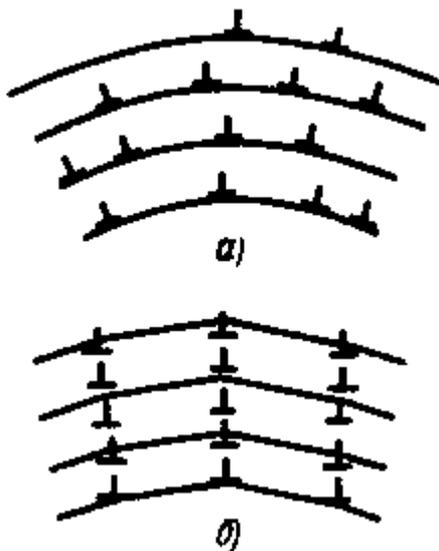


Рисунок 19- Схема полигонизации: *а* – хаотическое расположение краевых дислокаций в деформированном металле; *б* – дислокационные стенки после полигонизации.

В полигонизированном состоянии кристалл обладает меньшей энергией, поэтому образование полигонов — процесс энергетически выгодный.

Процесс протекает при небольших степенях пластической деформации. В результате понижается прочность на (10...15) % и повышается пластичность (рис.20). Границы полигонов мигрируют в сторону большей объемной плотности дислокаций, присоединяя новые дислокации, благодаря чему углы разориентировки зерен увеличиваются (зерна аналогичны зернам, образующимся при рекристаллизации). Изменений в микроструктуре не наблюдается (рис21 а). Температура начала полигонизации не является постоянной. Скорость процесса зависит от природы металла, содержания примесей, степени предшествующей деформации.

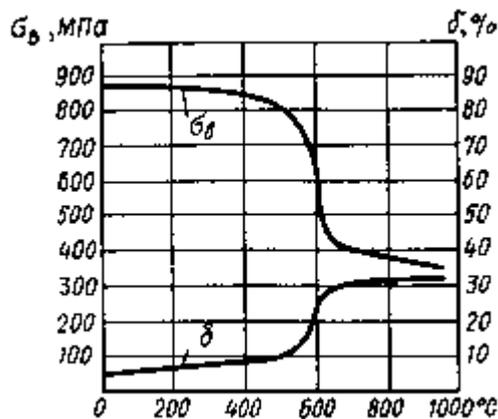


Рисунок 20- Влияние нагрева деформированного металла на механические свойства

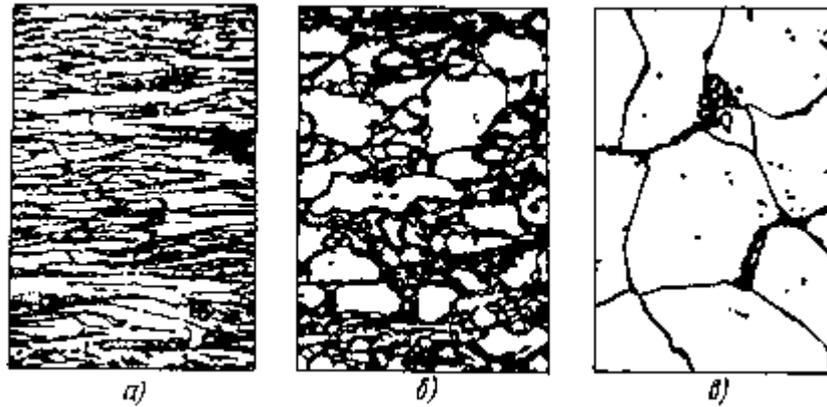


Рисунок 21- Изменение структуры деформированного металла при нагреве

При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов возрастает и происходит *рекристаллизация*.

**Рекристаллизация** – процесс зарождения и роста новых недеформированных зерен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры.

Нагрев металла до температур рекристаллизации сопровождается резким изменением микроструктуры и свойств. Нагрев приводит к резкому снижению прочности при одновременном возрастании пластичности. Также снижается электросопротивление и повышается теплопроводность.

**1 стадия** – первичная рекристаллизация (обработки) заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зерна возникают у границ старых зерен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зерен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зерен.

Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Система стремится перейти в устойчивое состояние с неискаженной кристаллической решеткой.

**2 стадия** – собирательная рекристаллизация заключается в росте образовавшихся новых зерен.

Движущей силой является поверхностная энергия зерен. При мелких зернах поверхность раздела большая, поэтому имеется большой запас поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, и система переходит в более равновесное состояние.

Температура начала рекристаллизации связана с температурой плавления

$$T_{рек} = \alpha T_{пл},$$

для металлов  $\alpha = 0,4$

для твердых растворов  $\alpha = 0,5...0,8$

для металлов высокой чистоты  $\alpha = 0,1...0,2$

На свойства металла большое влияние оказывает размер зерен, получившихся при рекристаллизации. В результате образования крупных зерен при нагреве до температуры  $t_1$  начинает понижаться прочность и, особенно значительно, пластичность металла.

Основными факторами, определяющими величину зерен металла при рекристаллизации, являются температура, продолжительность выдержки при нагреве и степень предварительной деформации (рис. 22).

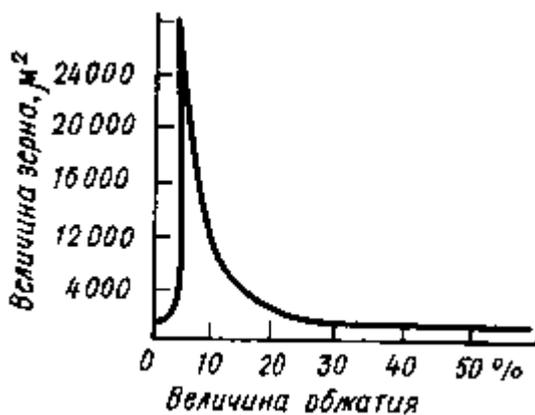


Рисунок 22- Влияние предварительной степени деформации металла на величину зерна после рекристаллизации

С повышением температуры происходит укрупнение зерен, с увеличением времени выдержки зерна также укрупняются. Наиболее крупные зерна образуются после незначительной предварительной деформации 3...10 %. Такую деформацию называют **критической**.

**Контрольные вопросы.**

1. Что называется деформацией?
2. Какие виды деформации вы знаете? Приведите примеры.
3. Как осуществляется пластическая деформация в кристалле? Назовите две разновидности пластической деформации.
4. Дайте понятия «монокристалл» и «поликристалл».
5. Что такое «нагартовка» - «наклёп»?
6. Как вы понимаете понятие «текстура»?
7. Каким образом получают нагартованную текстуру?
8. Какие отрицательные свойства появляются у металла после нагартовки?
9. Что такое «возврат»? Виды возврата нагартованного металла.
10. Что такое «рекристаллизация»? Какие вам известны стадии рекристаллизации?
11. Медь имеет решётку ГЦК, а цинк - ГПУ. Какой из этих металлов пластичней?
12. Стальная проволока для тросов производится методом холодной вытяжки. Чем объясняется высокая прочность тросов?

**Задание.**

Зарисуйте таблицу «Явления возврата и рекристаллизации наклёпанного металла» и заполните её.

Параметры	Наклёпанный металл	Возврат		Рекристаллизация	
График изменения мех. свойств: предела прочности....					

твёрдости, пластичности...					
График изменения размера зёрен					
Рисунок текстуры					

### Формирование структуры литых материалов.

#### Сущность процессов кристаллизации металлов и сплавов.

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 23.

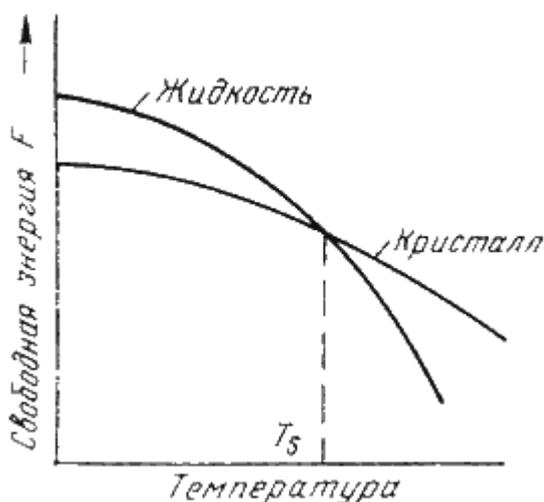


Рисунок 23- Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры  $T_s$  вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже  $T_s$  – в твердом.

При температуре равной  $T_s$  жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура  $T_s$  – *равновесная* или *теоретическая температура кристаллизации*.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры  $T_s$ . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется *фактической температурой кристаллизации*.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется *переохлаждением*, которое характеризуется *степенью переохлаждения* ( $\Delta T$ ):



$$\Delta T = T_{\text{теор}} - T_{\text{фр}}$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твердое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

*Кристаллизация* – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 24.

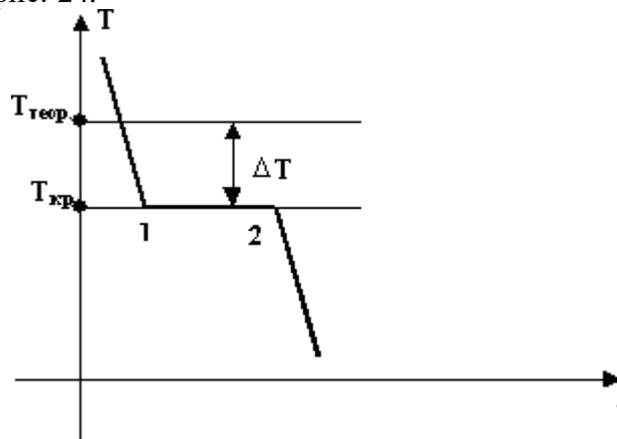


Рисунок 24- Кривая охлаждения чистого металла

$T_{\text{теор}}$  – теоретическая температура кристаллизации;

$T_{\text{фр}}$  – фактическая температура кристаллизации.

*Процесс кристаллизации чистого металла:*

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется *скрытой теплотой кристаллизации*. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

### Механизм и закономерности кристаллизации металлов.

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – *центры кристаллизации* или *зародыши*. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером*, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии

на образование поверхности раздела. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис. 25.

Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

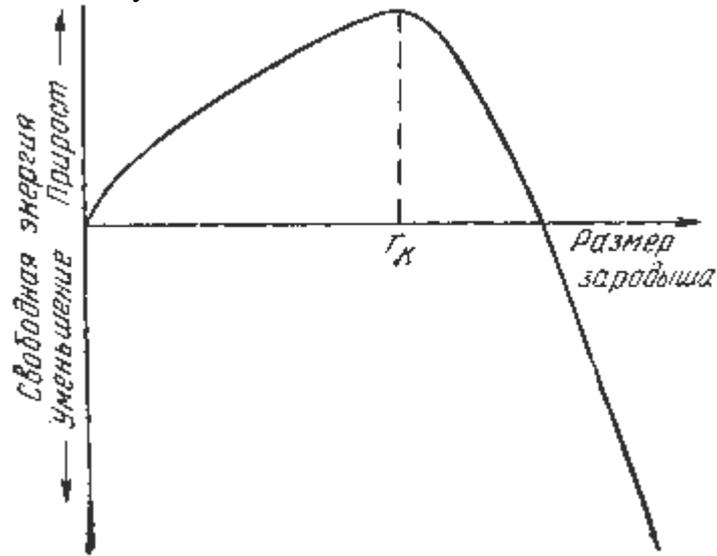


Рисунок 25 - Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы

Механизм кристаллизации представлен на рис.26.

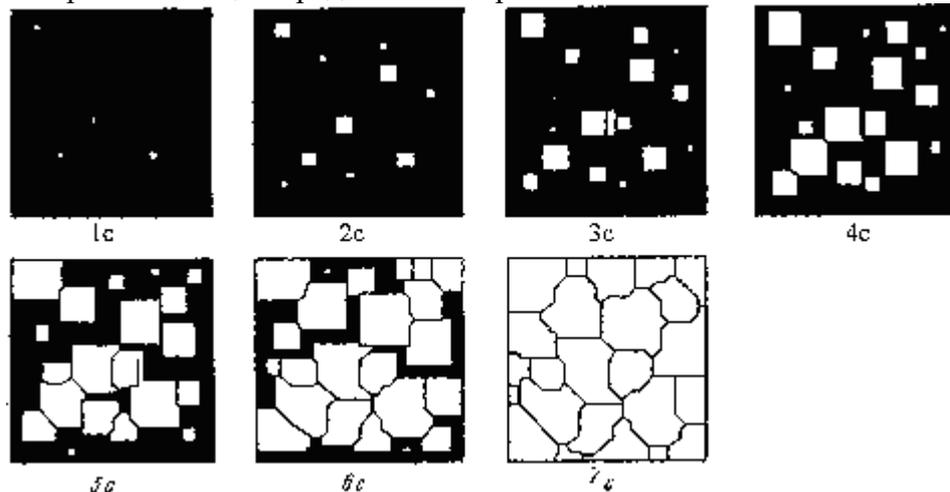


Рисунок 26- Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рис.27).

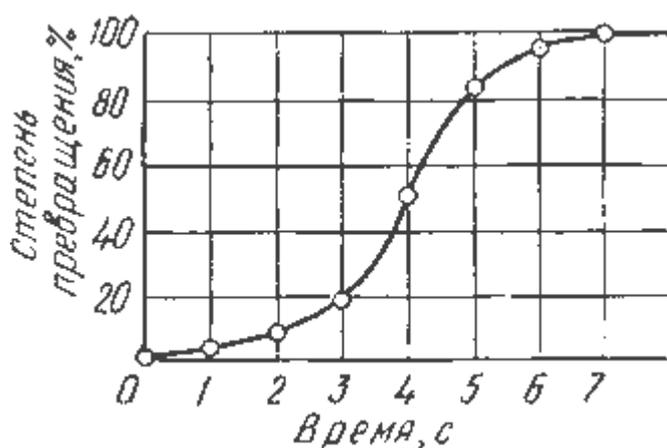


Рисунок 27- Кинетическая кривая процесса кристаллизации

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 28).

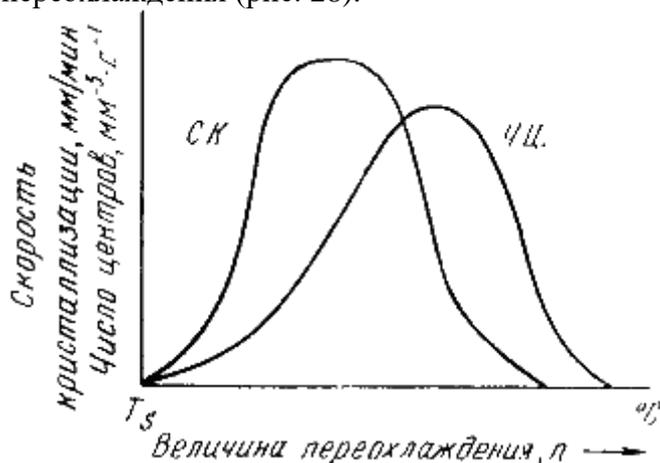


Рисунок 28- Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации  $T_s$  число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей  $t.a$ , то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая).

При переохлаждении до температуры соответствующей  $t.b$  – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

## Условия получения мелкозернистой структуры

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате *модифицирования*, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – *модификаторы*,

По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.

2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осаждаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

## Особенности строения металлического слитка

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис.29.

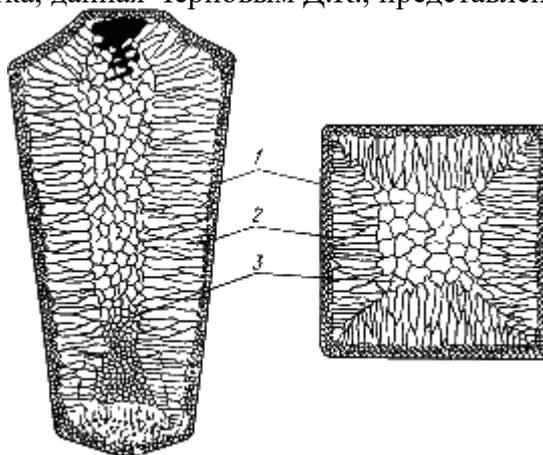


Рисунок 29- Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

1. мелкокристаллическая корковая зона;
2. зона столбчатых кристаллов;
3. внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 30). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

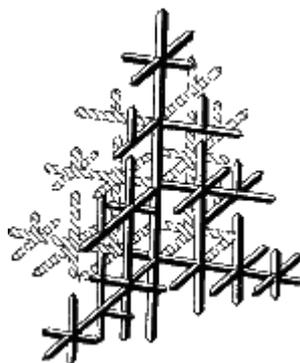


Рисунок 30- Схема дендрита по Чернову Д.К.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется *транскристаллизацией*.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

Методы исследования металлов: структурные и физические

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

#### ***Структурные методы исследования.***

Применяют макроскопический и микроскопический анализ, рентгеноструктурный анализ.

#### **Определение химического состава.**

Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют *спектральный анализ*.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом.

Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов.

Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает *рентгеноспектральный анализ*.

Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

#### ***Физические методы исследования***

1. *Термический анализ* основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2. Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

### 3. Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

## Понятие о ликвации.

Слитки сплавов имеют неоднородный состав. Например, в стальных слитках по направлению от поверхности к центру и снизу вверх увеличивается концентрация углерода и вредных примесей – серы и фосфора. *Химическая неоднородность* по отдельным зонам слитка называется *зональной ликвацией*. Она отрицательно влияет на механические свойства. В реальных слитках помимо зональной встречаются и другие виды ликвации. *Дендритная ликвация* свойственна сплавам с широким температурным интервалом кристаллизации. *Гравитационная ликвация* образуется в результате разницы в плотностях твердой и жидкой фаз: например, в антифрикционном сплаве олова с сурьмой – твердая фаза ( кристаллы сурьмы ) опускаются на дно слитка, а эвтектика всплывает вверх.

## Аллотропические превращения железа при нагреве и охлаждении. Гистерезис.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется *аллотропией или полиморфизмом*.

Каждый вид решетки представляет собой *аллотропическое видоизменение* или *модификацию*.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

$Fe: t < 911^{\circ}C$  – ОЦК -  $Fe_{\alpha}$ ;

$911 < t < 1392^{\circ}C$  – ГЦК -  $Fe_{\beta}$ ;

$1392 < t < 1539^{\circ}C$  – ОЦК -  $Fe_{\delta}$ ; (высокотемпературное  $Fe_{\alpha}$  )

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

## Магнитные превращения

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа –  $768^{\circ}\text{C}$ ). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

## Получение монокристаллов.

Монокристаллы отличаются минимальными структурными несовершенствами. Получение монокристаллов позволяет изучать свойства металлов, исключив влияние границ зёрен. Применение в монокристаллическом состоянии германия и кремния высокой чистоты даёт возможность использовать их полупроводниковые свойства и свести к минимуму неконтролируемые изменения электрических свойств.

Монокристаллы можно получить, если создать условия для роста кристалла только из одного центра кристаллизации.

## Свойства аморфных металлов.

При высоких скоростях охлаждения из жидкого состояния (более  $10^{-6}$  С/сек) диффузионные процессы настолько замедляются, что подавляется образование зародышей и рост кристаллов. В этом случае образуется аморфная структура. Материалы с такой структурой получили название *аморфные металлические сплавы* (АМС), или *металлические стёкла*. Затвердевание с образованием аморфной структуры принципиально возможно практически у всех металлов.

Контрольные вопросы.

1. В чём разница между первичной и вторичной кристаллизацией металлов?
2. Что показывают кривые охлаждения и как они строятся?
3. Что характеризует горизонтальный участок на кривой охлаждения простых металлов?
4. Почему на кривых охлаждения аморфных веществ нет горизонтального участка?
5. Каков механизм процесса кристаллизации?
6. При каком строении металлов обеспечивается высокая прочность и сопротивляемость ударным нагрузкам?
7. Почему перегорает нить лампочки накаливания?(..с ростом зерна..)
8. Как получить мелкозернистое строение металлов и сплавов?
9. Что представляют из себя дендриты?
10. Охарактеризуйте монокристаллы.
11. Что такое гистерезис?
12. Аллотропия? Полиморфизм?
13. Что такое аморфные металлы?
14. Какие процессы характеризует точка Кюри?

## Виды, строение и свойства сплавов

### Виды сплавов

С незапамятных времен люди, совершенствуясь в обращении с металлами, сделали очень важное открытие: если расплавить два металла (или их руды) вместе и дать жидкой массе застыть, то получится новый сплав со свойствами отличными от свойств исходного материала. Так были открыты древние бронзы – сплавы меди с оловом, свинцом, мышьяком. Орудия из бронзы намного превосходили медные и долго удерживали за собой пальму первенства. Но в третьем тысячелетии до нашей эры началось постепенное вытеснение бронз железом, которое было еще практичнее. Вначале его распространение сдерживалось исключительной дороговизной – железо ценилось буквально на вес золота. Открытие дешевых способов выплавки положило начало триумфальному шествию железа и особенно его сплавов, которое продолжается и по сей день.

Чистые металлы в технических устройствах используются крайне редко по причине их фиксированных физико-химических и эксплуатационных свойств. Последние можно существенно изменять в широком диапазоне с помощью добавки в них других элементов, т. е. путем создания сплавов. Такие добавки, иногда даже в незначительном количестве, кардинально изменяют свойства металлов. Например, чистый цирконий легко пропускает нейтроны. Поэтому из него изготавливают оболочки урановых стержней для реакторов. Однако, присутствие в цирконии гафния в количестве всего 0,02 % снижает нейтронную прозрачность в 6...7 раз. Добавки того же циркония в стали и бронзы повышает их тепло и электропроводность до уровня меди.

Сплавами называются материалы, полученные путем диффузии элементов одного компонента в другой, то есть взаимное проникновение их атомов с образованием новых однородных веществ, называемых фазами. Следовательно, фаза – это однородная часть сплава, имеющая определенный состав, свойства, тип кристаллической решетки и границу раздела, при переходе которой свойства скачкообразно изменяются (рис.31).



Рисунок 31 - Виды систем сплавов: а – однофазная; б – трехфазная; в – двухфазная;

[Grid] – жидкий расплав; [Black] – кристаллы компонента А; [White] – кристаллы компонента Б

Диффузия компонентов может происходить в жидком, твердом или газообразном состоянии. Как правило, металлические сплавы получают путем расплавления двух или нескольких компонентов с последующей кристаллизацией.

В зависимости от числа компонентов, сплавы могут быть двух, трех или многокомпонентными. Компоненты в сплаве, находящиеся в жидком виде, пребывают обычно в атомарном состоянии, образуя неограниченный раствор с одинаковыми химическими свойствами по всему объему (однофазная система).

В процессе кристаллизации атомы образуют твердый сплав, при этом взаимодействие между ними может быть различным (рис. 32).





Рисунок 32- Виды сплавов

При образовании сплавов в виде механической смеси атомы каждого компонента формируют свои кристаллические решетки и образуют смесь кристаллов двух или нескольких чистых компонентов (рис.33). Свойства механических смесей – средние между свойствами элементов, которые их образуют. Так, если один элемент имеет высокую твердость, а другой низкую, то чем больше будет твердого элемента, тем выше твердость сплава.

Твердые растворы являются системами однородными, имеют кристаллическую решетку элемента растворителя, то есть компонента, на основе которого формируется сплав, а атомы компонента растворимого или внедряются в решетку растворителя, или частично замещают его места. В первом случае образуется твердый раствор внедрения, а во втором – твердый раствор замещения.

Образование общей кристаллической решетки из атомов разных элементов, имеющих различные диаметры, ведет к искажению решетки, изменению энергетического состояния атомов. В этой связи свойства сплавов отличаются от свойств элементов, из которых они состоят.

В твердых растворах внедрения атомы растворенного элемента распределяются в решетке растворителя (рис. 34). Это возможно, если внедряемые атомы имеют малые размеры. Все твердые растворы внедрения обладают ограниченной растворимостью.

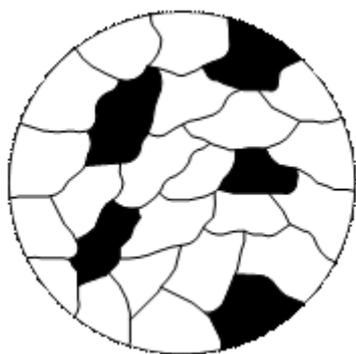


Рисунок 33- Схема микроструктуры механической смеси: ■ – кристаллы компонента А; □ – кристаллы компонента Б

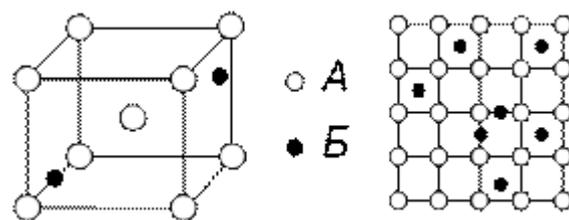


Рисунок 34- Схема решетки твердого раствора внедрения: А – атом компонента растворителя; Б – атом компонента растворимого

Если у металлов с одинаковыми кристаллическими решетками атомные радиусы отличаются существенно, то это ведет к большому искажению решетки и накоплению в ней упругой энергии. Когда искажения достигают очень большой величины, решетка становится неустойчивой и наступает предел растворимости. Твердые растворы вычитания образуются на основе химических соединений. В этом случае при кристаллизации формируется решетка химического соединения  $A_mB_n$ , а избыточное количество атомов одного из компонентов (например, А) заменяет в решетке какое-то

количество атомов компонента В. Возможно растворение в химическом соединении и третьего элемента С. В этом случае атомы компонента С заменяют в узлах решетки атомы компонентов А или В.

Иногда твердые растворы на основе химического соединения получаются путем образования пустых мест в узлах кристаллической решетки. Такие растворы называются твердыми растворами вычитания.

Твердые растворы внедрения и замещения обозначаются символами  $A(B)$ , где А – компонент растворитель, а В – компонент растворимое. Например, ограниченный твердый раствор углерода в железе обозначается  $Fe(C)$ . При кристаллизации такого раствора формируется решетка железа, а атомы углерода внедряются в эту решетку.

Химическое соединение – это однородная система, у которой кристаллическая решетка отличается от решеток формирующих ее компонентов.

При образовании химического соединения соотношение атомов элементов его составляющих соответствует стехиометрической (от греч. stoicheion – элемент и ...метрия) пропорции, то есть имеет место количественное соотношение между массами веществ, вступающих в химическую реакцию. В общем виде химическое соединение двух элементов можно обозначить простой формулой  $A_nB_m$ .

Химическое соединение имеет определенную температуру плавления. Его свойства (изменяющиеся скачкообразно) резко отличаются от свойств входящих в него элементов.

В случае образования химического соединения только металлическими элементами образуется металлическая связь, а при образовании соединения металла с неметаллом – ионная.

### **Диаграммы состояния двойных сплавов**

1. Порядок построения диаграмм
2. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (I рода)
3. Правило отрезков
4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях (II рода)
5. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком состоянии и ограничено в твердом (III рода)
6. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой в твердом виде образуют устойчивые химические соединения (IV рода)
7. Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов

При установлении режимов горячей обработки сплавов (прокатки,ковки,штамповки, прессования и др.), термической обработки (отжига, закалки, нормализации и др.) необходимы сведения о превращениях структуры, ее количественных и качественных изменениях при изменении температуры. Для оценки свойств сплава важно знать не только структуру фаз, но и доли массы, которую они занимают.

Если в твердом состоянии при изменении температуры не происходит изменений в строении сплава, то термическая обработка в большинстве случаев теряет смысл.

Графическую зависимость состояния сплавов определенной системы от концентрации компонентов (химического состава) и температуры устанавливают диаграммы состояний.

По диаграмме можно определить, при какой температуре происходит затвердевание сплава, какие превращения происходят при нагреве и охлаждении, количественный и качественный состав фаз и др.

Диаграмма двухкомпонентного сплава строится в двух измерениях: температура – концентрация. По оси ординат откладывается температура, а по оси абсцисс – концентрация. Общее содержание компонентов в любом сплаве составляет 100%. Левая крайняя точка А по оси концентраций соответствует 100% содержанию компонента А. Процентное содержание второго компонента откладывается по этой оси слева направо. Правая крайняя точка В соответствует 100% содержанию второго компонента В. Каждая промежуточная точка на оси абсцисс соответствует определенному содержанию сплава. Например, в точке С сплав состоит из 40% компонента В и 60% компонента А. В точке Д – 80% компонента В и 20% компонента А, и т.д. Следовательно, по мере удаления от точки А увеличивается количество компонента В и наоборот.

Ось ординат показывает изменение температуры и каждая точка на оси (например, точка Е) соответствует определенному фазовому состоянию рассматриваемого сплава при определенной температуре ( $T_E$ ).

### 2.2.1. Порядок построения диаграмм

Диаграммы состояния обычно строятся по экспериментальным данным термического анализа и исследованию структур сплавов в твердом состоянии.

Из исследуемых компонентов изготавливается серия сплавов разного химического состава и для каждого из них строится кривая охлаждения. Температура измеряется обычно термопарой (рис. 18). В нагревательное устройство 1 помещается тигель 2, в котором находится исследуемый сплав. После его расплавления в тигель погружается горячий спай термопары 3 и производится медленное охлаждение. Через определенные промежутки времени производится фиксация температуры и строится кривая охлаждения (рис. 19). Из рисунка видно, что на кривой имеется две характерные точки:  $t_1$  и  $t_2$ . При  $t_1$  падение температуры сплава замедляется. Это свидетельствует о том, что начался процесс с выделением такого количества тепла, которое частично компенсирует тепло, отводимое в окружающую среду. При температуре  $t_2$  выделение тепла идет настолько интенсивно, что компенсирует потери в окружающее пространство полностью. В данном случае при температуре  $t_1$  начинается кристаллизация сплава, а при температуре  $t_2$  заканчивается. Эти температуры называются критическими температурами или критическими точками.

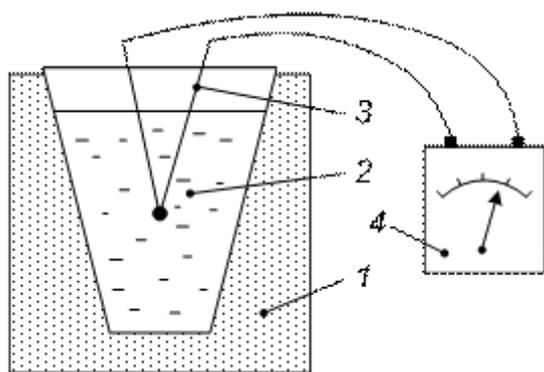


Рисунок 35- Схема установки для построения кривых охлаждения: 1 – нагревательное устройство; 2 – тигель; 3 – термопара; 4 – гальванометр

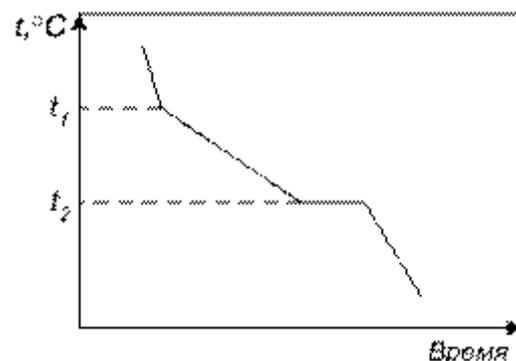


Рисунок 35- Кривая охлаждения сплава

Рассмотрим построение диаграммы на конкретном примере. Пусть имеется сплав состоящий из двух компонентов А и В, которые неограниченно растворимы в жидком состоянии, но в твердом взаимно не растворимы и не образуют друг с другом химических соединений. Из этих двух компонентов создана серия сплавов различного химического состава и для них получены критические температуры начала ( $t_1$ ) и конца ( $t_2$ ) кристаллизации (табл. 2).

По данным табл. 1 строятся кривые охлаждения каждого сплава (рис. 36, а). Верхние точки кривых (1,1') соответствуют температурам начала затвердевания сплавов и называются температурами ликвидуса. Нижние точки (2,2') соответствуют температурам конца затвердевания и носят название температур солидуса.

При построении диаграммы состояния сплавов на планшет в координатах «температура – концентрация» наносятся значения критических температур для каждого исследуемого сплава (рис. 36, б). Затем соединяя точки начала кристаллизации получают линию ликвидус (СДЕ), а при соединении точек конца кристаллизации – линию солидус (ФДК). Таким образом, линии ликвидус и солидус представляют собой семейство точек соответствующих началу и концу кристаллизации многочисленных сплавов с различным содержанием компонентов. Выше температур, образующих линию ликвидус все сплавы данной системы находятся в жидком состоянии, а ниже линии солидус – в твердом. При температурах между этими линиями сплавы находятся в полужидком состоянии, т.е. в жидком расплаве находятся твердые фазы.

Таблица 2

**Температуры начала и конца кристаллизации сплавов**

Номер сплава	Состав сплава	Температура кристаллизации	
		Начала $t_1$ , °С	Конца $t_2$ , °С
I	100 % А	350	350
II	90 % А + 10 % В	325	170
III	70 % А + 30 % В	240	170
IV	60 % А + 40 % В	170	170
V	40 % А + 60 % В	300	170
VI	10 % А + 90 % В	420	170
VII	100 % В	450	450

Следовательно, диаграмма показывает состояние сплава при любом соотношении содержания компонентов А и В и при любой температуре.

Диаграммы дают возможность определять, какую структуру будут иметь медленно охлажденные сплавы, а также решать вопросы термической обработки, выясняя возможно ли при ее выполнении изменение микроструктуры. А поскольку технологические и эксплуатационные свойства сплавов тесно связаны с их микроструктурой, то для практического металловедения диаграммы играют очень большую роль.

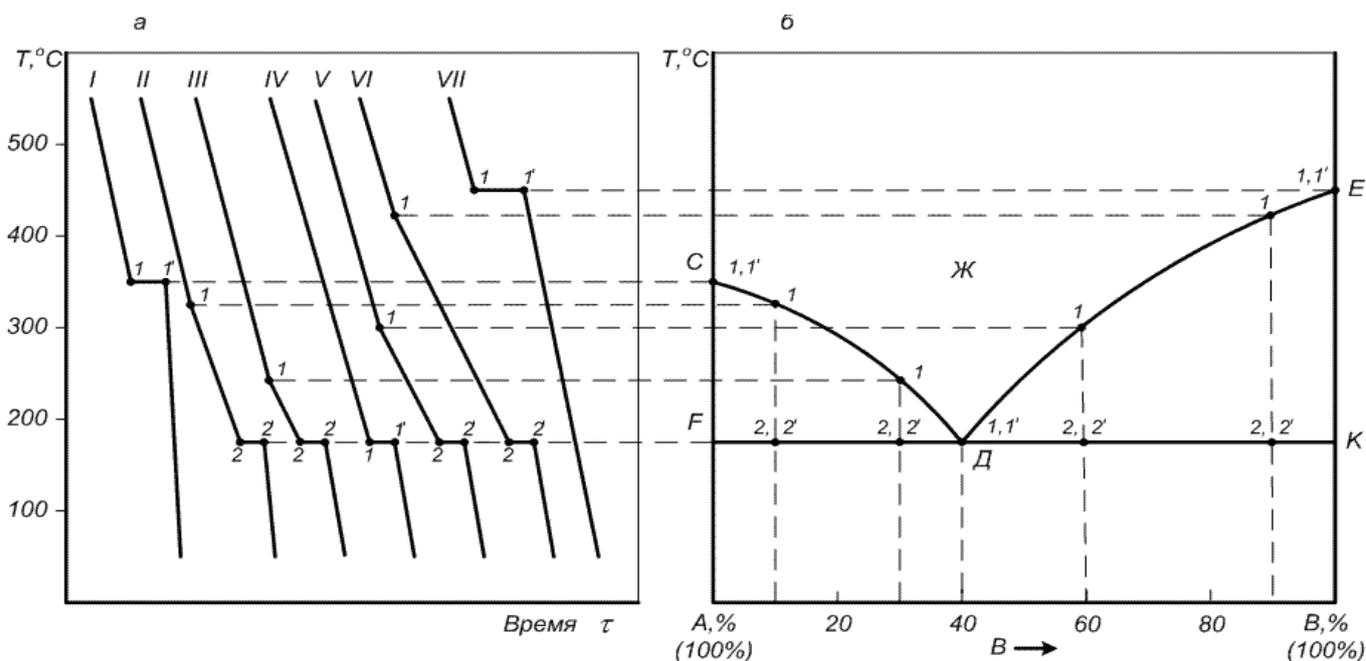


Рисунок 36- Порядок построения диаграммы состояния: а- кривые охлаждения сплавов; б- диаграмма состояния двухкомпонентного сплава

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (I рода)

Общий вид диаграммы приведен на рис. 21. Компоненты: компонент А и компонент В; фазы: жидкость Ж, кристаллы компонента А и кристаллы компонента В.

Линия СДЕ – линия ликвидус, линия FДК – линия солидус.

Наиболее характерным на диаграмме является сплав, кристаллизующийся в точке Д с одновременным выделением кристаллов компонента А и компонента В. Такая механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизующихся из жидкой фазы, называется эвтектикой, т. е. легкоплавящейся (от греч. eutektos). Эвтектика образуется при строго определенном количественном соотношении компонентов (в данном случае соответствующем точке d). Следовательно сплав I при охлаждении до температуры, соответствующей точке Д имеет жидкую фазу, а в точке Д кристаллизуется в эвтектику, которая обозначается Эвт [А+В] (рис. 37, а). Сплавы диаграммы, находящиеся левее эвтектического, называются доэвтектическими, а правее – заэвтектическими.

В доэвтектическом сплаве II (рис. 36) при охлаждении до температуры, соответствующей точке 1, начинают выделяться кристаллы компонента А. Следовательно, концентрация этого компонента в остающейся жидкой фазе понижается.

При достижении температуры солидуса (линия FДК) концентрация компонентов жидкой составляющей будет соответствовать эвтектической, в результате чего по окончании кристаллизации сплав образует эвтектику с находящимися в ней кристаллами чистого компонента А (рис. 37, б).

Процесс кристаллизации заэвтектического сплава III протекает аналогично сплаву II (рис. 37 в). Разница состоит лишь в том, что при температуре ликвидус (точка 3) из жидкой фазы выделяются кристаллы чистого компонента В. По окончании кристаллизации сплав состоит из эвтектики Эвт [А+В] с расположенными в ней кристаллами компонента В (рис. 37, в).

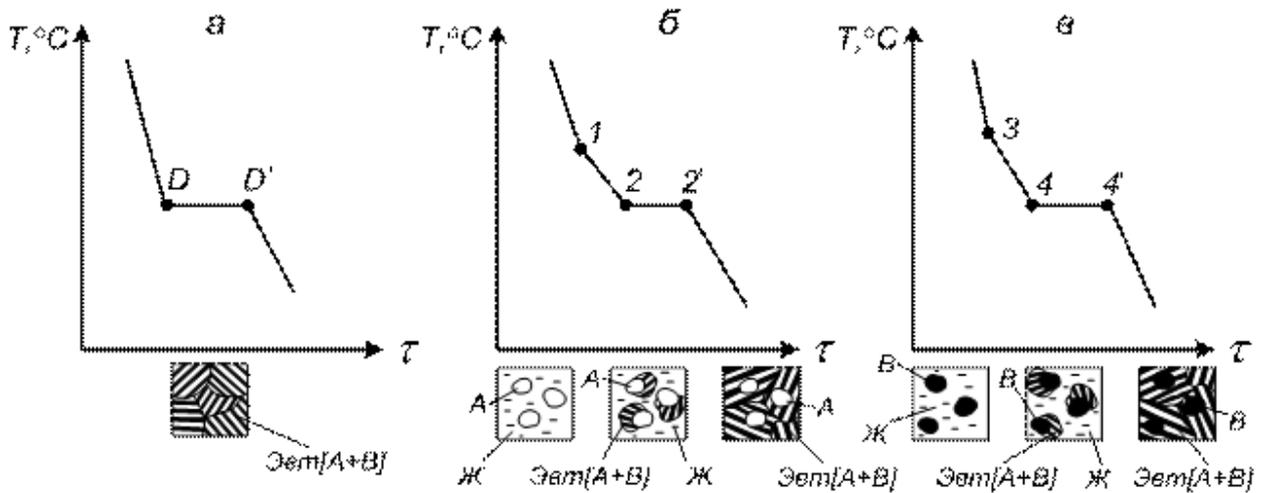


Рисунок 37- Кривые охлаждения сплавов: а – эвтектического; б – доэвтектического; в – заэвтектического

Правило отрезков

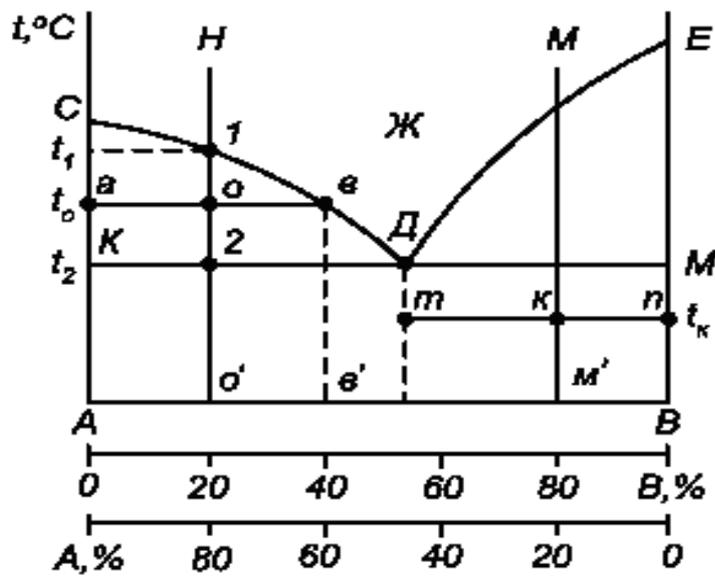


Рисунок 38- Диаграмма состояния двухкомпонентного сплава

Процессе кристаллизации при понижении температуры количество и концентрация фаз постоянно изменяются. Так сплав Н (рис. 29) при температуре выше  $t_1$  находится в однофазном жидком состоянии. При температуре ниже  $t_1$  из жидкого расплава начинают выделяться твердые кристаллы компонента А и сплав переходит в двухфазное состояние. При дальнейшем понижении температуры количество твердой фазы увеличивается в результате чего концентрация компонента А в жидкой фазе уменьшается, а компонента В повышается. При температуре  $t_0$  концентрация компонента А в жидкой фазе определяется проекцией точки в, т.е. отрезок Вв/ показывает максимальное количество компонента А в жидкой фазе при температуре  $t_0$ .

При понижении температуры до  $t_2$  (точка 2) оставшийся жидкий сплав достигает эвтектической концентрации. Таким образом, при охлаждении сплава Н жидкая фаза изменяет свою концентрацию по линии 1вД, а выделяющиеся кристаллы компонента А имеют постоянный состав с концентрацией соответствующей вертикальной оси АС.

Для характеристики сплава чаще всего требуется не только качественное определение, но и количество его структурных составляющих. Для решения подобных задач используется правило отрезков коноды. Конодой называется горизонтальная линия ав (рис. 38) параллельная оси концентраций, проведенная внутри исследуемой двухфазной области СДК до пересечения ее границ (точки а и в). Точка в граничит с областью жидкой фазы (ж), а точка а находится на вертикальной оси АС, соответствующей чистому компоненту А.

Следовательно, рассматриваемая двухфазная система включает жидкую фазу, состоящую из атомов компонентов А и В, в которой находятся кристаллы компонента А. Спроектировав точку в на ось концентраций, можно определить состав жидкой фазы при данной температуре. Так в сплаве Н при  $t_0$  в жидкой составляющей имеется в наличии 60 % компонента А и 40 % компонента В.

Для определения количества твердой фазы необходимо взять отношение части коноды, примыкающей к области жидкой фазы, к длине всей коноды, а для определения количества жидкой части сплава – отношение отрезка коноды, примыкающей к твердой фазе, к длине всей коноды.

Правило отрезков применимо для любых температур и любых двухфазных областей диаграмм состояний. Например, сплав М, содержащий (точка  $m'$ ) 20 % компонента А и 80 % компонента В при температуре  $t_k$  состоит из эвтектики (точка  $m$ ) и кристаллов компонента В (точка  $n$ ). Количество эвтектики находится из выражения:

$$\text{Эвт [A+B]} = \frac{kn}{mn} 100 \%,$$

а количество компонента В из отношения:

$$B = \frac{mk}{mn} 100 \%.$$

2.2.4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях (II рода)

Компоненты сплавов: компонент А и компонент В; фазы: жидкий раствор Ж и кристаллы твердого раствора □.

Общий вид диаграммы приведен на рис. 39. Линия С1Д – линия ликвидус, линия С2Д – линия солидус.

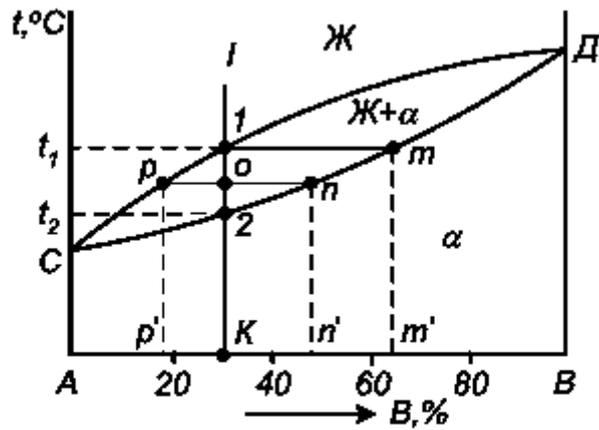


Рис. 24. Диаграмма состояний с неограниченной растворимостью компонентов (II рода)

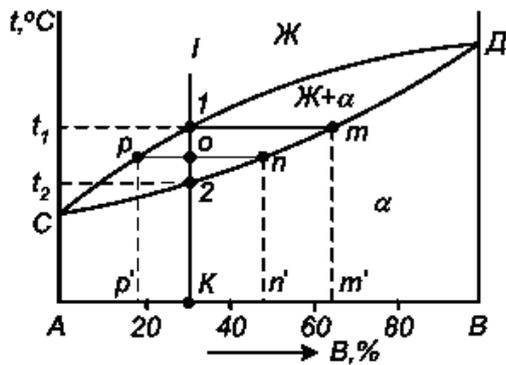


Рисунок 39- Диаграмма состояний с ограниченной растворимостью компонентов (II рода)

Подобные диаграммы характерны для сплавов, состоящих из компонентов с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях. Компоненты таких сплавов имеют одинаковые по типу с близкими параметрами кристаллические решетки.

Рассмотрим кристаллизацию сплава I. При температуре  $t_1$  образуются первые кристаллы твердого раствора состава точки m, т.е. содержащие  $Bm'$  компонента A и  $Am'$  компонента B. Ввиду того, что в образовавшемся твердом растворе компонента B



больше, он является растворителем. Значит в начале кристаллизации выделяются кристаллы  $B(A)$  – твердого раствора компонента  $A$  в компоненте  $B$ . С понижением температуры кристаллы твердого раствора продолжают выделяться. При этом их состав меняется по линии солидуса. Одновременно с изменением состава твердого раствора изменяется и состав жидкой фазы по линии ликвидуса. Следовательно происходит перераспределение атомов компонентов  $A$  и  $B$  между жидкой составляющей и кристаллами твердого раствора. Так, при температуре, соответствующей точке  $O$ , состав твердого раствора определяется точкой  $n$ , а жидкой фазы – точкой  $p$ .

К концу кристаллизации (в условиях равновесия) все кристаллы становятся однородными и имеют состав, соответствующий точке  $K$ . Выравнивание состава кристаллов происходит за счет диффузии, т. е. перемещения атомов компонента  $A$  из жидкого расплава (в котором концентрация  $A$  более высокая) в имеющиеся кристаллы  $B(A)$ .

Однако диффузионные процессы протекают сравнительно медленно. Поэтому в реальных условиях быстрого охлаждения составы различных частей кристаллов полностью выровняться не успевают. Такое различие составов в одних и тех же кристаллах называется внутрикристаллической, или дендритной ликвацией. Дендритную ликвацию можно существенно понизить путем нагрева сплава в твердом состоянии до высоких температур, при которых диффузия протекает более интенсивно и состав зерен выравнивается.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком состоянии и ограниченно в твердом (III рода)

Компоненты сплавов: компонент  $A$  и компонент  $B$ ; фазы: жидкий раствор  $Ж$ , ограниченный твердый раствор  $A(B)$ , кристаллы компонента  $A$  и кристаллы компонента  $B$ . Твердый раствора  $A(B)$  обозначим через  $\square$ .

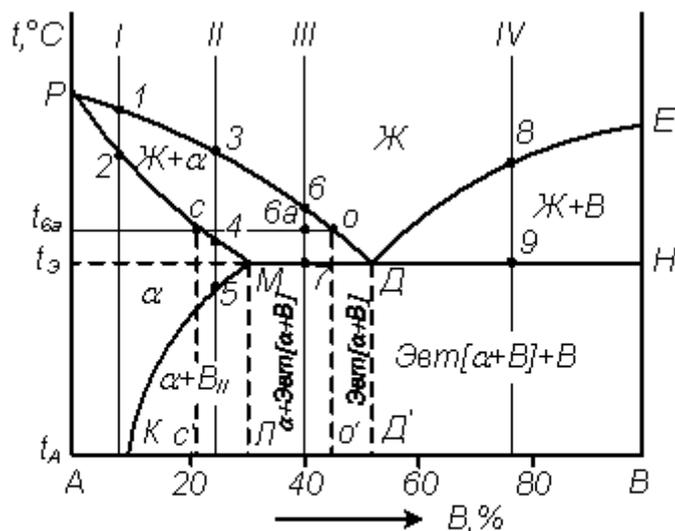


Рис. 25. Диаграмма состояний с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (III рода)

Сплавы с ограниченной растворимостью компонентов в практике встречаются чаще, чем с неограниченной. Ограниченная растворимость состоит в том, что один компонент растворяется в другом до определенного предела. Если растворяемого компонента в сплаве будет больше предела растворимости, то он в твердый раствор не войдет и образуется

механическая смесь насыщенного твердого раствора и кристаллов избыточного компонента. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонента В в компоненте А и отсутствием растворимости А в В приведена на рис. 25.

На этой диаграмме линия РДЕ – линия ликвидуса, линия РМДН – линия солидуса. Линия МДН – линия эвтектики  $[\square + \text{В}]$ . Линия КМ показывает растворимость компонента В в компоненте А. Следовательно, концентрация сплава, соответствующая точке К показывает растворимость В в А при температуре  $t_A$ , а точка М соответствует максимальной растворимости компонента В в компоненте А. Значит сплавы левее КМ состоят из кристаллов ненасыщенного твердого раствора А(В); на самой линии КМ насыщенные кристаллы А(В); правее линии КМ в сплавах кроме насыщенных кристаллов А(В), будут еще кристаллы избыточного компонента В, которые обозначаются  $V_{II}$ .

Рассмотрим процесс кристаллизации некоторых сплавов этой системы. Сплав I начинает кристаллизоваться при понижении температуры ниже соответствующей точки 1 (ликвидус) с выделением кристаллов твердого раствора  $\square$ . При температуре 2 (солидус) кристаллизация заканчивается и сплав в равновесных условиях состоит только из кристаллов твердого раствора  $\square$ . От температуры 2 до полного охлаждения в сплаве никаких структурных изменений не происходит.

В сплаве II в начале кристаллизации (точка 3) из жидкого расплава начинают выделяться кристаллы твердого раствора  $\square$ . Кристаллизация заканчивается при температуре 4. В интервале температур 4–5 сплав состоит только из твердого раствора  $\square$ . Ниже точки 5, ввиду ограниченной растворимости, в компоненте А не может раствориться столько компонента В, сколько его содержится в сплаве. Поэтому избыточный компонент В будет выделяться из  $\square$  в виде вторичных кристаллов  $V_{II}$ . Этот процесс происходит до полного охлаждения сплава и называется вторичной кристаллизацией. В результате после охлаждения сплав состоит из твердого раствора А(В) и очень мелких вторичных кристаллов компонента В, т. е.  $\square + V_{II}$ .

Кристаллизация сплава III начинается при температуре ниже точки 6 с выделением кристаллов  $\square$ . При дальнейшем понижении температуры (между точками 6–7) количество твердого раствора увеличивается и его состав меняется по линии солидус (линия РМ). Состав жидкого раствора также изменяется, но по линии ликвидуса (РД). Так, например, при  $t_{6a}$  состав твердого раствора соответствует точке  $c\square$ , а состав жидкой фазы – точке  $o\square$ . При достижении эвтектической температуры  $t_э$  (точка 7) состав кристаллов  $\square$  соответствует максимальной растворимости В в А (точка М), а жидкий – точке Д. Последний, закристаллизовавшись, образует эвтектику, состоящую из кристаллов  $\square$  состава точки М и кристаллов чистого компонента В: Эвт  $[\square + \text{В}]$ . В итоге после окончания кристаллизации, сплав будет иметь следующий состав:  $\square + \text{Эвт}[\square + \text{В}]$ .

При дальнейшем понижении температуры наступает ограничение растворимости В в А. Из твердого раствора  $\square$  (как в самостоятельной фазе, так и в составе эвтектики) начинают выделяться кристаллы  $V_{II}$ , что ведет к уменьшению компонента В в твердом растворе по линии МК:  $\square + V_{II} + \text{Эвт}[\square + V_{II} + \text{В}]$ . В связи с тем, что очень мелкие кристаллы  $V_{II}$  внутри эвтектики объединяются с кристаллами В в однородные зерна и обычно не обнаруживаются при микроскопических исследованиях окончательный состав сплава III записывается таким образом:  $\square + V_{II} + \text{Эвт}[\square + \text{В}]$ .

Сплав IV на первом этапе кристаллизации выделяет чистый компонент В, количество которого при понижении температуры увеличивается. Состав жидкого раствора изменяется по линии ДЕ и при достижении эвтектической температуры (точка 9) имеет концентрацию компонентов А и В определяемой точкой Д (эвтектическая смесь). В результате по окончании кристаллизации сплав IV имеет состав: Эвт  $[\square + \text{В}] + \text{В}$ .

При дальнейшем охлаждении из-за ограниченной растворимости твердого раствора в составе эвтектики из  $\square$  выделяются кристаллы  $V_{II}$ , которые объединяются с кристаллами

В в однородные зерна. В результате до окончательного охлаждения сплав IV структурно не изменяется.

### 2.2.6. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой в твердом виде образуют устойчивые химические соединения (IV рода)

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

Поэтому свойства химического соединения всегда резко отличаются от свойств этих компонентов. Химическое соединение, как правило, имеет высокую твердость, малую пластичность, большое электросопротивление, относительно низкую теплопроводность. Следовательно, если какие-либо металлы А и В образуют химическое соединение, то оно может быть обозначено простой формулой  $A_nB_m$ , которая показывает, что между собой соединяются n атомов компонента А и m атомов компонента В, образующие одну кристаллическую решетку. На диаграмме состояний этому соединению будет соответствовать определенная ордината.

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

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

На рис. 26 приведена диаграмма состояния двух компонентов образующих одно химическое соединение, в котором оба компонента не растворяются. Компоненты диаграммы: компонент А и компонент В. Фазы: жидкая Ж, кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, кристаллы химического соединения  $A_nB_m$ . Линия СДЕМН – линия ликвидуса, ОДРКМЛ – линия солидуса. Линии ОДР и КМЛ – линии эвтектических превращений. Точка Е соответствует температуре плавления химического соединения  $A_nB_m$ .

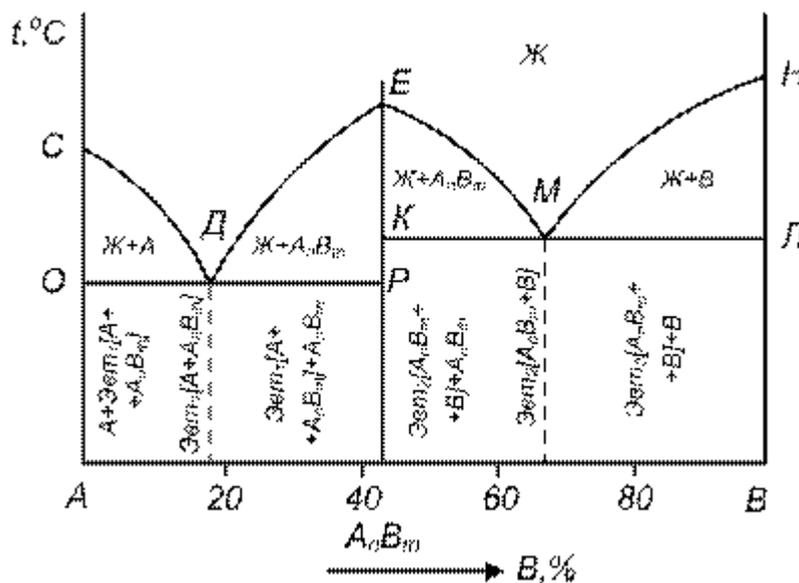


Рис41-. Диаграмма состояния сплавов, образующих устойчивое химическое соединение (IV рода)

Приведенную диаграмму, можно рассматривать как две простые диаграммы первого рода: диаграмму состояния сплавов компонента А и химического соединения  $A_nB_m$  и диаграмму состояния того же химического соединения и компонента В. Следовательно, диаграмма состояния сплавов в случае образования химического соединения раскладывается на две, в каждой из которых химическое соединение играет роль самостоятельного компонента.

Сплав, кристаллизующийся в точке Д, состоит из механической смеси кристаллов компонентов А и  $A_nB_m$ . Эта эвтектика на диаграмме обозначена:  $\text{Эвт}_1 [A+A_nB_m]$ . Кристаллизация сплавов, расположенных левее точки Д, начинается с выделения кристаллов компонента А. При дальнейшем понижении температуры жидкая фаза изменяет концентрацию компонентов по линии СД (ликвидус) и при достижении температуры солидуса (линия ОР) претерпевает эвтектическую реакцию. В результате, до полного охлаждения эти сплавы состоят:  $A+\text{Эвт}_1 [A+A_nB_m]$ .

Кристаллизация сплавов, расположенных правее точки Д, начинается с выделения кристаллов  $A_nB_m$ , а заканчивается на линии ОР образованием  $\text{Эвт}_1 [A+A_nB_m]$ . В итоге после полного охлаждения сплавы имеют:  $A_nB_m+\text{Эвт}_1 [A+A_nB_m]$ .

Сплав, кристаллизующийся в точке М, образует эвтектику:  $\text{Эвт}_2 [A_nB_m+B]$ . Кристаллизация сплавов, расположенных левее точки М начинается с выделения химического соединения  $A_nB_m$ , а расположенных правее – с образования кристаллов компонента В. Заканчивается кристаллизация обеих групп сплавов образованием  $\text{Эвт}_2 [A_nB_m+B]$ . Поэтому сплавы между точками К и М после окончательного охлаждения имеют состав:  $A_nB_m+\text{Эвт}_2 [A_nB_m+B]$ , а сплавы между точками М и Л –  $B+\text{Эвт}_2 [A_nB_m+B]$ .

Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов

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

На рис. 42 приведены зависимости свойств (в частности твердости, НВ) от состава сплава.

В сплавах, имеющих структуру механических смесей (рис. 42, а) кристаллы компонентов А и В полностью сохраняют свои свойства. Поэтому свойства всех сплавов будут изменяться по прямолинейному закону от компонента А до компонента В.

Сплавы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии изменяют свои свойства по криволинейному закону в зависимости от химического состава (рис. 42, б). Кривая на диаграмме «состав – свойства», как правило, имеет максимум. Например, твердость у твердых растворов может быть выше, чем у чистых компонентов.

Если сплавы образуют ограниченные твердые растворы (рис. 42, в), то свойства в области однофазных твердых растворов изменяются по криволинейному закону, а в области механических смесей – по прямолинейному.

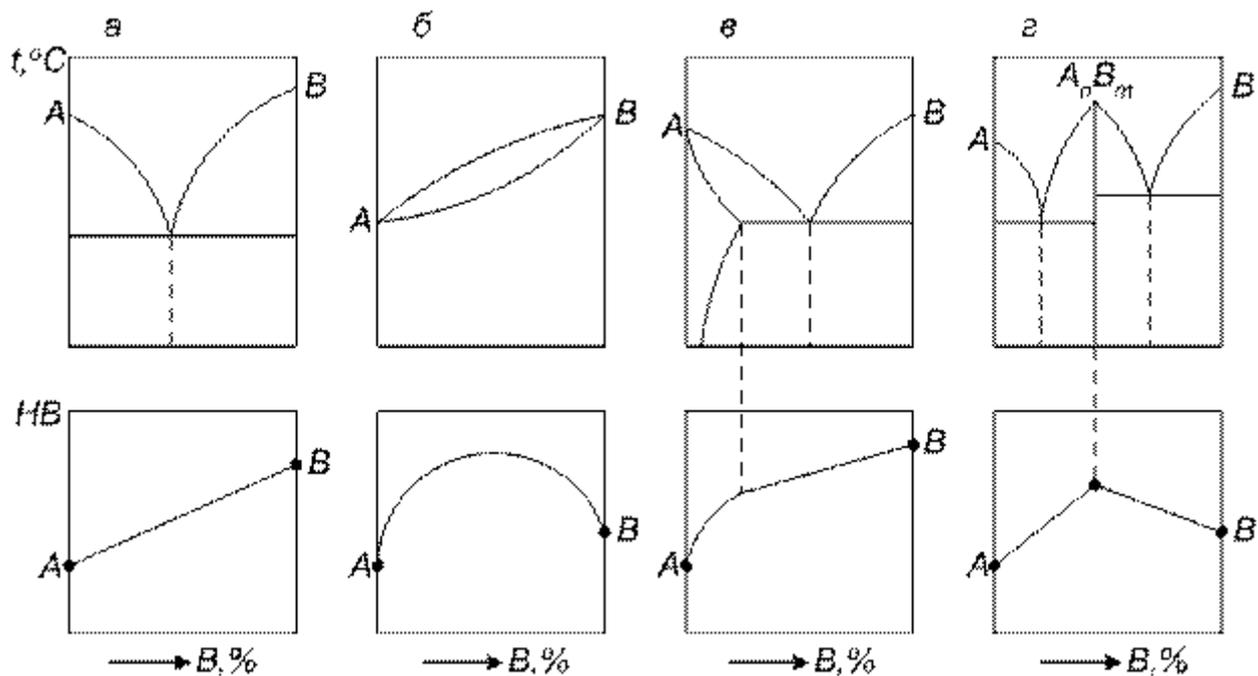


Рисунок 42-. Зависимость твердости сплавов от вида диаграммы состояний

При образовании химического соединения  $A_nB_m$  (рис. 27, г), в котором не растворяются ни компонент А ни компонент В, свойства изменяются по ломаной линии с максимальным значением у химического соединения.

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

## ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ

### Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.

Начало изучению железоуглеродистых сплавов и процессов термической обработки было положено опубликованной в 1868 г. Работой Д.К. Чернова «Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные исследования Д.К. Чернова по этому же предмету». Д.К. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и дал первое представление о диаграмме железо-цементит. В дальнейшем изучению железоуглеродистых сплавов и построению диаграмм железо-углерод были посвящены работы Ф. Осмонда, Ле-Шателье (Франция), Р. Аустена (Англия), А.А. Байкова и Н.Т. Гудцова (Россия), Розенбаума (Голландия), П. Геренса (Германия) и др.

Основными компонентами, от которых зависит структура и свойства железоуглеродистых сплавов, являются железо и углерод. Чистое железо - металл серебристо-белого цвета; температура плавления  $1539^{\circ}\text{C}$ . Железо имеет две полиморфные модификации:  $\alpha$  и  $\gamma$ . Модификация  $\alpha$  существует при температурах ниже  $911^{\circ}\text{C}$  и выше  $1392^{\circ}\text{C}$ ;  $\gamma$ -железо - при  $911-1392^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие структурные составляющие.

1. *Феррит (Ф)* - твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Растворимость углерода в  $\alpha$ -железе при комнатной температуре до 0,005%; наибольшая растворимость - 0,02% при  $727^{\circ}\text{C}$ . Феррит имеет незначительную твердость (НВ 80-100) и прочность ( $\sigma_{\text{в}}=250$  МПа), но высокую пластичность ( $\delta=50\%$ ;  $\varphi=80\%$ ).
2. *Аустенит (А)* - твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе 2,14% при температуре  $1147^{\circ}\text{C}$  и 0,8% - при  $727^{\circ}\text{C}$ . Эта температура является нижней границей устойчивого существования аустенита в железоуглеродистых сплавах. Аустенит имеет твердость НВ 160-200 и весьма пластичен ( $\delta=40-50\%$ ).
3. *Цементит (Ц)* - химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около  $1600^{\circ}\text{C}$ . Он очень тверд (НВ~800), хрупок и практически не обладает пластичностью. Цементит неустойчив и в определенных условиях распадается, выделяя свободный углерод в виде графита по реакции  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ .
4. *Графит* - это свободный углерод, мягок (НВ 3) и обладает низкой прочностью. В чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений различных форм (пластинчатой, шаровидной и др.). С изменением формы графитовых включений меняются механические и технологические свойства сплава.
5. *Перлит (П)* - механическая смесь (эвтектоид, т. е. подобный эвтектике, но образующийся из твердой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. Перлит может быть пластинчатым и зернистым (глобулярным), что зависит от формы цементита (пластинки или зерна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности  $\sigma_{\text{в}}=800$  МПа; относительное удлинение  $\delta=15\%$ ; твердость НВ 160. Перлит образуется следующим образом. Пластинка (глобуль) цементита начинает расти или от границы зерна аустенита, или центром кристаллизации является неметаллическое включение. При этом соседние области обедняются углеродом и в них образуется феррит. Этот процесс приводит к образованию зерна перлита, состоящего из параллельных пластинок или глобулей цементита и феррита. Чем грубее и крупнее выделения цементита, тем хуже механические свойства перлита.
6. *Ледебурит (Л)* - механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода. Ледебурит образуется при затвердевании жидкого расплава при  $1147^{\circ}\text{C}$ . Ледебурит имеет твердость НВ 600-700 и большую хрупкость. Поскольку при

температуре  $727^{\circ}\text{C}$  аустенит превращается в перлит, то это превращение охватывает и аустенит, входящий в состав ледебурита. Вследствие этого при температуре ниже  $727^{\circ}\text{C}$  ледебурит представляет собой уже не смесь аустенита с цементом, а смесь перлита с цементом.

Помимо перечисленных структурных составляющих в железоуглеродистых сплавах могут быть нежелательные неметаллические включения: окислы, нитриды, сульфиды, фосфиды – соединения с кислородом, азотом, серой и фосфором. На их основе могут образовываться новые структурные составляющие, например фосфидная эвтектика ( $\text{Fe}+\text{Fe}_3\text{P}+\text{Fe}_3\text{C}$ ) с температурой плавления  $950^{\circ}\text{C}$ . Она образуется при больших содержаниях фосфора в чугунах. При содержании фосфора около 0,5-0,7% фосфидная эвтектика в виде сплошной сетки выделяется по границам зерен и повышает хрупкость чугуна.

### **Диаграмма состояния железо - цементит.**

В диаграмме состояния железо – цементит ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) рассматриваются процессы кристаллизации железоуглеродистых сплавов (стали и чугуна) и превращения в их структурах при медленном охлаждении от жидкого расплава до комнатной температуры. Диаграмма (рис.18) показывает фазовый состав и структуру сплавов с концентрацией от чистого железа до цементита (6,67% C). Сплавы с содержанием углерода до 2,14% называют сталью, а от 2,14 до 6,67% - чугуном.

Диаграмма состояния  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  представлена в упрощенном виде. Первичная кристаллизация, т. е. затвердевание жидкого сплава начинается при температурах, соответствующих линии ликвидуса  $\text{ACD}$ . Точка А на этой диаграмме соответствует температуре  $1539^{\circ}$  плавления (затвердевания) железа, точка D – температуре  $\sim 1600^{\circ}\text{C}$  плавления (затвердевания) цементита. Линия солидуса  $\text{AECF}$  соответствует температурам конца затвердевания. При температурах, соответствующих линии  $\text{AC}$ , из жидкого сплава кристаллизуется аустенит, а линии  $\text{CD}$  - цементит, называемый первичным цементитом. В точке С при  $1147^{\circ}\text{C}$  и содержании углерода 4,3% из жидкого сплава одновременно кристаллизуется аустенит и цементит (первичный), образуя эвтектику - ледебурит. При температурах, соответствующих линии солидуса  $\text{AE}$ , сплавы с содержанием углерода до 2,14% окончательно затвердевают с образованием аустенита. На линии солидуса  $\text{ECF}$  сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 6,67% окончательно затвердевают с образованием эвтектики (ледебурита) и структур, образовавшихся ранее из жидкого сплава, а именно: в интервале 2,14-4,3% C - аустенита, а в интервале 4,3-6,67% C - цементита первичного (см. рис. 43).

В результате первичной кристаллизации во всех сплавах с содержанием углерода до 2,14%, т. е. в сталях, образуется однофазная структура - аустенит. В сплавах с содержанием углерода более 2,14%, т. е. в чугунах, при первичной кристаллизации образуется эвтектика ледебурита.

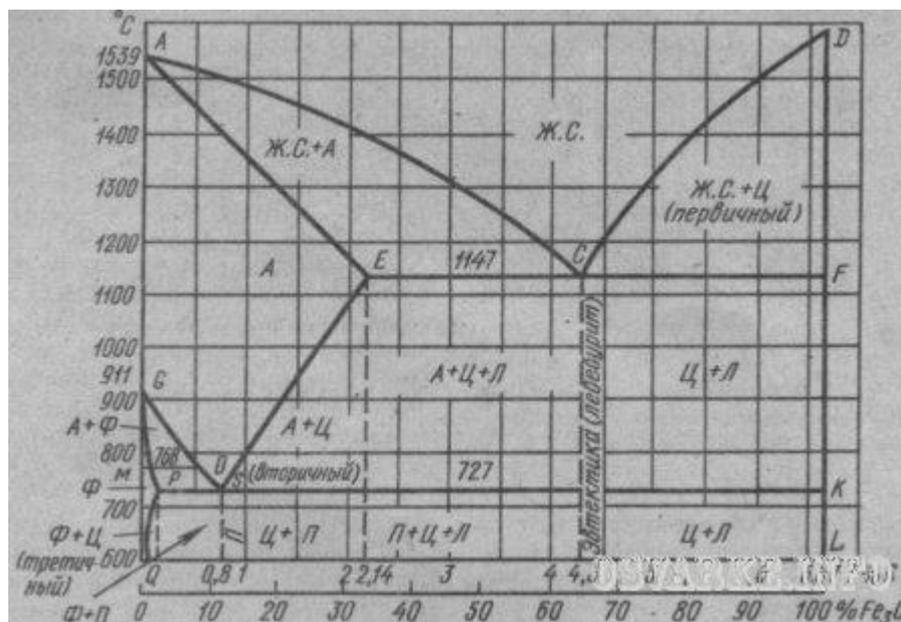


Рисунок- 43. Диаграмма состояния железо-цементит (в упрощенном виде):  
 А – аустенит, П – перлит, Л – ледебурит, Ф – феррит, Ц - цементит

*Вторичная кристаллизация* (превращение в твердом состоянии) происходит при температурах, соответствующих линиям GSE, PSK и GPQ. Превращения в твердом состоянии происходят вследствие перехода железа из одной аллотропической модификации в другую ( $\gamma$  в  $\alpha$ ) и в связи с изменением растворимости углерода в аустените и феррите. С понижением температуры растворимость уменьшается. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цементита.

В области диаграммы AGSE находится аустенит. При охлаждении сплавов аустенит распадается с выделением феррита при температурах, соответствующих линий GS, и цементита, называемого вторичным, при температурах, соответствующих линии SE. Вторичным называют цементит, выделяющийся из твердого раствора аустенита, в отличие от первичного цементита, выделяющегося из жидкого расплава. В области диаграммы GSP находится смесь феррита и распадающегося аустенита. Ниже линии GP существует только феррит. При дальнейшем охлаждении до температур, соответствующих линии PQ, из феррита выделяется цементит (третичный). Линия PQ показывает, что с понижением температуры растворимость углерода в феррите уменьшается от 0,02% при 727°C до 0,005% при комнатной температуре.

В точке S при содержании 0,8% углерода и температуре 727°C весь аустенит распадается и превращается в механическую смесь феррита и цементита - перлит. Сталь, содержащую 0,8% углерода, называют *эвтектоидной* (рис. 44,б). Стали, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода, называют *доэвтектоидными* (рис. 44, а) , а от 0,8 до 2,14% углерода - *заэвтектоидными* (рис. 44, в).

При температурах, соответствующих линии PSK, происходит распад аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перлита, представляющего собой механическую смесь феррита и цементита. Линию PSK называют линией перлитного превращения.

При температурах, соответствующих линии SE, аустенит насыщен углеродом, и при понижении температуры из него выделяется избыточный углерод в виде цементита (вторичного).

Вертикаль DFKL означает, что цементит имеет неизменный химический состав. Меняется лишь форма и размер его кристаллов, что существенно отражается на свойствах сплавов. Самые крупные кристаллы цементита образуются, когда он выделяется при первичной кристаллизации из жидкости.



Белый чугун, содержащий 4,3% углерода, называют *эвтектическим* (рис. 20). Белые чугуны, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода, называют доэвтектическими, а от 4,3 до 6,67% углерода - заэвтектическими.

По достижении температуры 727°C (линия PSK) аустенит, обедненный углеродом до эвтектоидного состава (0,8% углерода), превращается в перлит. После окончательного охлаждения доэвтектические белые чугуны состоят из перлита, ледебурита (перлит+цементит) и цементита (вторичного). Чем больше в структуре такого чугуна углерода, тем меньше в нем перлита и больше ледебурита.

Белый эвтектический чугун (4,3% углерода) при температурах ниже 727°C состоит только из ледебурита. Белый заэвтектический чугун, содержащий более 4,3% углерода, после окончательного охлаждения состоит из цементита (первичного) и ледебурита. Следует отметить, что при охлаждении ледебурита ниже линии PSK входящий в него аустенит превращается в перлит, т. е. ледебурит при комнатной температуре представляет собой уже смесь цементита и перлита. При этом цементит образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита является причиной его большой твердости (HB>600) и хрупкости.

Диаграмма состояния железо-цементит имеет большое практическое значение. Ее применяют для определения тепловых режимов термической обработки и горячей обработки давлением (ковка, горячая штамповка, прокатка) железоуглеродистых сплавов. Ее используют также в литейном производстве для определения температуры плавления, что необходимо для назначения режима заливки жидкого железоуглеродистого сплава в литейные формы.



Рисунок 44-. Микроструктура:

а – доэвтектоидная сталь – феррит (светлые участки) и перлит (темные участки) при 500х увеличении, б – эвтектоидная сталь – перлит (1000х), в – заэвтектоидная сталь – перлит и цементит в виде сетки (200х)

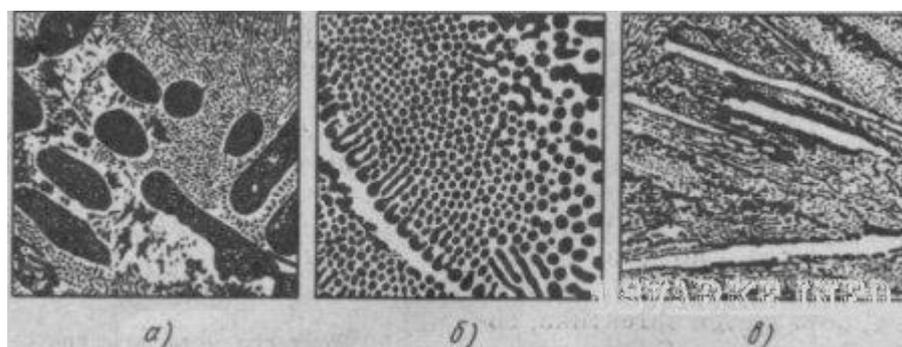


Рисунок 45-. Микроструктура белого чугуна при 500х увеличении:

а- доэвтектический чугун – перлит (темные участки) и ледебурит (цементит вторичный в

структуре не виден), б – эвтектический чугун – ледебурит (смесь перлита и цементита), в – заэвтектический чугун – цементит (светлые пластины) и ледебурит  
<http://osvarke.info/153-diagramma-sostoyaniya-zhelezo-цементит.html>

Диаграмма состояния[править | править вики-текст]

Железо образует с углеродом химическое соединение  $Fe_3C$  цементит. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 6,67 %, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до цементита. Поскольку цементит – фаза метастабильная, то и соответствующая диаграмма называется *метастабильной* (сплошные линии на рисунке).

Для серых чугунов и графитизированных сталей необходимо рассматривать *стабильную* диаграмму железо-графит (Fe-Гр), поскольку именно графит является стабильной фазой. Цементит образуется намного быстрее графита и во многих сталях и белых чугунах может существовать достаточно долго. В серых чугунах графит существует обязательно.

На рисунке тонкими пунктирными линиями показаны линии стабильного равновесия (то есть с участием графита), там где они отличаются от линий метастабильного равновесия (с участием цементита), а соответствующие точки обозначены штрихом.

(Отметим, что обозначения фаз и точек на этой диаграмме подчиняются неофициальному международному соглашению.)

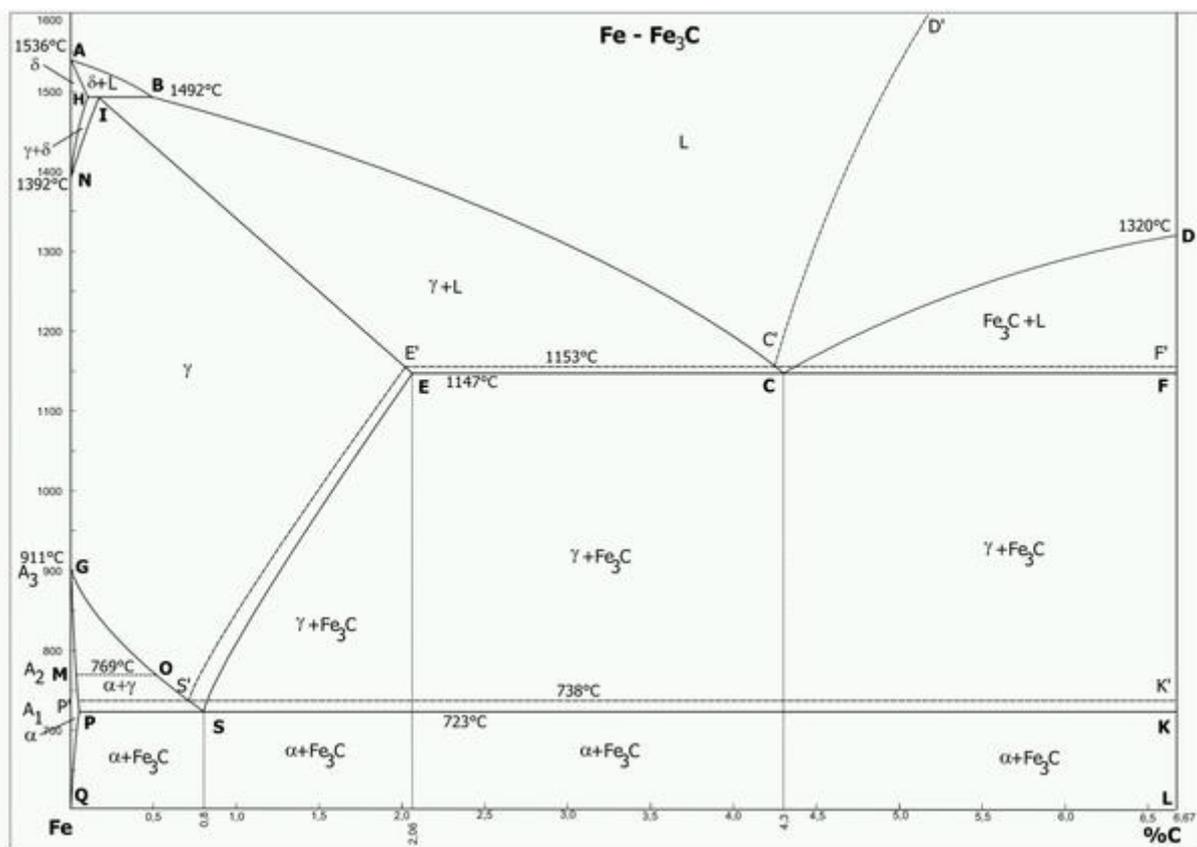


Рисунок 46-Фазы диаграммы железо — цементит

В системе железо — углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит, графит.

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. Феррит — Твёрдый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе с ОЦК (объёмно-центрированной кубической) решёткой.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную — 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную — 0,02 % при температуре 700 °С (точка P). Атомы углерода располагаются в центре грани или (что кристаллогеометрически эквивалентно) на середине рёбер куба, а также в дефектах решетки.

При температуре выше 1392 °С существует высокотемпературный феррит, с предельной растворимостью углерода около 0,1 % при температуре около 1500 °С (точка I)

Свойства феррита близки к свойствам чистого железа. Он мягок (твёрдость — 130 НВ) и пластичен, магнитен (при отсутствии углерода) до 770 °С.

3. Аустенит ( $\gamma$ ) — твёрдый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе с ГЦК (гранецентрированной кубической) решёткой.

Атомы углерода занимают место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

Предельная растворимость углерода в аустените — 2,14 % при температуре 1147 °С (точка E).

Аустенит имеет твёрдость 200—250 НВ, пластичен, парамагнитен.

При растворении других элементов в аустените или в феррите изменяются свойства и температурные границы их существования.

4. Цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), со сложной ромбической решёткой, содержит 6,67 % углерода. Он твёрдый (свыше 1000 НВ), и очень хрупкий. Цементит фаза метастабильная и при длительным нагреве самопроизвольно разлагается с выделением графита.

В железоуглеродистых сплавах цементит как фаза может выделяться при различных условиях:

- — цементит первичный (выделяется из жидкости),
- — цементит вторичный (выделяется из аустенита),
- — цементит третичный (из феррита),
- — цементит эвтектический и

- — эвтектоидный цементит.

Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зёрен аустенита (после эвтектоидного превращения они станут зёрнами перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зёрен.

Эвтектический цементит наблюдается лишь в белых чугунах. Эвтектоидный цементит имеет пластинчатую форму и является составной частью перлита.

Цементит может при специальном сфероидизирующем отжиге или закалке с высоким отпуском выделяться в виде мелких сфероидов.

Влияние на механические свойства сплавов оказывает форма, размер, количество и расположение включений цементита, что позволяет на практике для каждого конкретного применения сплава добиваться оптимального сочетания твёрдости, прочности, стойкости к хрупкому разрушению и т. п.

5. Графит — фаза состоящая только из углерода со слоистой гексагональной решёткой. Плотность графита (2,3) много меньше плотности всех остальных фаз (около 7,5 — 7,8) и это затрудняет и замедляет его образование, что и приводит к выделению цементита при более быстром охлаждении. Образование графита уменьшает усадку при кристаллизации, графит выполняет роль смазки при трении, уменьшая износ, способствует рассеянию энергии вибраций.

Графит имеет форму крупных крабовидных (изогнутых пластинчатых) включений (обычный серый чугун) или сфероидов (высокопрочный чугун).

Графит обязательно присутствует в серых чугунах и их разновидности — высокопрочных чугунах. Графит присутствует также и в некоторых марках стали — в графитизированных сталях.

**Аустенит** ( $\gamma$ -фаза) — высокотемпературная гранецентрированная модификация железа и его сплавов.

Фаза названа в честь сэра Уильяма Чандлера Робертс-Остина (англ. *William Chandler Roberts-Austen*, 1843—1902).

В углеродистых сталях аустенит — это твёрдый раствор внедрения, в котором атомы углерода входят внутрь элементарной ячейки  $\gamma$ -железа во время конечной термообработки. В сталях, содержащих другие металлы (кроме железа, легированные стали), атомы металлов замещают атомы железа в кристаллической решетке и возникает твердый раствор замещения. В чистом железе существует в интервале температур 910—1401 °С; в углеродистых сталях аустенит существует при температурах не ниже 723 °С.

В легированных сталях аустенит может существовать и при гораздо более низких температурах. Такие элементы, как никель стабилизируют аустенитную фазу. Нержавеющие стали, такие как 08X18H10T или AISI 304, AISI 316 и т. д. относятся к аустенитному классу. Присутствие никеля в количестве 8—10 % приводит к тому, что

аустенитная фаза сохраняется и при комнатной температуре. Мартенситно-старяющиеся нержавеющие стали типа 08X15H2ДТ или Ph 17-4 могут содержать некоторое количество остаточного аустенита. Оптическая металлография во многих случаях не позволяет выявить присутствие аустенита, расположенного, как правило, по границам мартенситных пакетов. Основными способами определения количества остаточного аустенита являются рентгеноструктурный анализ и просвечивающая электронная микроскопия.

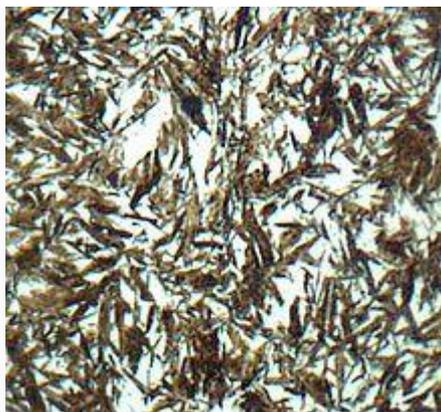
**Бейнит** (по имени английского металлурга Э. Бейна, (англ.) en:Edgar Bain), игольчатый троостит, структура стали, образующаяся в результате так называемого промежуточного превращения аустенита. Бейнит состоит из смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбида железа. Образование бейнита сопровождается появлением характерного микрорельефа на полированной поверхности шлифа.

Верхний бейнит — (строение перистое), образуется из переохлажденного аустенита при температурах 500-350 °С. Имеет пониженную пластичность стали по сравнению с перлитной областью распада аустенита. Твёрдость и прочность при этом не изменяются или несколько снижаются.

Нижний бейнит - строение (с игольчатым мартенситоподобное), образуется, в результате распада переохлажденного аустенита при температурах 350-200 °С. Имеет высокую твердость и прочность при высокой пластичности.

**Ледебурит** — структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, главным образом чугунов, представляющая собой эвтектическую смесь аустенита и цементита в интервале температур 727—1147 °С, или феррита и цементита ниже 727 °С. Назван в честь немецкого металлурга Карла Генриха Адольфа Ледебура, который открыл «железо-карбидные зёрна» в чугунах в 1882 г.

**Мартенсит** — микроструктура игольчатого (пластинчатого) вида, а также речного (пакетного) наблюдаемая в закалённых металлических сплавах и в некоторых чистых металлах, которым свойственен полиморфизм. Мартенсит — основная структурная составляющая закалённой стали; представляет собой упорядоченный пересыщенный твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -железе такой же концентрации, как у исходного аустенита. С превращением мартенсита при нагреве и охлаждении связан эффект памяти металлов и сплавов. Назван в честь немецкого металловеда Адольфа Мартенса.



## микроструктура мартенсита

Физический механизм образования мартенсита принципиально отличается от механизма других процессов, происходящих в стали при нагреве и охлаждении. Другие процессы диффузионны, то есть атомы перемещаются с малой скоростью, например, при медленном охлаждении аустенита создаются зародыши кристаллов феррита и цементита, к ним в результате диффузии пристраиваются дополнительные атомы и, наконец, весь объём приобретает перлитную или феррито-перлитную структуру. Мартенситное превращение бездиффузионно (сдвиговое превращение), атомы перемещаются с большой скоростью по сдвиговому механизму, скорость распространения порядка тысячи метров в секунду.

Кристаллическая структура мартенсита тетрагональна, элементарная ячейка имеет форму прямоугольного параллелепипеда, атомы железа расположены в вершинах и центре ячейки, атомы углерода в объёме ячеек. Структура неравновесна, и в ней есть большие внутренние напряжения, что в значительной степени определяет высокую твёрдость и прочность сталей с мартенситной структурой.

При нагреве сталей с мартенситной структурой происходит диффузионное перераспределение атомов углерода. В стали возникают две фазы — феррит, содержащий очень мало углерода (до 0,02 %) и цементит (6,67 % углерода). Элементарная ячейка феррита имеет форму куба, атомы железа расположены в вершинах и в центре куба (объемноцентрированная структура), цементит имеет ромбическую структуру. Элементарная ячейка цементита имеет форму прямоугольного параллелепипеда.

Кристаллическая решётка мартенсита связана постоянными кристаллографическими соотношениями с решёткой исходной структуры аустенита, то есть плоскости с определёнными кристаллографическими индексами в структуре мартенсита параллельны плоскостям с определёнными индексами в структуре аустенита. Соотношение между кристаллографическими направлениями в решётках мартенсита и аустенита аналогично.

1. Пластинчатый (двойниковый) мартенсит, который образуется в углеродистых и легированных сталях при температуре начала мартенситного превращения ниже 200 °С. При этом образовавшиеся мартенситные пластины имеют среднюю линию повышенной травимости, которую называют мидрибом. Мидриб состоит из большого числа двойников по плоскостям  $\{112\}$ , толщина которых составляет 5-30 нм.

2. Реечный (дислокационный) мартенсит, характерен для малоуглеродистых, среднеуглеродистых и высоколегированных сталей, для которых температура начала мартенситного превращения выше 300 °С. В этом случае кристаллы мартенсита представляют собой тонкие рейки толщиной 0,2-2 мкм и вытянутые в одном направлении. Сосредоточение параллельных друг другу реек образуют пакеты. Между собой рейки разделены тонкими прослойками остаточного аустенита толщиной 10-20 нм.

Образование того или иного структурного типа мартенсита обусловлено температурой его формирования, которая зависит от состава сплава и других факторов. Значительный интервал между температурой начала и конца мартенситного превращения приводит к наличию в сталях двух типов мартенсита, которые образуются при различной температуре. Низкая прочность аустенита при высокой температуре способствует образованию реечного мартенсита, а с понижением температуры, когда прочность аустенита выше, увеличивается доля пластинчатого мартенсита<sup>[1]</sup>.

Так же существуют низкоуглеродистые мартенситные стали, в которых образуется мартенсит только реечного типа и отсутствует остаточный аустенит. Температура начала мартенситного превращения у таких сталей порядка 400 °С.

Реечный мартенсит обладает повышенной релаксационной способностью.

Мартенситное превращение при охлаждении происходит не при постоянной температуре, а в определённом интервале температур, при этом превращение начинается не при температуре распада аустенита в равновесных условиях, а несколькими сотнями градусов ниже. Оканчивается превращение при температуре значительно ниже комнатной. Таким образом, в интервале температур мартенситного превращения в структуре стали, наряду с мартенситом, есть и остаточный аустенит.

При пластической деформации стали при температурах мартенситного превращения количество мартенсита увеличивается. В некоторых случаях также влияет упругая деформация. Возможно превращение аустенита в мартенсит при комнатных температурах под действием пластической деформации.

Кроме железуглеродистых сплавов, мартенситное превращение наблюдается и в некоторых других, например, сплавах на основе титана (сплавы типа ВТ6, ВТ8, ВТ14), меди (бронзы типа БрАМц 9-3).

**Перлит** (от фр. *perle* - жемчужина) — одна из структурных составляющих железуглеродистых сплавов — сталей и чугунов: представляет собой эвтектоидную смесь двух фаз — феррита и цементита (влегированных сталях — карбидов). Перлит — продукт эвтектоидного распада (перлитного превращения) аустенита при сравнительно медленном охлаждении железуглеродистых сплавов ниже 727 °С. При этом  $\gamma$ -железо переходит в  $\alpha$ -железо, растворимость углерода в котором составляет от 0,006 до 0,025%; избыточный углерод выделяется в форме цементита или карбидов. В зависимости от формы различают перлит пластинчатый (основной вид перлита; обе фазы имеют форму пластинок) и зернистый (округлые зёрнышки, или глобулы, цементита располагаются на фоне зёрен феррита). С увеличением переохлаждения растёт число колоний перлита, то есть участков с однообразной ориентацией пластинок феррита и цементита (карбидов), а сами пластинки становятся более тонкими. Механические свойства перлита зависят в первую очередь от межпластиночного расстояния (суммарная толщина пластинок обеих фаз): чем оно меньше, тем выше значение предела прочности и предела текучести и ниже критическая температура хладноломкости. При перлитной структуре облегчается механическая обработка стали. Дисперсные разновидности перлита называют сорбитом и трооститом.

**Феррит** (лат. *ferrum* — железо), фазовая составляющая сплавов железа, представляющая собой твёрдый раствор углерода и легирующих элементов в  $\alpha$ -железе ( $\alpha$ -

феррит). Имеет объёмноцентрированную кубическую кристаллическую решётку. Является фазовой составляющей других структур, например, перлита, состоящего из феррита и цементита.

При температурах выше 1401 °С в железоуглеродистых сплавах образуется твёрдый раствор углерода в  $\delta$ -железе ( $\delta$ -феррит), который можно рассматривать как высокотемпературный феррит.

### Содержание

[убрать]

- 1 Свойства
- 2 Строение
- 3 Источники
- 4 См. также

Растворимость углерода в  $\alpha$ -феррите 0,02-0,03 % (по массе) при 723 °С, а при комнатной температуре  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  %; в  $\delta$ -феррите — 0,1 %.

Растворимость легирующих элементов может быть весьма значительной или неограниченной. Легирование феррита в большинстве случаев приводит к его упрочнению. Нелегированный феррит относительно мягок, пластичен, сильно ферромагнитен до 768—770 °С.

Микростроение, размеры зерна и субструктура феррита зависят от условий его образования при полиморфном  $\gamma$ — $\alpha$  превращении. При небольшом переохлаждении образуются приблизительно равноосные, полиэдрические зёрна; при больших переохлаждениях и наличии легирующих элементов (Cr, Mn, Ni) феррит возникает по мартенситному механизму и вследствие этого упрочняется. Укрупнение зёрнаустенита часто приводит к образованию при охлаждении видманштеттова феррита, особенно в литых и перегретых сталях. Выделение доэвтектоидного феррита происходит преимущественно на границах аустенитных зёрен.

### Цементит

### Фазы железоуглеродистых сплавов

Феррит (твёрдый раствор внедрения С в  $\alpha$ -железе с объёмно-центрированной кубической решёткой)  
Аустенит (твёрдый



раствор внедрения С в  $\gamma$ -железе с  
гранецентрированной кубической  
решеткой)

**Цементит** (карбид железа;  $\text{Fe}_3\text{C}$   
метастабильная

высокоуглеродистая фаза)

**Графит** стабильная

высокоуглеродистая фаза

### **Структуры железоуглеродистых сплавов**

**Ледебурит** (эвтектическая см  
есь кристаллов цементита и  
аустенита, превращающегося при  
охлаждении в перлит)

**Мартенсит** (сильно пересыщенный  
твердый раствор углерода в  $\alpha$ -  
железе с объемно-центрированной  
тетрагональной решеткой)

**Перлит** (эвтектоидная смесь,  
состоящая из тонких чередующихся  
пластинок феррита и цементита)

**Сорбит** (дисперсный перлит)

**Троостит** (высокодисперсный  
перлит)

**Бейнит** (устар: игольчатый  
троостит) — ультрадисперсная  
смесь кристаллов  
низкоуглеродистого мартенсита и  
карбидов железа

### **Стали**

**Конструкционная сталь** (до  
0,8 % С)

**Инструментальная сталь** (до  
~2 % С)

**Нержавеющая  
сталь** (легированная хромом)

**Жаростойкая сталь**

Жаропрочная сталь  
Высокопрочная сталь

### Чугуны

Белый чугун (хрупкий, содержит ледебурит и не содержит графит)

Серый чугун (графит в форме пластин)

Ковкий чугун (графит в хлопьях)

Высокопрочный чугун (графит в форме сфероидов)

Половинчатый чугун (содержит и графит, и ледебурит)

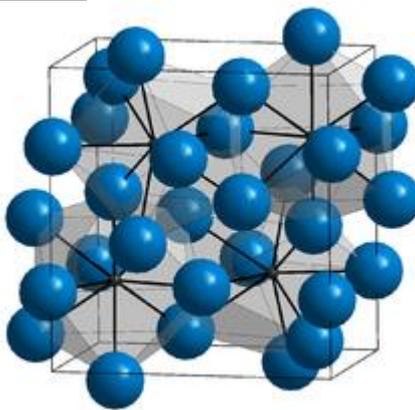


Рисунок 47-Структура цементита

Концентрация углерода в цементите — 6,67% по массе — предельная для железоуглеродистых сплавов. Цементит — метастабильная фаза; образование стабильной фазы — графита во многих случаях затруднено. Цементит имеет орторомбическую кристаллическую решётку, очень тверд и хрупок, слабо магнитен до 210 °С.

В зависимости от условий кристаллизации и последующей обработки цементит может иметь различную форму — равноосных зёрен, сетки по границам зёрен, пластин, а также видманштеттову структуру.

Цементит в разных количествах, в зависимости от концентрации, присутствует в железоуглеродистых сплавах уже при малых содержаниях углерода. Формируется в процессе кристаллизации из расплава чугуна. В сталях выделяется при охлаждении аустенита или при нагреве мартенсита. Цементит является фазовой и структурной составляющей железоуглеродистых сплавов, составной частью ледебурита, перлита, сорбита и троостита. Цементит — представитель так называемых фаз внедрения, соединений переходных металлов с легкими металлоидами. В фазах внедрения велики доля как ковалентной, так и металлической связи.

Твёрдость по Бринеллю больше  $800 \text{ кг/мм}^2$ .  
Первичный цементит кристаллизуется из жидкого сплава  
Вторичный цементит - из аустенита  
Третичный цементит - из феррита

## Цветные металлы и сплавы, их свойства и назначение

(повторение)

Ценные свойства цветных металлов обусловили их широкое применение в различных отраслях современного производства. Медь, алюминий, цинк, магний, титан и другие металлы и их сплавы являются незаменимыми материалами для приборостроительной и электротехнической промышленности, самолетостроения и радиоэлектроники, ядерной и космической отраслей техники. **Цветные металлы** обладают рядом ценных свойств: высокой теплопроводностью, очень малой плотностью (алюминий и магний), очень низкой температурой плавления (олово, свинец), высокой коррозионной стойкостью (титан, алюминий). В различных отраслях промышленности широко применяются сплавы алюминия с другими легирующими элементами.

Сплавы на магниевой основе отличаются малой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошо обрабатываются резанием. Они нашли широкое применение в машиностроении и в частности в авиастроении.

Техническая медь, содержащая не более 0,1 % примесей, применяется для различных видов проводников тока.

**Медные сплавы** по химическому составу классифицируются на латуни и бронзы. В свою очередь **латуни** по химическому составу подразделяются на простые, легированные только цинком, и специальные, которые, помимо цинка, содержат в качестве легирующих элементов свинец, олово, никель, марганец.

**Бронзы** также подразделяются на оловянные и безоловянные. **Безоловянные бронзы** имеют высокую прочность, хорошие антикоррозионные и антифрикционные свойства.

В металлургии широко используется магний, с помощью которого осуществляют раскисление и обессеривание неко

торых металлов и сплавов, модифицируют серый чугун с целью получения графита шаровидной формы, производят трудно восстанавливаемые металлы (например, титан), смеси порошка магния с окислителями служат для изготовления осветительных и зажигательных ракет в реактивной технике и пиротехнике. Свойства магния значительно улучшаются за счет легирования. Алюминий и цинк с массовой долей до 7 % повышают его механические свойства, марганец улучшает его сопротивление коррозии и свариваемость, цирконий, введенный в сплав вместе с цинком, измельчает зерно (в структуре сплава), повышает механические свойства и сопротивление коррозии.

Из магниевых сплавов изготавливают фасонные отливки, а также полуфабрикаты – листы, плиты, прутки, профили, трубы, проволоки. Промышленный магний получают электролитическим способом из магнезита, доломита, карналлита, морской воды и отходов различного производства по схеме получение чистых безводных солей магния, электролиз этих солей в расплавленном состоянии и рафинирование магния В природе мощные скопления образуют карбонаты магния – магнезит и доломит, а также карналлиты.

В пищевой промышленности широко применяется упаковочная фольга из алюминия и его сплавов – для обертки кондитерских и молочных изделий, а также в больших количествах используется алюминиевая посуда (пищеварочные котлы, поддоны, ванны и т. д.).

### Медные сплавы

Медь относится к числу металлов, известных с глубокой древности. Раннему знакомству человека с медью способствовало то, что она встречается в природе в свободном состоянии в виде самородков, которые иногда достигают значительных размеров. В настоящее время медь широко используется в электромашиностроении, при строительстве линий электропередач, для изготовления оборудования телеграфной и телефонной связи, радио—и телевизионной аппаратуры. Из меди изготавливают провода, кабели, шины и другие токопроводящие изделия. Медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, прочностью вязкостью и коррозионной стойкостью. Физические свойства ее обусловлены структурой. Она имеет кубическую гра—нецентрированную пространственную решетку. Ее температура плавления – +1083 °С, кипения – +2360 °С. Средний предел прочности зависит от вида обработки и составляет от 220 до 420 МПа (22–45 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение – 4–60 %, твердость – 35–130 НВ, плотность – 8,94 г/см<sup>3</sup>. Обладая замечательными свойствами, медь в то же время как конструкционный материал не удовлетворяет требованиям машиностроения, поэтому ее легируют, т. е. вводят в сплавы такие металлы, как цинк, олово, алюминий, никель и другие, за счет чего улучшаются ее механические и технологические свойства. В чистом виде медь применяется ограниченно, более широко – ее сплавы. По химическому составу медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы и медноникелевые, по технологическому назначению – на деформируемые, используемые для производства полуфабрикатов (проволоки, листа, полос, профиля), и литейные, применяемые для литья деталей.

**Латуни** – сплавы меди с цинком и другими компонентами. Латуни, содержащие, кроме цинка, другие легирующие элементы, называются сложными, или специальными, и именуются по вводимым, кроме цинка, легирующим компонентам. Например: томпак Л90 – это латунь, содержащая 90 % меди, остальное – цинк; латунь алюминиевая ЛА77–2 – 77 % меди, 2 % алюминия, остальное – цинк и т. д. По сравнению с медью латуни обладают большой прочностью, коррозионной стойкостью и упругостью. Они обрабатываются литьем, давлением и резанием. Из них изготавливают полуфабрикаты (листы, ленты, полосы, трубы конденсаторов и теплообменников, проволоку, штамповки, запорную арматуру – краны, вентили, медали и значки, художественные изделия, музыкальные инструменты, сифоны, подшипники).

Бронзы – сплавы на основе меди, в которых в качестве добавок используются олово, алюминий, бериллий, кремний, свинец, хром и другие элементы. Бронзы подразделяются на безоловянные (БрА9Мц2Л и др.), оловянные (БрОЗц12С5 и др.), алюминиевые (БрА5, БрА7 и др.), кремниевые (БрКН1–3, БрКМц3–1), марганцевые (БрМц5), бериллиевые бронзы (БрБ2, БрБНТ1,7 и др.). Бронзы используются для производства запорной арматуры (краны, вентили), различных деталей, работающих в воде, масле, паре, слабоагрессивных средах, морской воде.

## Алюминиевые сплавы

Название «алюминий» происходит от латинского слова *alumen* – так за 500 лет до н. э. называли алюминиевые квасцы, которые использовались для протравливания при крашении тканей и дубления кож.

По распространенности в природе алюминий занимает третье место после кислорода и кремния и первое место среди металлов. По использованию в технике он занимает второе место после железа. В свободном виде алюминий не встречается, его получают из минералов – бокситов, нефелинов и алунитов, при этом сначала производят глинозем, а затем из глинозема путем электролиза получают алюминий. Механические свойства алюминия невысоки: сопротивление на разрыв – 50–90 МПа (5–9 кгс/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение – 25–45 %, твердость – 13–28 НВ.

Алюминий хорошо сваривается, однако трудно обрабатывается резанием, имеет большую линейную усадку – 1,8 % В чистом виде алюминий применяется редко, в основном широко используются его сплавы с медью, магнием, кремнием, железом и т. д. Алюминий и его сплавы необходимы для авиа—и машиностроения, линий электропередач, подвижного состава метро и железных дорог.

Алюминиевые сплавы подразделяются на литейные и деформируемые. Литейные сплавы алюминия выпускаются в чушках – рафинированные и нерафинированные.

Сплавы, в обозначении марок которых имеется буква «П», предназначены для изготовления пищевой посуды. Механические свойства сплавов зависят от их химического состава и способов получения. Химический состав основных компонентов, входящих в сплав, можно определить по марке. Например, сплав АК12 содержит 12 % кремния, остальное – алюминий; АК7М2П – 7 % кремния, 2 % меди, остальное – алюминий. Наиболее широко применяется в различных отраслях промышленности сплав алюминия с кремнием – силумин, который изготавливается четырех марок – СИЛ–00,

СИЛ–0, СИЛ–1 и СИЛ–2. Кроме алюминия (основа) и кремния (10–13 %), в этот сплав входят: железо – 0,2–0,7 %, марганец – 0,05–0,5 %, кальций – 0,7–0,2 %, титан – 0,05–0,2 %, медь – 0,03 % и цинк – 0,08 %. Из силуминов изготавливают различные детали для автомобилей, тракторов, пассажирских вагонов. Алюминиевые деформируемые сплавы в чушках, предназначенные для обработки давлением и для подшик—товки при получении других алюминиевых сплавов, нормируются определенными стандартами. Сплавы для обработки давлением состоят из алюминия (основа), легирующих элементов (медь – 5 %, магний – 0,1–2,8 %, марганец – 0,1–0,7 %, кремний – 0,8–2,2 %, цинк – 2–6,5 % и небольшого количества других примесей). Марки этих сплавов: ВД1, АВД1, АВД1–1, АКМ, из алюминиевых сплавов изготавливают полуфабрикаты – листы, ленты, полосы, плиты, слитки, слябы.

Кроме того, цветная металлургия производит алюминиевые антифрикционные сплавы, применяемые для изготовления монометаллических и биметаллических подшипников методом литья. В зависимости от химического состава стандартом предусмотрены следующие марки этих сплавов: АО3–7, АО9–2, АО6–1, АО9–1, АО20–1, АМСТ. Стандартом также определены условия работы изделий, изготовленных из этих сплавов: нагрузка от 19,5 до 39,2 МН/м<sup>2</sup> (200–400 кгс/см<sup>2</sup>), температура от 100 до 120 °С, твердость – от 200 до 320 НВ.

## Титановые сплавы

**Титан** – металл серебристо—белого цвета. Это один из наиболее распространенных в природе элементов. Среди других элементов по распространенности в земной коре (0,61 %) он занимает десятое место. Титан легок (плотность его  $4,5 \text{ г/см}^3$ ), тугоплавок (температура плавления  $1665 \text{ }^\circ\text{C}$ ), весьма прочен и пластичен. На поверхности его образуется стойкая окисная пленка, за счет которой он хорошо сопротивляется коррозии в пресной и морской воде, а также в некоторых кислотах. При температурах до  $882 \text{ }^\circ\text{C}$  он имеет гексагональную плотно упакованную решетку, при более высоких температурах – объемно—центрированный куб. Механические свойства листового титана зависят от химического состава и способа термической обработки. Предел прочности его –  $300\text{—}1200 \text{ МПа}$  ( $30\text{—}120 \text{ КГС/мм}^2$ ), относительное удлинение –  $4\text{—}10 \%$ . Вредными примесями титана являются азот, углерод, кислород и водород. Они снижают его пластичность и свариваемость, повышают твердость и прочность, ухудшают сопротивление коррозии.

При температуре свыше  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  титан и его сплавы легко окисляются, поглощая водород, который вызывает охрупчивание (водородная хрупкость). При нагревании выше  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  титан энергично поглощает кислород, азот и водород, эта его способность используется в металлургии для раскисления стали. Он служит легирующим элементом для других цветных металлов и для стали.

Благодаря своим замечательным свойствам титан и его сплавы нашли широкое применение в авиа-, ракето—и судостроении. Из титана и его сплавов изготавливают полуфабрикаты: листы, трубы, прутки и проволоку. Основными промышленными материалами для получения титана являются ильменит, рутил, перовскит и сфен (титанит). Технология получения титана сложна, трудоемка и длительна: сначала вырабатывают титановую губку, а затем путем переплавки в вакуумных печах из нее производят ковкий титан.

**Губчатый титан**, получаемый магниитермическим способом, служит исходным материалом для производства титановых сплавов и других целей. В зависимости от химического состава и механических свойств стандартом установлены следующие марки губчатого титана: ТГ–90, ТГ–100, ТГ–110, ТГ–120, ТГ–130. В обозначении марок буквы «ТГ» означают – титан губчатый, «Тв» – твердый, цифры означают твердость по Бринеллю. В губчатый титан входят примеси: железо – до  $0,2 \%$ , кремний – до  $0,04 \%$ , никель – до  $0,05 \%$ , углерод – до  $0,05 \%$ , хлор – до  $0,12 \%$ , азот – до  $0,04 \%$ , кислород – до  $0,1 \%$ . Для изготовления различных полуфабрикатов (листы, трубы, прутки, проволока) предназначены титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением. В зависимости от химического состава стандарт предусматривает следующие их марки: ВТ1–00, ВТ1–0, ОТ4–0, ОТ4–1, ОТ4, ВТ5, ВТ5–1, ВТ6, ВТ20, ВТ22, ПТ–7М, ПТ–7В, ПТ–1 м. Основные компоненты: алюминий –  $0,2\text{—}0,7 \%$ , марганец –  $0,2\text{—}2 \%$ , молибден –  $0,5\text{—}5,5 \%$ , ванадий –  $0,8\text{—}5,5 \%$ , цирконий –  $0,8\text{—}3 \%$ , хром –  $0,5\text{—}2,3 \%$ , олово –  $2\text{—}3 \%$ , кремний –  $0,15\text{—}0,40 \%$ , железо –  $0,2\text{—}1,5 \%$ . Железо, кремний и цирконий в зависимости от марки сплава могут быть основными компонентами или примесями.

## Цинковые сплавы

Сплав цинка с медью – **латунь** – был известен еще древним грекам и египтянам. Но выплавка цинка в промышленных масштабах началась лишь в XVII в.

**Цинк** – металл светло—серо—голубоватого цвета, хрупкий при комнатной температуре и при 200 °С, при нагревании до 100–150 °С становится пластичным.

В соответствии со стандартом цинк изготавливается и поставляется в виде чушек и блоков массой до 25 кг. Стандарт устанавливает также марки цинка и области их применения: ЦВ00 (содержание цинка – 99,997 %) – для научных целей, получения химических реактивов, изготовления изделий для электротехнической промышленности; ЦВ0 (цинка – 99,995 %) – для полиграфической и автомобильной промышленности; ЦВ1, ЦВ (цинка – 99,99 %) – для производства отливок под давлением, предназначенных для изготовления деталей особо ответственного назначения, для получения окиси цинка, цинкового порошка и чистых реактивов; ЦОА (цинка 99,98 %), ЦО (цинка 99,975 %) – для изготовления цинковых листов, цинковых сплавов, обрабатываемых давлением, белил, лигатуры, для горячего и гальванического цинкования; Ц1С, Ц1, Ц2С, Ц2, Ц3С, Ц3 – для различных целей.

В промышленности широко применяются цинковые сплавы: латуни, цинковые бронзы, сплавы для покрытия различных стальных изделий, изготовления гальванических элементов, типографские и др. Цинковые сплавы в чушках для литья нормируются стандартом. Эти сплавы используются в автомобиле—и приборостроении, а также в других отраслях промышленности. Стандартом установлены марки сплавов, их химический состав, определены изготавливаемые из них изделия:

- 1) ЦАМ4–10 – особо ответственные детали;
- 2) ЦАМ4–1 – ответственные детали;
- 3) ЦАМ4–1В – неответственные детали;
- 4) ЦА4О – ответственные детали с устойчивыми размерами;
- 5) ЦА4 – неответственные детали с устойчивыми размерами.

**Цинковые антифрикционные сплавы**, предназначенные для производства монометаллических и биметаллических изделий, а также полуфабрикатов, методами литья и обработки давлением нормируются стандартом. Механические свойства сплавов зависят от их химического состава: предел прочности  $\sigma_B = 250–350$  МПа ( $25–35$  КГС/мм<sup>2</sup>), относительное удлинение  $\epsilon = 0,4–10$  %, твердость – 85–100 НВ. Стандарт устанавливает марки этих сплавов, области их применения и условия работы: ЦАМ9–1,5Л – отливка монометаллических вкладышей, втулок и ползунов; допустимые: нагрузка – 10 МПа ( $100$  кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – 8 м/с, температура 80 °С; если биметаллические детали получают методом литья при наличии металлического каркаса, то нагрузка, скорость скольжения и температура могут быть увеличены до 20 МПа ( $200$  КГС/см<sup>2</sup>), 10 м/с и 100 °С соответственно: ЦАМ9–1,5 – получение биметаллической ленты (сплав цинка со сталью и дюралюминием) методом прокатки, лента предназначена для изготовления вкладышей путем штамповки; допустимые: нагрузка – до 25 МПа ( $250$  кгс/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – до 15 м/с, температура 100 °С; АМ10–5Л – отливка



подшипников и втулок, допустимые: нагрузка – 10 МПа (100 КГС/см<sup>2</sup>), скорость скольжения – 8 м/с, температура 80 °С.

[http://www.libma.ru/tehnicheskie\\_nauki/materialovedenie\\_konspekt\\_lekcii/p11.php](http://www.libma.ru/tehnicheskie_nauki/materialovedenie_konspekt_lekcii/p11.php)

Установлены следующие марки цветных металлов (ГОСТ):

алюминий – АВ1, АВ2, АОО, АО, А1, А2 и А3;

медь – МО, М1, М2, МЭ, М4;

олово – 01, 02, ОЭ и 04; свинец – СВ, СО, С1, С2, С3, С4;

цинк – ЦВ, ЦО, Ц1, Ц2, Ц3, Ц4;

магний – Мг1, Мг2.

Латуни. По сравнению с чистой медью латуни имеют большую прочность, пластичность и твердость, они более жидкотекучи и коррозионностойки.

Кроме простой латуни, применяются специальные латуни с добавками железа, марганца, никеля, олова, кремния. Количество легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7–8%. Специальные латуни имеют повышенные механические свойства; некоторые из них по прочности не уступают среднеуглеродистой стали.

По ГОСТу латуни обозначаются буквой Л и цифрой, которая указывает количество меди в сплаве.

Обозначение легирующих компонентов следующее: Ж – железо; Н – никель; О – олово; К – кремний; С – свинец. Количество легирующего компонента указывается цифрами.

Латуни бывают литейные (применяемые для фасонного литья) и подвергаемые обработке давлением. Латунь применяют для изготовления листов, проволоки, гильз, штампованной арматуры, посуды.

Бронзы бывают: оловянные, алюминиевые, кремнистые, никелевые. Оловянные бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошей жидкотекучестью и повышенными антифрикционными свойствами. Из них изготавливают отливки. Простые оловянные бронзы применяются редко, так как введением дополнительных элементов (цинка, свинца, никеля) можно достигнуть лучших свойств при меньшем содержании дефицитного олова.

По ГОСТу оловянные бронзы маркируются буквами БрО и цифрой, которая показывает содержание олова; последующие буквы и цифры показывают наличие и количество в бронзе дополнительных элементов. Для обозначения дополнительных элементов применяют те же буквы, что и при маркировке специальной латуни; цинк обозначается буквой Ц, а фосфор буквой Ф.

Олово – дорогой металл и в практике применяется редко. Заменителями оловянной бронзы являются алюминиевая, кремнистая, марганцовая и другие бронзы.

Алюминиевая бронза применяется с содержанием до 11 % А1. По структуре бронза в основном (до 9,7 % А1) однофазная и представляет твердый раствор алюминия в меди. По механическим свойствам алюминиевая бронза лучше оловянной, она обладает пластичностью, коррозионной стойкостью и износоупорностью.

Недостаток – большая усадка при охлаждении от жидкого состояния, а также в легком образовании окислов алюминия в жидкой бронзе, что ухудшает ее жидкотекучесть. Дополнительные элементы (железо, марганец) повышают ее механические свойства. Кремнистая бронза относится к однородным сплавам – твердым растворам, обладает высокими механическими и литейными свойствами. Заменяет оловянную бронзу. Для повышения свойств в кремнистые бронзы вводятся марганец, никель.

## **Особенности цветных металлов**

1. Некоторые металлы (медь, магний, алюминий) обладают сравнительно высокими теплопроводностью и удельной теплоемкостью, что способствует быстрому охлаждению места сварки, требует применения более мощных источников теплоты при сварке, а в ряде случаев предварительного подогрева детали.

2. Для некоторых металлов (медь, алюминий, магний) и их сплавов наблюдается довольно резкое снижение механических свойств при нагреве, в результате чего в этом интервале температур металл легко разрушается от ударов, либо сварочная ванна даже проваливается под действием собственного веса (алюминий, бронза).

3. Все цветные сплавы при нагреве в значительно больших объемах, чем черные металлы, растворяют газы окружающей атмосферы и химически взаимодействуют со всеми газами, кроме инертных. Особенно активные в этом смысле более тугоплавкие и химически более активные металлы: титан, цирконий, ниобий, тантал, молибден. Эту группу металлов часто выделяют в группу тугоплавких, химически активных металлов.

## **Особенности обработки цветных металлов**

Цветные металлы прочны и долговечны, способны переносить высокие температуры. Недостаток только один — способность корродировать и разрушаться под воздействием кислорода .

Одним из самых эффективных методов защиты цветного металла от атмосферной коррозии считается нанесение защитных лакокрасочных материалов. Существуют три группы средств для защиты металлических поверхностей: грунтовки, краски и универсальные препараты «три в одном». Грунтовка — незаменимое средство борьбы с атмосферным окислением, одно- или двухслойное грунтование производится перед окрашиванием, помимо защитных свойств сообщая финишному покрытию лучшую адгезию к основанию. При выборе состава важно знать, что для разных металлов используются разные грунтовки

Для алюминиевых оснований используют специальные грунтовки на цинковой основе либо уретановые краски. Медь, латунь и бронзу обычно не красят — эти металлы поставляются на рынок с заводской обработкой, защищающей поверхность и подчеркивающей ее красоту. Если же целостность такого «фирменного» покрытия со временем нарушается , его лучше полностью удалить с помощью растворителя , после чего основание следует отполировать и покрыть эпоксидным или полиуретановым лаком

## ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Пластические массы (далее – пластмассы) – это синтетические материалы, получаемые на основе органических и элементо-органических полимеров.

### *Общая характеристика пластических масс*

Свойства пластмасс определяются свойствами полимеров, составляющих их основу.

*По составу* пластмассы могут быть простыми (термопласты – химические полимеры линейной или разветвленной структуры) и сложными (которые помимо полимеров, содержат различные добавки: наполнители, красители, пластификаторы, отвердители и т.д.).

*Связующее вещество* является обязательным компонентом. Такие простые пластмассы, как полиэтилен, вообще состоят из одного связующего вещества.

*Наполнителями* служат твердые материалы органического и неорганического происхождения. Наполнители придают пластмассам прочность, твердость, теплостойкость, а также некоторые специальные свойства, например антифрикционные или наоборот фрикционные. Кроме того, наполнители снимают усадку при прессовании.

В зависимости от наполнителя различают пресс-порошковые, волокнистые и слоистые пластмассы, а также пенопласты, когда наполнитель применяется в виде газа (воздух или нейтральный газ).

*Пластификаторы* представляют собой нелетучие жидкости с низкой температурой замерзания. Растворяясь в полимере, пластификаторы повышают его способность к пластической деформации. Пластификаторы вводят для расширения температурной области высокоэластического состояния, снижения жесткости пластмасс и температуры хрупкости. В качестве пластификатора применяют сложные эфиры, низкомолекулярные полимеры и др. Пластификаторы должны оставаться стабильными в условиях эксплуатации. Их наличие улучшает морозостойкость и огнестойкость пластмасс.

В состав пластмасс могут также входить стабилизаторы, отвердители, красители и другие вещества.

*Стабилизаторы* вводят в пластмассы для повышения долговечности. Светостабилизаторы предотвращают фотоокисление, а антиокислители – термоокислительные реакции.

*Отвердители* изменяют структуру полимеров, влияя на свойства пластмасс. Чаще используют отвердители, ускоряющие полимеризацию. К ним относятся оксиды некоторых металлов, уротропин и др.

*Специальные химические добавки* вводят с различными целями; например, сильные органические яды – фунгициды – для предохранения пластмасс от плесени и поедания насекомыми в условиях тропиков.

*Смазывающие вещества* (стеарин, олеиновая кислота) применяют для предотвращения прилипания пластмассы к оборудованию при производстве и эксплуатации изделий.

*Красители и пигменты* придают пластмассам желаемую окраску.

Для пластмасс характерны следующие свойства:

- низкая плотность (обычно 1–1,8 г/см<sup>3</sup>, в некоторых случаях 0,02–0,04 г/см<sup>3</sup>);
- высокая коррозионная стойкость. Пластмассы не подвержены электрохимической коррозии, на них не действуют слабые кислоты и щелочи. Существуют пластмассы, стойкие к воздействию концентрированных кислот и щелочей. Большинство пластмасс безвредны в санитарном отношении;
- высокие диэлектрические свойства;

- хорошая окрашиваемость в любые цвета. Некоторые пластмассы могут быть изготовлены прозрачными, не уступающими по своим оптическим свойствам стеклам;
- механические свойства широкого диапазона. В зависимости от природы выбранных полимеров и наполнителей пластмассы могут быть твердыми и прочными или же гибкими и упругими. Ряд пластиков по своей механической прочности превосходит чугун и бронзу. При одной и той же массе пластмассовая конструкция может по прочности соответствовать стальной;
- антифрикционные свойства. Пластмассы могут служить полноценными заменителями антифрикционных сплавов (оловянных бронз, баббитов и др.). Например, полиамидные подшипники скольжения длительное время могут работать без добавления смазочного материала;
- высокие теплоизоляционные свойства. Все пластмассы, как правило, плохо проводят теплоту, а теплопроводность таких теплоизоляторов, как пено- и поропласты, почти в 10 раз меньше, чем у обычных пластмасс;
- хорошие технологические свойства.

Изделия из пластмасс изготавливают способами безотходной технологии (без снятия стружки) – литьем, прессованием, формованием с применением невысоких давлений или в вакууме.

Недостатком большинства пластмасс является их невысокая теплостойкость (100–120 °С). В настоящее время верхний температурный предел для некоторых пластмасс поднялся до 300–400°С. Пластмассы могут работать при умеренно низких температурах (до -70 °С), а в отдельных случаях – при криогенных температурах. Недостатками пластмасс также являются их низкая твердость, склонность к старению, ползучесть, нестойкость к большим статическим и динамическим нагрузкам. Однако достоинства пластмасс значительно превосходят их недостатки, что обуславливает высокие темпы роста их ежегодного производства.

Свойства пластмасс зависят от состава отдельных компонентов, их сочетания и количественного соотношения, что позволяет изменять характеристики пластиков в достаточно широких пределах.

По характеру связующего вещества пластмассы подразделяют на термопластичные (термопласты), получаемые на основе термопластичных полимеров, и термореактивные (реактопласты), получаемые на основе термореактивных смол. Термопласты удобны для переработки в изделия, дают незначительную усадку при формовании (1–3%). Материал отличается большой упругостью, малой хрупкостью и способностью к ориентации. Обычно термопласты изготавливают без наполнителя. В последние годы стали применять термопласты с наполнителями в виде минеральных и синтетических волокон (органопласты).

Термореактивные полимеры после отверждения и перехода связующего в термостабильное состояние хрупки, часто дают большую усадку (до 10–15%) при их переработке, поэтому в их состав вводят усиливающие наполнители.

По виду наполнителя пластмассы делят на порошковые (карболита) с наполнителями в виде древесной муки, графита, талька и др.; волокнистые с наполнителями в виде очесов хлопка и льна (волокниты), стеклянного волокна (стекловолокниты), асбеста (асбоволокниты); слоистые, содержащие листовые наполнители (листы бумаги в гетинаксе, хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые ткани в текстолите, стеклотекстолите и асботекстолите, древесный шпон в древеснослоистых пластиках); газонаполненные (наполнитель – воздух или нейтральные газы – пено- и поропласты).

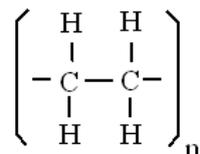
По применению пластмассы можно подразделить на силовые (конструкционные, фрикционные и антифрикционные, электроизоляционные) и несиловые (оптически прозрачные, химически стойкие, электроизоляционные, теплоизоляционные, декоративные, уплотнительные, вспомогательные). Однако это деление условно, так как одна и та же пластмасса может обладать разными свойствами.

### Термопластичные пластмассы (термопласты)

В основе этих пластмасс лежат полимеры линейных и разветвленных структур, иногда в состав вводят пластификаторы. Они способны работать при температуре до 70 °С, специальные термостойкие полимеры до 400–600 °С. Предел прочности термопластов 10–100 МПа, модуль упругости  $(1,8–3,5) \cdot 10^3$  МПа. Длительное статическое нагружение снижает прочность термопласта из-за появления вынужденно-эластической деформации.

Основные виды термопластов:

*Полиэтилен (ПЭ)* – структурная формула:



Неполярен, получается полимеризацией газа этилена при низком или высоком давлении.

По плотности полиэтилен подразделяют на полиэтилен низкой плотности, получаемый в процессе полимеризации при высоком давлении (ПЭВД), содержащий 55–65% кристаллической фазы, и полиэтилен высокой плотности, получаемый при низком давлении (ПЭНД), имеющий кристалличность до 74–95%.

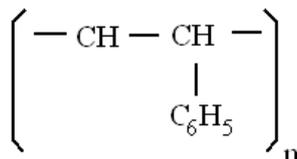
Чем выше плотность и кристалличность полиэтилена, тем выше прочность и теплостойкость материала. Длительно полиэтилен можно применять при температуре до 60–100 °С. Морозостойкость достигает -70 °С и ниже. Полиэтилен химически стоек и при нормальной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей.

Недостатком полиэтилена является его подверженность старению. Для защиты от старения в полиэтилен вводят стабилизаторы и ингибиторы (2–3% сажи замедляют процессы старения в 30 раз).

Под действием ионизирующего излучения полиэтилен твердеет: приобретает большую прочность и теплостойкость.

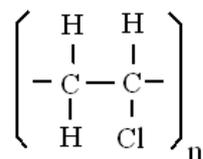
*Полиэтилен высокого давления (ПЭВД)* имеет более разветвленные макромолекулы. Полиэтилен способен длительно работать при температуре 60–100 °С. Морозостоек до -70 °С, химически стоек в растворителях, при 20 °С - эластичный диэлектрик. Подвержен старению, т.е. изменению свойств со временем. Для защиты от старения вводят сажу (2–3%). Выпускается в виде пленки, листов, труб, блоков. Применяется для изоляции проводов, коррозионно-стойких труб, прокладок, уплотнителей, шлангов, деталей высокочастотных установок, оболочек контейнеров.

*Полистирол (ПС)* – структурная формула:



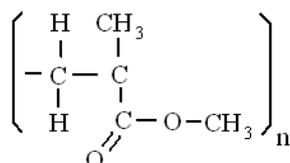
Полярный, аморфный, имеющий преимущественно линейное строение. Обладает высокой твердостью и жесткостью. Имеет высокие диэлектрические свойства, химическую стойкость в щелочах и кислотах, маслах. При температуре выше 200 °С разлагается с образованием стирола. Полистирол хрупок при низких температурах, на поверхности постепенно образуются трещины, приводящие к разрушению.

*Поливинилхлорид (ПВХ)* – линейный аморфный полимер, структурная формула:



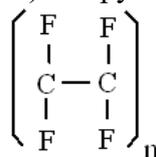
Полярен, существует в двух видах – блочный винипласт и пластикат. Винипласт содержит стабилизаторы, а пластикат – пластификаторы. ПВХ стоек во многих химически активных средах. Применяют как защитные покрытия, в виде труб для подачи агрессивных газов, жидкости, воды. Пластикат, содержащий до 40% пластификатора, выпускается в виде труб, листов, лент, как кожезамениватель, уплотнитель гидросистем, изолятор проводов.

*Полиметакрилат* (органическое стекло) – структурная формула:



Аморфный полимер, полярен, прозрачен, стоек к разбавленным кислотам и щелочам, но растворяется в органических кислотах, может работать при температуре от -60 до +80 °С. Выпускается в виде листов 0,8–4 мм для изготовления многослойных стекол (триплексов), остекления кабин самолетов и автомобилей, создания оптических линз.

*Политетрафторэтилен* (фторпласт 4) – структурная формула:



Неполярен, имеет аморфно-кристаллическую структуру, способен работать при температуре до 250 °С. Имеет невысокую твердость, обладает уникальной химической стойкостью в соляной, серной, азотной кислотах, царской водке, в щелочах и перекисях. Этот материал не горит и не смачивается водой и многими жидкостями. Не охрупчивается до -269 °С и сохраняет пластичность до -80 °С. Имеет низкий коэффициент трения (0,04), не зависящий от температуры.

Недостатком являются токсичность из-за выделения фтора во время работы при высоких температурах и трудность переработки из-за низкой пластичности.

Служит для изготовления деталей, стойких к действию агрессивных сред (емкости для хранения сильных окислителей, аккумуляторы, трубы, шланги, мембраны, уплотнители, антифрикционные покрытия на металлических втулках, подшипниках, а также на электрических и радиотехнических деталях). Свойства некоторых термопластов приведены в табл. 1.

### ***Терморезактивные пластмассы (терморезактопласты)***

Эти материалы изготавливаются на основе терморезактивных смол – формальдегидных, аминокальдегидных, эпоксидных, кремнеорганических, полиамидных, полиэфиров, которые являются связующим веществом. Смолы склеивают как отдельные слои наполнителя, так и элементарные волокна, воспринимая нагрузку одновременно с ними. Это полярные материалы, имеющие коэффициент линейного расширения, близкий к наполнителю - порошккам, волокнам и др.

Таблица 3

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Рабочая температура, °С		σ в, МПа при растяжении	Модуль упругости, МПа	δ, % на разрыв	Ударная вязкость, КДж/м <sup>2</sup>
		in	ax				
Полиэтилен ПЭВД	913–29	70	05	10–17	120–260	15–20	Не ломается
Полиэтилен ПЭНД	949–53	70	25	8–35	50–750	0–12	2–150
Полистирол	1050–080	20	0	5	700	,5	16–20
Фторопласт4	215–2240	269	50	4–35	70–850	50–500	10–100
Поливинилхлорид	1400	40	0	0–120	600–3000	–100	75–80
Полиметилакрид	1200	60	0	3–100	900–4160	,5–20	8–18

Пластмассы с порошковым наполнителем. В качестве наполнителя применяют *древесную муку, молотые кварц, асбест, слюду, графит* и т.д. Имеют невысокие механические свойства, водостойки, химически стойки, обладают повышенными электроизоляционными показателями, устойчивы к влажному тропическому климату.

Пластмассы на основе резольных и наволочных смол с асбестовым или слюдяным наполнителем. Жаростойки и влагостойки. Маркируются эти пластмассы буквой К – номером связующей смолы, и цифрой, соответствующей наполнителю: целлюлоза – 1, древесная мука – 2, слюдяная мука – 3, плавиковый шпат – 4, молотый кварц – 5, асбест – 6. Например, К220-2-3 резольная смола № 220, древесная (2) и слюдяная (3) мука.

Пресс-порошки делятся на три группы:

1 – для ненагруженных деталей, 2 – для деталей электротехнического назначения, 3 – специального назначения (влаго- и теплостойкие, грибостойкие, повышенной прочности).

Пластмассы с волокнистым наполнителем. В зависимости от наполнителя различают следующие марки пластмасс: *хлопковые очесы (волокнит) Вл, асбестовые нити (асбоволокнит) Кб, КФЗ, стеклянное волокно – стекловолокнит (АГ-4В, АГ-4С)*. Эти материалы обладают большей, чем порошковые пластмассы, ударной вязкостью и прочностью при растяжении.

*Асбоволокниты*. Наполнитель – асбест, связующее – формальдегидная смола. Применяют для фрикционных дисков, колодок тормозов.

*Стекловолокниты*. Наполнитель – стекловолокно, связующее – синтетическая смола. Применяют для деталей любой конфигурации, работающих в диапазоне температур -60 ° до 200 °С. Волокниты применяют также для деталей общего технического назначения: силовые детали (шкивы, моховики, втулки), электроизоляторы.

*Слоистые пластмассы (текстолиты)*. Наполнитель – листы различных материалов, уложенные слоями. Они придают материалу пластичность но формируют анизотропию свойств. Связующим являются различные смолы. Материал выпускают в виде заготовок, труб, листов, из которых делают различные детали.

*Текстолит.* Наполнитель – хлопчатобумажная ткань, связующее – термореактивные смолы. По назначению подразделяются на конструктивные (ПТК, ПТ, ПТМ), электротехнические (А, БГ, ВЧ), гибкие – прокладочные. Применяются для изготовления зубчатых колес, вкладышей подшипников. Могут заменять бронзу. Рабочая температура не должна превышать 90 °С. Вкладыши подшипников применяют в прокатных станах, турбинах, насосах и т.д.

*Асботекстолит.* Наполнитель – асбестовая ткань и до 43% связующее смолы. Конструкционный, фрикционный и термоизоляционный материал.

Применяют для изготовления лопаток бензонасосов, фрикционных дисков, тормозных колодок, в качестве теплозащитного и теплоизоляционного материала.

*Стеклотекстолит.* Наполнитель – стеклянные ткани из органически стекла. Обладает высокой прочностью ( $\sigma > 500$  МПа), по удельной прочности превосходит металлические сплавы, коррозионностоек, теплостоек, имеет высокие диэлектрические свойства. Широко применяется в самолетостроении, электротехнике (обшивка крыльев, закрылки детали оперения и т.д.).

Марки: КАСТ (основа – формальдегидная смола), СТК, СТК-9Ф, СК-9А (основа – кремнийорганические смолы).

*ДСП* – древесно-слоистая пластмасса. Наполнитель – тонкие листы древесного шпона, пропитанные феноло- и крезольно-формальдегидным смолами и спрессованные в виде листов и плит. Имеет высокие физические механические свойства, низкий коэффициент трения. Заменяет текстолит, цветные сплавы. Применяют для зубчатых колес, работающих без шума, подшипников, втулок, шкивов, деталей лодок, текстильных машин и т.д.

*Гетинакс.* Наполнитель – бумага, основа – различные смолы. Различают два вида пластмасс – электротехнические и декоративные. Декоративный вид пластмасс работает при температуре 120–140 °С, устойчив против химического воздействия. Применяется для обшивки вагонов, кабин самолетов, кают, в строительстве.

### ***Газонаполненные пластмассы***

Газонаполненные пластмассы – гетерогенные дисперсные системы, состоящие из твердой или упругоэластичной фаз.

Структура этих пластмасс: эластичный полимер как связка, который образует стенки элементарных ячеек или пор с распределенной в них фазой – наполнителем – газом.

Подобная структура определяет малую плотность и высокие теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства.

*Пенопласт* изготавливают на основе полистирола, поливинилхлорида, фенола, эпоксидных смол, полиуретана, поролон и др. полимеров при их вспенивании в состоянии высокоэластичной деформации, т.е. при температурах, превышающих  $t_c$  на 10–20 °С. Пенопласты имеют ячеистую структуру, газообразные наполнители отделены друг от друга и от окружающей среды тонким слоем полимера.

Пористая структура получается введением в состав смол газообразователей –  $(\text{NH}_4)\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , органических порофоров (азодинитрил, подиизоцианид и др.). Пенополистирол (ПС), пенополивинил-хлорид (ПВХ) способны работать до +60 °С. Фенолкаучуковые пенопласты способны работать до 120 °С. Добавки в их состав алюминиевой пудры (ФК-20-А-20) повышают рабочую температуру до 250 °С.

Используются пенопласты как теплоизоляционный материал, применяемый в холодильниках, рефрижераторах, для ударопоглощающей тары, звукоизоляторов и т.д.



*Поропласты* (губчатые материалы) – открытодыристая структура, система ячеек с частично разрушенными перегородками. Газообразная фаза в такой системе может циркулировать. Изготавливают поропласты на основе простых полимеров, вводя в состав композиций вещества, способные выкипать при нагреве или вымываться, что приводит к образованию пор. Поропласты выпускают в виде блоков с пленкой на поверхности. Эти материалы отличаются высокой звукопоглощающей способностью.

*Сотопласты* изготавливают из гофрированных листов полимера, склеенных в виде пчелиных сот. Применяются для обшивки панелей и как теплоизоляционный, электроизоляционный материал.

### **Вопросы по теме «Пластические массы»:**

1. Из чего состоят пластмассы?
2. Каковы основные недостатки пластмасс?
3. Что такое термопласт?
4. Как ведут себя реактопласты при нагревании?
5. Перечислите основные виды термопластов.
6. Почему реактопласты не подвергают повторной переработке?

## **РЕЗИНЫ**

Резиной называется продукт специальной обработки (вулканизации) смеси каучука и серы с различными добавками.

Вулканизация – превращение каучука в резину, осуществляемое с участием так называемых вулканизирующих агентов и под действием ионизирующей радиации.

Каучуки являются полимерами с линейной структурой и при вулканизации превращаются в высокоэластичные редкосетчатые материалы – резины. Вулканизирующими добавками служат сера и другие вещества. С увеличением содержания вулканизатора (серы) сетчатая структура резины становится более частой и менее эластичной. При максимальном насыщении серой (30–50%) получают твердую резину (эбонит), при насыщении серой 10–15% – полутвердую резину. Обычно в резине содержится 5–8% серы.

Для ускорения вулканизации вводят ускорители, например оксид цинка.

Резина как технический материал отличается от других материалов высокими эластическими свойствами, которые присущи каучуку – главному исходному компоненту резины. Она способна к очень большим деформациям (относительное удлинение достигает 1000%), которые почти полностью обратимы. При нормальной температуре резина находится в высокоэластическом состоянии, и ее эластические свойства сохраняются в широком диапазоне температур.

Модуль упругости лежит в пределах 1–10 МПа, т. е. он в тысячи и десятки тысяч раз меньше, чем для других материалов. Особенностью резины является ее малая сжимаемость (для инженерных расчетов резину считают несжимаемой); коэффициент Пуассона 0,4–0,5, тогда как для металла эта величина составляет 0,25–0,30. Другой особенностью резины как технического материала является релаксационный характер деформации. При нормальной температуре время релаксации может составлять  $10^{-4}$  с и более. При работе резины в условиях многократных механических напряжений часть энергии, воспринимаемой изделием, теряется на внутреннее трение (в самом каучуке и между молекулами каучука и частицами добавок); это трение преобразуется в теплоту и

является причиной гистерезисных потерь. При эксплуатации толстостенных деталей (например, шин) вследствие низкой теплопроводности материала нарастание температуры в массе резины снижает ее работоспособность.

Кроме отмеченных особенностей для резиновых материалов характерны высокая стойкость к истиранию, газо- и водонепроницаемость, химическая стойкость, электроизолирующие свойства и небольшая плотность.

### ***Состав и классификация резин***

Главным исходным компонентом резины, придающим ей высокие эластические свойства, является каучук. Каучуки бывают натуральные (НК) и синтетические (СК). Натуральный каучук получают коагуляцией латекса (молочного сока) каучуконосных деревьев, растущих в Бразилии, Юго-Восточной Азии, на Малайском архипелаге. Синтетические каучуки (бутадиеновые, бутадиен-стирольные и др.) получают методами полимеризации. Впервые синтез бутадиенового каучука полимеризацией бутадиена, полученного из этилового спирта, осуществлен в 1921 г. русским ученым С.В. Лебедевым. Разработаны методы получения синтетических каучуков на основе более дешевого сырья, например нефти и ацетилена.

Помимо каучука в состав резин входят:

*Вулканизирующие вещества* (агенты) участвуют в образовании пространственно-сеточной структуры вулканизата. Обычно в качестве таких веществ применяют серу и селен, для некоторых каучуков перекиси. Для резины электротехнического назначения вместо элементарной серы (которая взаимодействует с медью) применяют органические сернистые соединения – тиурам (тиурамовые резины).

*Ускорители* процесса вулканизации: полисульфиды, оксиды свинца, магния и другие влияют как на режим вулканизации, так и на физико-механические свойства вулканизатов. Ускорители проявляют свою наибольшую активность в присутствии оксидов некоторых металлов (цинка и др.), называемых поэтому в составе резиновой смеси активаторами.

*Противостарители* (антиоксиданты) замедляют процесс старения резины, который ведет к ухудшению ее эксплуатационных свойств. Существуют противостарители химического и физического действия. Действие первых заключается в том, что они задерживают окисление каучука в результате окисления их самих или за счет разрушения образующихся перекисей каучука (применяются альдолы, неозон Д и др.). Физические противостарители (парафин, воск) образуют поверхностные защитные пленки, они применяются реже.

*Мягчители* (пластификаторы) облегчают переработку резиновой смеси, увеличивают эластические свойства каучука, повышают морозостойкость резины. В качестве мягчителей вводят парафин, вазелин, стеариновую кислоту, битумы, дибутилфталат, растительные масла. Количество мягчителей составляет 8–30% массы каучука.

Наполнители по воздействию на каучук подразделяют на активные (усиливающие) и неактивные (инертные). Активные наполнители (углеродистая сажа и белая сажа – кремнекислота, оксид цинка и др.) повышают механические свойства резин: прочность, сопротивление истиранию, твердость. Неактивные наполнители (мел, тальк, барит) вводят для удешевления стоимости резины.

Часто в состав резиновой смеси вводят *регенерат* – продукт переработки старых резиновых изделий и отходов резинового производства. Кроме снижения стоимости регенерат повышает качество резины, снижая ее склонность к старению.

Красители минеральные или органические вводят для окраски резин. Некоторые красящие вещества (белые, желтые, зеленые) поглощают коротковолновую часть солнечного спектра и этим защищают резину от светового старения.

В настоящее время резиновые материалы классифицируются по виду сырья, виду наполнителя, степени упорядочения макромолекул и пористости, экологическим способам переработки, типам теплового старения и изменению объема после пребывания в нефтяной жидкости.

Классификация по виду сырья учитывает наименование каучуков, явившихся исходным сырьем при производстве резиновых материалов: НК – натуральный каучук, СКБ – синтетический каучук бутадиеновый, СКС – бутадиен-стирольный каучук, СКИ – синтетический каучук изопреновый, СКН – бутадиен-нитрильный каучук, СКФ – синтетический фторосодержащий каучук, СКЭП – сополимер этилена с пропиленом, ХСПЭ – хлорсульфополиэтилен, БК – бутилкаучук, СКУ – полиуретановые каучуки.

По виду различают наполнители для резиновых материалов *порошкообразные и ткани*.

По степени упорядочения макромолекул и пористости резиновые материалы могут быть *мягкими, жесткими* (эбонитовыми), *пористыми* (губчатыми) и *пастообразными*. Плотность губчатой резины 100–750 кг/м<sup>3</sup>.

Среди технологических способов переработки для резиновых материалов используются *выдавливание, прессование и литье*.

По тепловому старению существуют *семь типов*: Т07, ..., Т25.

По изменению объема после пребывания в нефтяной жидкости различают *семь классов*: К1, ..., К7.

Наиболее крупные потребители резины – шинная промышленность (свыше 50%) и промышленность резинотехнических изделий (более 22%).

### ***Получение изделий из резины***

Технология изготовления изделий из резиновых смесей состоит из ряда операций, выполняемых в определенной последовательности:

1. Нарезание каучука на куски и его пластификация путем многократного пропускания через нагретые до 40–50 °С валки с целью улучшения смешиваемости с другими ингредиентами.

2. Смешивание каучука с другими компонентами в строго определенной последовательности: сначала вводят противостарители, затем – вулканизаторы. Смешивание проводят в резинмесительных или вальцовочных машинах.

3. Каландрование резиновой смеси с целью получения сырой резины путем пропускания ее через трехбайтовую клетку листопркатного стана-каландра. Валки стана имеют разную температуру: верхний – 90 °С, нижний – 15 °С. Резиновая масса нагревается и под действием валков превращается в лист или ленту.

4. Изготовление изделий из сырой резины методами прессования в специальных пресс-формах под давлением 5–10 МПа или литьем под давлением путем заполнения формы предварительно разогретой сырой резиной.

5. Вулканизация – формирование физико-механических свойств изделия. Горячая вулканизация на вулканизационных машинах при температуре 130–150 °С (нагретый пар, горячая вода и т.д.). При вулканизации имеет место химическое взаимодействие каучука и вулканизаторов, в результате чего линейная молекулярная структура каучука преобразуется в сетчатую.

## *Классификация резиновых материалов по назначению и области применения*

Резиновые материалы делят на группы *общего* и *специального назначения*.

Для резин общего назначения основными компонентами являются неполярные каучуки – НК, СКИ, СКС и СКВ. Резины на основе НК отличаются высокой эластичностью, прочностью, водо- и газонепроницаемостью, высокими электроизоляционными свойствами: удельное электросопротивление  $\rho_{ov} = 3 \cdot 10^{14} - 23 \cdot 10^{18}$  Ом·см; диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2,5$ . Наибольшее распространение в промышленности получили резины на основе СКС (СКС-10, СКС-30, СКС-50). Это те резины, которые хорошо работают при многократных деформациях, имеют хорошее сопротивление старению; по газонепроницаемости и диэлектрическим свойствам равноценны резинам на основе НК.

Резиновые материалы общего назначения используются для производства изделий, работающих в воде, на воздухе, в слабых растворах кислот и щелочей при температурах эксплуатации  $-35$ – $+130$ °С. Такими изделиями являются шины, рукава, конвейерные ленты, изоляция кабелей и др.

Резиновые материалы специального назначения делятся на *бензино-маслостойкие, химически стойкие, коррозионно-стойкие, светостойкие, тепло- и морозостойкие, электротехнические* и *износостойкие*.

Бензиномаслостойкие резиновые материалы изготавливают на основе наирита, тиокола, СКН и других типов каучуков. Их основными потребительскими свойствами являются устойчивость к воздействию гидравлических жидкостей, масло-, бензино- и озоностойкость, а также водонепроницаемость. Резины, стойкие к воздействию гидравлических жидкостей, изготавливают: для работы в масле – на основе СКН, для кремнийорганических жидкостей – на основе каучуков НК, СКМС-10 и др.

Бензиномаслостойкие резины на основе каучуков СКН могут работать в среде бензина, топлива, масел в интервале температур от  $-30$  до  $130$ °С. Акрилатные резины (марки БАК) теплоустойчивы, обладают адгезией к полимерам и металлам, стойки к действию серосодержащих масел и кислорода, но обладают малой эластичностью, низкой морозостойкостью и невысокой стойкостью к воздействию горячей воды и пара. Из бензиномаслостойких резин изготавливают шины, варочные камеры, диафрагмы и т.д. Акрилатные резины широко применяют в автомобилестроении.

Химически стойкие резиновые материалы изготавливают на основе бутилкаучука. К изделиям из таких резин предъявляются повышенные требования по масло-, бензино-, растворителе- и теплоустойчивости. Они используются, например, для изготовления транспортных лент подачи горючих материалов.

Коррозионно-стойкие резиновые материалы изготавливают на основе ХСПЭ. Они являются незаменимым конструкционным материалом для изделий, работающих в морской воде. Кроме всего прочего, они не обрастают при эксплуатации водорослями и микроорганизмами.

Светоозоностойкие резиновые материалы изготавливают на основе насыщенных каучуков – СКФ, СКЭП, ХСПЭ и БК. Резины на основе фторосодержащего каучука СКФ устойчивы к тепловому старению, воздействию масел, топлива, различных растворителей (даже при повышенных температурах), негорючие, обладают высоким сопротивлением истиранию, но имеют низкую эластичность и малую стойкость к большинству тормозных жидкостей. Резины на основе СКФ и этиленпропиленовых каучуков СКЭП стойки к действию сильных окислителей ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  и др.) и не разрушаются при работе в атмосферных условиях в течение нескольких лет. Резины на основе хлорсульфополиэтиленового каучука ХСПЭ применяют как конструкционный материал (противокоррозионные, не обрастающие в морской воде водорослями и микроорганизмами покрытия), а также для защиты от гамма-излучения. Резины на основе бутилкаучука БК широко применяют в шинном производстве, а также для

изготовления изделий<sub>1</sub> работающих в контакт: с концентрированными кислотами и другими химикатами. Светоозоностойкие резиновые материалы предназначены для масло- и бензин стойких изделий – гибких шлангов, диафрагм, уплотнителей и др.

Теплостойкие резиновые материалы изготавливают на основе НК, СКТ и СКС. Морозостойкими являются резины на основе каучуков, имеющих низкие температуры стеклования, например НК, СКС-10, СКТ. Эти резиновые материалы используются для сверхтепло- и морозостойких изделий, электротехнических деталей и др.

Электротехнические резиновые материалы делятся на две группы: *изоляционные* и *проводящие*. Электроизоляционные резиновые материалы изготавливают на основе неполярных каучуков, например НК, СКБ, СКС, СКТ и БК. Их электрические свойства:  $\rho_{ov} = 10^{11} - 10^{15}$  Ом·см;  $\epsilon = 2,5 - 4$ . Электропроводящие резины для экранированных кабелей получают из натурального, синтетического бутадиенового каучуков, наирита с обязательными добавками сажи и графита в количестве 65–70% по массе каучука. Удельное электросопротивление проводящих резин  $\rho_{ov} = 10^2 - 10^4$  Ом·см.

Износостойкие резиновые материалы изготавливают на основе СКУ. Рабочие температуры резин составляют  $-30 + 130$  °С. Они предназначены для производства шин, амортизаторов, буферов, клапанов, обкладок в транспортных системах, для абразивных материалов, обуви и др.

### ***Факторы, влияющие на свойства резин в процессе эксплуатации***

В процессе эксплуатации резиновые изделия подвергаются различным видам старения (световое, озонное, тепловое, радиационное, вакуумное и др.), что снижает их работоспособность; изменение свойств может быть необратимым. Стойкость резин при старении зависит от степени ненасыщенности каучука, гибкости макромолекул, прочности химической связи в цепи, способности к ориентации и кристаллизации. Изменение свойств оценивается по изменению прочностных и упругих характеристик, по восстанавливаемости резины (изменение величины деформации во времени после снятия нагрузки), стойкости к раздиру (концентрации напряжений).

Прочность кристаллизующихся каучуков (НК, бутил каучук, хлоропрен, СКИ), даже без наполнителей, составляет 20–30 МПа. Работоспособность, долговечность резин при динамическом нагружении определяются усталостной прочностью.

Под действием атмосферных условий, озона происходит растрескивание напряженных резин из ненасыщенных каучуков (НК, БНК, БСК); стойки к озонному старению насыщенные каучуки (СКФ, СКТ и ЭП). Свет вызывает фотоокисление каучуков, которое зависит от наличия в них двойных связей. По убыванию скорости фотоокисления каучуки можно разложить в ряд: НК, СКБ > СКС > БК. Светостойки резины из СКФ и СКТ.

Фотопроект ускоряется при повышении температуры (рис. 50).

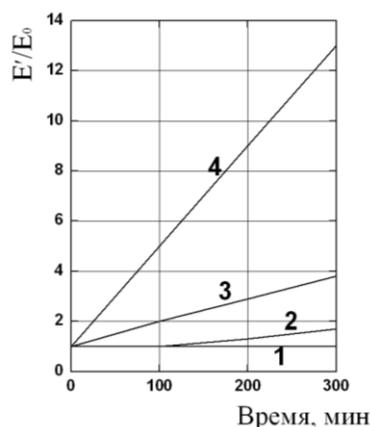


Рисунок 50-. Изменение относительного статического модуля упругости при светостарении вулканизата СКБ: 1 – 25 °С, в темноте; 2 – 80 °С, в темноте; 3 – 25 °С, при освещении; 4 – 80 °С, при освещении

Скорость старения резин в напряженном состоянии выше, чем в свободном состоянии. Повышение озоностойкости достигается введением соответствующих ингредиентов и нанесением защитной пленки (из полиуретана). Сроки службы или хранения изделий из резины определяются по изменению остаточной деформации сжатия  $\epsilon_{ост}$ , которая для уплотнительных материалов допускается до 80%, и релаксации напряжения 0,2.

Для прогнозирования сроков сохранности свойств резины применяют комбинированный метод, сочетающий эксплуатационные испытания полимерного материала с ускоренными.

Принимается следующее соотношение:

$$(t_1/T_1) + (t_2/T_2) = 1,$$

где  $t_1$  – время, в течение которого изделие эксплуатируется (хранится); оно составляет небольшую часть от  $T_1$  – полного срока службы изделия;  $t_2$  – время достижения определенных значений выбранных показателей при ускоренном старении;  $T_2$  – время достижения предельных значений тех же показателей для изделий, подвергавшихся ускоренному старению.

*Термическая стойкость.* Прочность химических связей в макромолекулах и их структура определяют термическую стойкость полимеров. По увеличению термической стойкости каучуки располагаются следующим образом: тиокол < НК < БНК, БСК < СКЭП < СКФ < СКТ.

При повышенных температурах (150 °С) органические резины теряют прочность после 1–10 ч нагрева, резины на основе СКТ могут при этой температуре работать длительно. Прочность силоксановой резины при нормальной температуре меньше, чем прочность органических резин, при 200 °С их прочности одинаковы, а при температуре 250–300 °С она даже выше. Особенно ценны резины на основе СКТ при использовании их в условиях длительного нагрева.

При повышенных температурах протекает деструкция макромолекул, выделяются жидкие и газообразные продукты, образуются циклические и ароматические структуры, обладающие высокой термостойкостью. При температуре в сотни и тысячи градусов термическая стойкость определяется по потере половины массы полимера за 30 мин (например, для НК, СКИ это 330 °С, для СКД – 410 °С).

*Действие отрицательных температур.* При низких температурах снижаются и даже полностью утрачиваются высокоэластические свойства, происходит переход в стеклообразное состояние и возрастание жесткости резины в тысячи и десятки тысячи раз. Коэффициент морозостойкости (уровень потери свойств) при сдвиге больше, чем при сжатии и растяжении ( $K_{мсдв} > K_{мсж} > K_{мраст}$ ).

*Действие ионизирующего излучения на резину – радиационное старение.* На стойкость к радиации влияет природа каучука, ингредиентов, защитных добавок (антирадов), среда. Наибольшая скорость старения у резин на основе структурирующихся каучуков (СКН, СКБ). Под действием радиации у этих резин увеличивается твердость, уменьшается модуль упругости. Наименьшая скорость старения у резин на основе НК, СКИ-3, СКЭП. Деструктируют резины из бутилкаучука БК. Во фторкаучуке происходит сшивание линейных макромолекул, при этом растут твердость и модуль упругости, а прочность снижается незначительно. В порядке повышения относительной радиационной стойкости резин каучуки располагаются в следующий ряд: бутилкаучук < фторсодержащие каучуки < силиконовый каучук < хлоропреновый < акрилатный < бутадиен-нитрильный < бутадиен-стирольный < натуральный < этиленпропиленовый < уретановый. Наиболее стойкими к старению являются уретановые резины (в макромолекулах каучука содержатся фенильные кольца). Стойкость резин к радиации может изменяться в зависимости от модификации каучука, ингредиентов, вида и количества защитных добавок (антирадов).

Резины на основе каучуков СКН и НК широко применяют в ядерной технике для изготовления уплотнительных резинотехнических деталей (РТД).

*Действие вакуума.* Резиновые уплотнители могут работать в вакууме при различных температурах, в агрессивных средах, по высоким давлением. Однако недостатками резины являются газопроницаемость, газовыделение, термоокисляемость. Оценка вакуумстойкости делается по потере массы и зависит от типа каучука. По вакуумстойкости каучуки условно разделяют на три группы:

1 – устойчивые в вакууме (термовакuumная стойкость выше термоокислительной) – СКИ-3, СКД, СКМС-10, СКЭП, СКФ-26, СКТФ-50, СКТФТ-100;

2 – устойчивые в вакууме (термовакuumная стойкость ниже термоокислительной) – СКТ, СКТВ-1, СКТФВ-803;

3 – неустойчивые в вакууме – СКУ, ПХП, СКН-40, СКФ-32.

В промышленности в основном используются резины на основе каучуков НК, СКИ-3, СКН-26, СКФ-26.

### ***Вопросы по теме «Резины»:***

1. Что называется резиной? Каковы ее состав и назначение отдельных компонентов?
2. В чем сущность процесса вулканизации; как изменяются свойства резины после вулканизации?
3. Назовите основные синтетические каучуки, их состав и области применения резин на их основе.
4. Назовите основные физико-механические свойства различных резиновых материалов и их применение.
5. В чем сущность процессов старения резины? Какими способами защищают резину и резиновые детали от старения? Укажите эксплуатационную стойкость резин.
6. Как изменяются свойства резин под действием озона, температуры, радиации и вакуума?

## СТЕКЛА

Неорганическое стекло – это однородное аморфное вещество, получаемое при затвердевании расплава оксидов. Оно не имеет определенной точки плавления или затвердевания и при охлаждении переходит из расплавленного, жидкого состояния в высоковязкое состояние, а затем в твердое, сохраняя при этом неупорядоченность и неоднородность внутреннего строения.

В составе стекла могут присутствовать оксиды трех типов: *стеклообразующие*, *модифицирующие* и *промежуточные*. Стеклообразующими являются оксиды кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка. К модифицирующим оксидам относятся оксиды щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg, Ba) металлов. Модифицирующие оксиды вводят в процессе варки стекол. Глинозем  $Al_2O_3$  повышает механическую прочность, а также термическую и химическую стойкость стекол. При добавке  $B_2O_3$  повышается скорость стекловарения, улучшается осветление и уменьшается склонность к кристаллизации. Оксид свинца  $PbO$ , вводимый главным образом при изготовлении оптического стекла и хрусталя, повышает показатель светопреломления. Оксид цинка  $ZnO$  понижает температурный коэффициент линейного расширения стекла, благодаря чему повышается его термическая стойкость. Промежуточными являются оксиды алюминия, свинца, титана, железа, которые могут замещать часть стеклообразующих оксидов.

Технологические добавки, вводимые в состав стекол, делят по их назначению на следующие группы:

*осветлители* – вещества, способствующие удалению из стекломассы газовых пузырей (сульфат натрия, плавиковый шпат);

*обесцвечиватели* – вещества, обесцвечивающие стекольную массу;

*глушители* – вещества, делающие стекло непрозрачным.

Стеклообразующие оксиды (например,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $B_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ) образуют пространственную сетку из однородных звеньев-полиэдров, а модифицирующие оксиды, располагаясь внутри ячеек сетки, ослабляют или разрывают связи в стеклообразующих оксидах и снижают прочисть, термо- и химическую стойкость стекла, но позволяют регулировать температуру его размягчения и другие свойства (рис. 51).

Химический состав стекла можно изменять в широких пределах, поэтому и свойства стекла могут быть различными. По химическому составу в зависимости от природы стеклообразующих оксидов различают *силикатное*, *алюмосиликатное*, *боросиликатное*, *алюмоборосиликатное* и другие виды стекла.

В зависимости от содержания модификаторов стекло может быть щелочным и бесщелочным.

По назначению различают строительное (оконное, стеклоблоки), бытовое (стеклотара, посуда) и техническое (оптическое, электротехническое, химическое и др.) стекло.

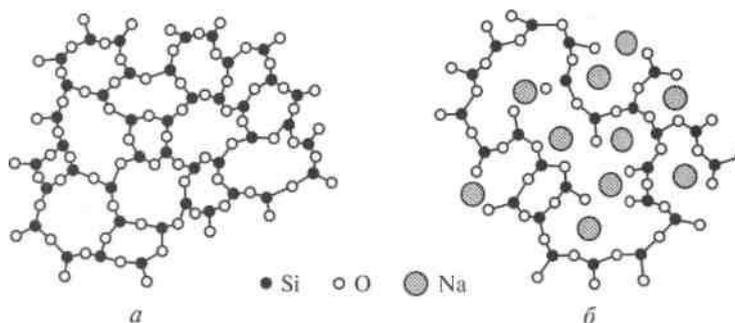


Рис. 51. Схема непрерывной структурной сетки стекла:  
а – кварцевого; б – натрийсиликатного



## Основные свойства стекла

Свойства неорганических стекол изотропны. К основным свойствам относятся:

- плотность – 2200 – 6500 кг/м<sup>3</sup> (для стекол с оксидами свинца – до 8000 кг/м<sup>3</sup>);
- температуры для промышленных стекол:
  - стеклования – 425–600 °С;
  - размягчения – 600–800 °С;
- коэффициент теплопроводности – 0,7–15 Вт/(м·К);
- температурный коэффициент линейного расширения: для кварцевых стекол –  $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ; для строительных стекол –  $9,0 \cdot 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- $\sigma_{\text{сж}}=500\text{--}2000$  МПа;  $\sigma_{\text{раст}}=30\text{--}90$  МПа;  $\sigma_{\text{изг.}}= 50\text{--}150$  МПа.

Более высокие прочностные характеристики имеют стекла бесщелочного состава и кварцевые:

- модуль сдвига  $(2\text{--}3) \cdot 10^4$  МПа;
- модуль Юнга  $(7\text{--}7,5) \cdot 10^4$  МПа;
- коэффициент Пуассона 0,184–0,26;
- твердость 5–7 ед. по Моосу;
- ударная вязкость – 1,5–2,5 кДж/м<sup>2</sup>;
- удельное электросопротивление –  $10^{12}\text{--}10^{18}$  Ом·см;
- диэлектрическая проницаемость – 3,5–16;
- полупроводниковые свойства;
- химическая стойкость;
- высокие оптические свойства.

По оптическим свойствам различают *прозрачное, окрашенное, бесцветное и рассеивающее свет стекла*.

К потребительским свойствам неорганических стекол относятся прозрачность, высокая стойкость к атмосферным воздействиям, водо- и воздухонепроницаемость, термостойкость. Термостойкость стекла характеризует его долговечность в условиях резких изменений температуры и определяется разностью температур, которую стекло может выдержать без разрушения при резком охлаждении в воде ( $t=0$  °С). Для большинства видов стекол термостойкость колеблется от 90 до 170 °С, а для кварцевого стекла она составляет 800–1000 °С.

Стекло поддается механической обработке: его можно пилить циркулярными пилами с алмазной набивкой, обтачивать победитовыми резцами, резать алмазом, шлифовать, полировать.

Способы воздействия на неорганические стекла определяются необходимостью нейтрализовать дефектный поверхностный слой. Их можно разделить на четыре группы: механическая обработка (*полирование*), химическая обработка (*травление*), термическая обработка (закалка), химико-термическая обработка. Так, закалка, при которой можно получить анизотропию свойств, и химико-термическая обработка стекла в несколько раз повышают показатели прочности и ударную вязкость, а также увеличивают термостойкость. Травление закаленного неорганического стекла плавиковой кислотой способствует удалению поверхностных *дефектов и также повышает прочность и термостойкость*.

## Классификация стекол по назначению

Неорганические стекла классифицируются *по виду стеклообразующего вещества, виду модификаторов, технологии изготовления и назначению.*

По виду стеклообразующего вещества неорганические стекла делятся на *силикатные* ( $\text{SiO}_2$ ), *алюмосиликатные* ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ), *боросиликатные* ( $\text{B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ), *алюмоборосиликатные* ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ), *алюмофосфатные* ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ ), *халькогенидные* (например,  $\text{As}_{31}\text{Ge}_{30}\text{Se}_{21}\text{Te}_{180}$ ), *галогенидные* и другие стекла.

По виду модификаторов различают *щелочные, бесщелочные и кварцевые неорганические стекла.* Прочность щелочных стекол под действием влаги уменьшается вдвое, так как вода выщелачивает стекло. При этом, образуются щелочные растворы, которые расклинивают стекло, вызывая появление микротрещин в поверхностном слое.

По технологии изготовления неорганическое стекло может быть получено *выдуванием, литьем, штамповкой, вытягиванием* в листы, трубки, волокна и др. Стекло выпускается промышленностью в виде готовых изделий, заготовок и отдельных деталей.

По назначению неорганические стекла делятся на *техническое, строительное и бытовое* (стеклотара, посудное, бытовое и др.).

*Техническое стекло* по области применения делится на *электротехническое, транспортное; оптическое, светотехническое, термостойкое, тугоплавкое, легкоплавкое, химико-лабораторное* и др.

*Электротехническое стекло.* Высокие значения удельного электросопротивления, большая электрическая прочность (16–50 кВ/мм), низкие значения диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta=0,0018\text{--}0,0175$ ) и сравнительно высокая диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon=3,5\text{--}16$ ), которая повышается при увеличении концентрации PbO или BaO. При нагреве в интервале температур 200–400 °C удельное электросопротивление уменьшается в  $10^8\text{--}10^{10}$  раз, что связано с увеличением подвижности щелочных ионов, и стекло теряет свои изолирующие свойства. Оксиды тяжелых металлов – свинца и бария уменьшают подвижность ионов и снижают потери.

При впаивании металла в стекло, при сваривании стекол разного состава в стекле появляются термические напряжения из-за различия температурных коэффициентов линейного расширения. Если температурные коэффициенты обоих материалов близки, то спаи стекла с материалом называются *согласованными спаями*, а если различны – *несогласованными спаями*.

Как диэлектрик используют для колб осветительных ламп и радиоламп, в электровакуумных устройствах, для изоляторов, для герметизации интегральных схем. Так, в виде тонкой (до 3–4 мкм) пленки стекло используют в качестве прочной, нетрескающейся и теплостойкой изоляции на металлических проводах и термопарах. Халькогенидное стекло используется для герметизации полупроводниковых приборов. Электропроводящие (полупроводниковые) стекла: халькогенидные и оксидные ванадиевые – находят широкое применение в качестве термисторов, фотосопротивлений.

Электротехнические стекла в зависимости от величины температурного коэффициента линейного расширения разделяются на платиновые (С89-2), молибденовые (С49-1) и вольфрамовые (С38-1). Каждая группа стекол используется для согласованных спаев с Mo, W и сплавами Fe-N. В марке электротехнического стекла указывается значение температурного коэффициента линейного расширения.

*Транспортное стекло.* В машиностроении эффективно применяется как конструкционный материал при условии нейтрализации хрупкости, что достигается его закалкой, как правило, в воздушном потоке.

Специфическими свойствами стекол являются их оптические свойства: светопрозрачность, отражение, рассеяние, поглощение и преломление света.

Коэффициент преломления таких стекол составляет 1,47–1,96, коэффициент рассеяния находится в интервале 20–71.

Разновидностями транспортного стекла являются *триплексы* и *термопан*, применяемые для остекления в транспортных средствах, скафандрах.

*Триплексы* – композиционный материал, получаемый из двух листов закаленного силикатного (или органического) стекла толщиной 2–3 мм, склеенных прозрачной эластичной полимерной (обычно из поливинилбутирала) пленкой. При разрушении триплекса образовавшиеся неострые осколки удерживаются на полимерной пленке.

*Термопан* – трехслойное стекло, состоящее из двух листов закаленных стекол и воздушного промежутка между ними. Эта воздушная прослойка обеспечивает теплоизоляцию.

*Оптическое и светотехническое стекло.* Оптические свойства стекол зависят от их окраски, которая определяется химическим составом стекол, а также от состояния поверхности изделий. Оптические изделия должны иметь изотропную, свободную от напряжений структуру, которую получают отжигом, и гладкие полированные поверхности.

Обычное неокрашенное листовое стекло пропускает до 90%, отражает примерно 8% и поглощает около 1% видимого и частично инфракрасного света; ультрафиолетовое излучение поглощается почти полностью. Кварцевое стекло является прозрачным для ультрафиолетового излучения. Светорассеивающие стекла содержат в своем составе фтор. Стекло с большим содержанием PbO поглощает рентгеновские лучи.

Оптические стекла, применяемые в оптических приборах и инструментах, подразделяют на *кроны*, отличающиеся малым преломлением ( $n_d=1,50$ ), и *флинты* ( $n_d=1,67$ ) – с высоким содержанием оксида свинца.

*Термостойкое и тугоплавкое стекло.*

«Пирекс» – термостойкое стекло на основе SiO<sub>2</sub> (80,5%) с повышенным содержанием В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> (12%), Na<sub>2</sub>O (4%), а также оксидами алюминия, калия и магния.

«Мазда» – тугоплавкое стекло на основе SiO<sub>2</sub> (57,6%) с оксидами алюминия (25%), кальция (7,4%), магния (8%) и калия. «Пирекс» и «Мазда» используются для изготовления изделий, использующихся при повышенных температурах эксплуатации: оболочки термометров, смотровые стекла и др.

*Легкоплавкое стекло.* Эти стекла изготавливают на основе PbO (70%) с добавлением В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> (20%) или В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> (68,8%) с добавлением ZnO (28,6%) и Na<sub>2</sub>O (2,6%); используются для изготовления эмалей, глазури и припоев для спаивания стекла.

*Строительное стекло* выпускают следующих видов: *листовое, облицовочное и изделия и конструкции из стекла.*

Листовое стекло изготавливают из стеклянной массы, в состав которой входят 71–73% SiO<sub>2</sub>, 13,5–15% Na<sub>2</sub>O, до 10% CaO, до 4% MgO и до 2% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Масса 1 м<sup>2</sup> листового стекла 2–5 кг. Светопропускание – не менее 87%.

Листовое стекло вырабатывают трех сортов и в зависимости от толщины шести размеров (марок): 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Сорт листового стекла определяется наличием дефектов, к которым относятся: полосность – неровность на поверхности; *свиль* – узкие нитевидные полоски; пузыри – газовые включения и др. Ширина листов стекла 250–1600 мм, длина 250–2200 мм.

Промышленностью вырабатываются также специальные виды листового стекла: *витринное* (полированное), *теплопоглощающее*, *увиолетовое* (пропускающее 25–75% ультрафиолетовых лучей), *закаленное*, *архитектурно-строительное* и др.

Листовое стекло – основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин, наружной и внутренней отделки зданий.

Облицовочное стекло применяют для отделки фасадов и внутренних помещений здания. К потребительским свойствам такого стекла относятся высокая декоративность (яркие цвета, блестящая поверхность), большая атмосферостойкость и долговечность. К группе облицовочных стекол относятся:

*стемалит* – листовой строительный материал из закаленного полированного (толщиной 6–12 мм) стекла, покрытого с внутренней стороны непрозрачной (глухой) керамической краской. Покрытие защищается со стороны помещения тонким слоем алюминия, нанесенным в вакууме. Применяется для внутренней и наружной облицовки зданий;

*марблит* – листовой строительный материал толщиной 12 мм из цветного глушеного стекла с полированной лицевой поверхностью и рифленой тыльной, может имитировать мрамор;

*стеклянная эмалированная плитка* – изготавливается из отходов листового стекла (стеклянная эмаль), наплавляемых на поверхность стекла, нарезанного на требуемые размеры (150x150, 150x70 мм при толщине 3–5 мм);

*стеклянная мозаика* – ковровая мозаика в виде мелких квадратных плиток (20x20 или 25x25 мм) из непрозрачного (глушеного) цветного стекла, выложенных в однотонные или мозаичные ковры;

*смальта* – кубики или пластинки толщиной 10 мм из цветной глушеной стекломассы, полученные отливкой или прессованием; применяется для изготовления мозаик.

*Изделия и конструкции из стекла.* К наиболее распространенным изделиям и конструкциям из стекла в строительной промышленности относятся:

*стеклоблоки* – полые блоки из двух отформованных половинок, сваренных между собой. Светопропускание – не менее 65%, светорассеяние – около 25% (светорассеяние повышают рифлением внутренней стороны блоков), теплопроводность – 0,4 Вт/(м·К). Применяются для заполнения световых проемов в наружных стенах и устройства светопрозрачных покрытий и перегородок;

*стеклопакеты* – два-три листа стекла, соединенных по периметру металлической рамкой (обоймой), между которыми создана герметически замкнутая воздушная полость. Применяются для остекления зданий;

*стеклопрофилит* – крупногабаритные строительные панели из профильного стекла, изготавливаемые методом непрерывного проката коробчатого, таврового, швеллерного и полукруглого профилей. Стеклопрофилит может быть армированным и неармированным, бесцветным и цветным. Применяется для устройства светопрозрачных ограждений зданий и сооружений.

*Стекловолокно* – волокнистый материал, получаемый из расплавленной стекломассы. Наиболее широко применяются бесщелочное алюмо-боросиликатное Е-стекло, а также высокопрочное стекло на основе оксидов: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO. Диаметр стекловолокна колеблется от 0,1 до 300 мкм. Форма сечения может быть в виде крута, квадрата, прямоугольника, треугольника, шестиугольника. Выпускаются и полые волокна. По длине волокно делится на штапельное (от 0,05 до 2–3 м) и непрерывное. Плотность стекловолокна 2400–2600 кг/м<sup>3</sup>. Прочность элементарных стеклянных волокон в несколько десятков раз выше объемных образцов стекла: прочность на растяжение достигает 1500–3000 МПа для непрерывных волокон диаметром 6–10 мкм. Стекловолокно имеет высокие тепло-, электро- и звукоизоляционные свойства, оно термо- и химически стойко, негорюче, не гниет.

Поверхность стеклянных волокон при транспортировке и различных видах переработки замазывают для предотвращения истирания, так как от состояния поверхности волокон зависит их прочность. Из стекловолокна изготавливают *стекловату*, *ткани* и *сетки*, а также *нетканые материалы* в виде жгутов и холстов, стекломатов.

*Стекловата* – материал из стеклянных волокон, диаметр которых для изготовления теплоизоляционных изделий не должен превышать 21 мкм. Структура ваты должна быть рыхлой – количество пряжей, состоящих из параллельно расположенных волокон, не более 20% по массе. Плотность в рыхлом состоянии не должна быть более 130 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность – 0,05 Вт/(м·К) при 25 °С. Стеклянную вату из непрерывного волокна применяют для изготовления теплоизоляционных материалов и изделий при температурах изолируемых поверхностей от -200 до +450 °С.

*Стекловата из супертонкого волокна* имеет плотность 25 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,03 Вт/(м·К), температурах эксплуатации от -60 до +450°С, звукопоглощение 0,65–0,95 в диапазоне частот 400–2000 Гц. Стекловата из супертонкого волокна, а также изделия на ее основе используются в строительстве в качестве звукоизоляционного материала.

*Стекломаты* (АСИМ, АТИМС, АТМ-3) – материалы, состоящие из стекловолокон, расположенных между двумя слоями стеклоткани или стеклосетки, простеганной стеклонитками. Они применяются при температурах 60–600°С в качестве армирующих элементов в композиционных материалах.

*Стеклорубероид* и *стекловолок* – рулонные материалы, получаемые путем двухстороннего нанесения битумного (битумно-резинового или битумно-полимерного) вяжущего вещества, соответственно, на стекловолокнистый холст или стекловолок и покрытия с одной или двух сторон сплошным слоем посыпки. Сочетание биостойкой основы и пропитки с повышенными физико-механическими свойствами позволяет достичь долговечности для стеклорубероида около 30 лет.

В зависимости от вида посыпки, предотвращающей слипание при хранении в рулонах, и назначения стеклорубероид выпускают следующих марок: С-РК (с крупнозернистой посыпкой), С-РЧ (с чешуйчатой посыпкой) С-РМ (с пылевидной или мелкозернистой посыпкой). Применяют стеклорубероид для верхнего и нижнего слоев кровельного ковра и для оклеенной гидроизоляции.

*Гидростеклоизол* – гидроизоляционный рулонный материал, предназначенный для гидроизоляции железобетонных обделок туннелей (марка Т), пролетных строений мостов, путепроводов и других инженерных сооружений (марка М).

Гидростеклоизол состоит из стеклоосновы (*тканой* или *нетканой сетчатки, дублированной стеклохолстом*), покрытой с обеих сторон слоем битумной массы, в которую входят битум, минеральный наполнитель (около 20%) с молотым тальком, магнезитом, а также пластификатором. Отличается помимо высокой водонепроницаемости хорошими прочностными показателями при растяжении в продольном направлении. Он выдерживает разрывную нагрузку при высшей категории качества 735 Н. Теплостойкость – 60–65 °С, температура хрупкости – от -20 до -10°С.

Гидростеклоизол наклеивают без применения мастик – равномерным плавлением (например, используя пламя газовой горелки) его поверхности.

*Пеностекло (ячеистое стекло)* – ячеистый материал, получаемый спеканием тонко измельченного стекольного порошка и порообразователя. Вырабатывают из стекольного боя либо используют те же сырьевые материалы, что и для производства других видов стекла: кварцевый песок, известняк, соду и сульфат натрия. Порообразователями могут быть кокс и известняк, антрацит и мел, а также карбиды кальция и кремния, выделяющие при спекании углекислый газ, образующий поры.

Пеностекло имеет специфическое строение – в материале стенок крупных пор (0,25–0,5 мм) содержатся мельчайшие микропоры, что обуславливает малую теплопроводность (0,058–0,12 Вт/(м·К)) при достаточно большой прочности, водостойкости и морозостойкости. Пористость различных видов пеностекла составляет 80–95%; плотность 150–250 кг/м<sup>3</sup>; прочность 2–6 МПа. Обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Пеностекло – несгораемый материал с высокой (до 600 °С) теплостойкостью. Легко обрабатывается (пилится, шлифуется); оно хорошо склеивается, например, с цементными материалами.

Щиты из пеностекла применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий (стен, перекрытий, кровель и др.), в конструкциях холодильников (изоляция поверхностей с температурой эксплуатации до 180 °С), для декоративной отделки интерьеров. Из пеностекла с открытыми порами изготавливают фильтры для кислот и щелочей.

*Стеклопор* получают путем фануляции и вспучивания жидкого стекла с минеральными добавками (мелом, молотым песком, золой ТЭС и др.). Выпускается трех

марок: СЛ  $\rho_0=15-40$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda=0,028-0,035$  Вт/(м·К); Л  $\rho_0=40-80$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda=0,032-0,04$  Вт/(м·К);  $\rho_0=80-120$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda=0,038-0,05$  Вт/(м·К).

В сочетании с различными связующими веществами стеклопор используют для изготовления штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции. Наиболее эффективно применение стеклопора в ненаполненных пенопластах, так как введение его в пенопласт позволяет снизить расход полимера и значительно повысить огнестойкость теплоизоляционных изделий.

*Армированное стекло* – конструкционное изделие, получаемое методом непрерывного проката неорганического стекла с одновременным закатыванием внутрь листа металлической сетки из отожженной хромированной или никелированной стальной проволоки. Это стекло имеет предел прочности при сжатии 600 МПа, повышенную огнестойкость, безосколочно при разрушении, светопропускаемость – более 60%. Может иметь гладкую, кованую или узорчатую поверхность, быть бесцветным или цветным.

Армированное стекло применяют для остекления фонарей верхнего света, оконных переплетов, устройства перегородок, лестничных маршей и др.

### **Ситаллы**

*Ситаллы (стеклокристаллические материалы)* – искусственный материал на основе неорганического стекла, получаемый путем полной или частично управляемой кристаллизации в них.

Термин «ситаллы» образован от слов: «стекло» и «кристаллы». По структуре и технологии получения ситаллы занимают промежуточное положение между обычным стеклом и керамикой. От неорганического стекла они отличаются кристаллическим строением, а от керамических материалов – более мелкозернистой и однородной микрокристаллической структурой.

В состав ситаллов входят:

- оксиды –  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  и др.;
- нуклеаторы (катализаторы кристаллизации) – соли светочувствительных металлов –  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Cu}$ , являющиеся коллоидными красителями и присутствующие в стекле в виде тонкодисперсных частиц. Нуклеаторы являются дополнительными центрами кристаллизации (рис. 13). Они должны иметь кристаллическую решетку, подобную выщеляющимся из стекла кристаллическим фазам, и способствовать равномерной кристаллизации всей массы;
- *глушители* (плохо растворимые частицы) – фтористые и фосфатные соединения,  $\text{TiO}_2$  и др.

Структура ситаллов мелкокристаллическая, однородная, характеризуется отсутствием пористости. Средний размер кристаллитов в ситаллах 1–2 мкм. Содержание кристаллической фазы – не менее 40–50%. Кристаллиты срастаются между собой или связаны прослойками остаточного аморфного стекла. Количество стеклофазы не превышает нескольких процентов. Беспорядочная ориентация кристаллитов приводит к отсутствию в ситаллах анизотропии.

Регулируя режимы термообработки, можно изменять степень кристаллизации и размеры кристаллов, что отражается на свойствах изделия. Свойства ситаллов изотропны и в основном определяются фазовым составом и их структурой. Основными свойствами ситаллов являются:

- плотность 2400–2950 кг/м<sup>3</sup>;
- температура размягчения 1250–1350 °С;
- низкая теплопроводность 2–7 Вт/(м·К);
- температурный коэффициент линейного расширения  $(7-300) \cdot 10^{-7}$  °С<sup>-1</sup>.
- $\sigma_{сж}=7-2000$  МПа,  $\sigma_{в}=112-160$  МПа,  $\sigma_{изг}=7-350$  МПа;
- модуль Юнга 84–141 ГПа;
- хрупкость (при ударной вязкости 4,5–10,5 кДж/м<sup>2</sup>);

- микротвердость – 7000– 10500 МПа;
- высокая износостойкость;
- термостойкость – 200–700°С (до 1100°С);
- диэлектрические свойства;
- химическая стойкость;
- газонепроницаемость и нулевое водопоглощение.



Рисунок 52-. Схема кристаллизации стекла при образовании ситаллов с помощью нуклеаторов

По внешнему виду ситаллы могут быть непрозрачными (глухими), прозрачными, а также окрашенными (темного, коричневого, серого, кремового и светлого цветов). Прочность их зависит от температуры: до 700–780 °С она снижается незначительно, а при более высоких температурах быстро падает. Жаропрочность ситаллов составляет 800–1200 °С.

Причина особо ценных свойств ситаллов заключается в их исключительной мелкозернистости и почти идеальной поликристаллической структуре. В них совершенно отсутствует всякая пористость. Усадка материала при его переработке незначительна. Большая абразивная стойкость делает их малочувствительными к поверхностным дефектам.

Детали из ситаллов соединяют друг с другом и другими материалами с помощью стеклокристаллического цемента с последующей термической обработкой при 400–600°С, клеев и замазок на основе эпоксидной смолы и жидкого стекла, металлизацией с последующей пайкой.

Ситаллы классифицируют в зависимости от способа производства, от характера исходных материалов и по назначению.

Ситалловые изделия получают, как правило, путем плавления стекольной шихты специального состава, охлаждения расплава до пластического состояния и последующего формования методами стекольной или керамической технологии (вытягивание, выдувание, прокатка, прессование), а затем ситаллизацией. Такие изделия получают также порошковым методом спекания.

По характеру исходных материалов и свойств выделяют: *петроситаллы*, *шлакоситаллы* и *технические ситаллы*. Разновидностью ситаллов являются *ситаллопласты* – композиционные материалы, получаемые на базе пластических масс (фторопластов) и ситаллов.

Петроситаллы получают на основе габбро-норитовых, диабазовых и других горных пород, шлакоситаллы – из металлургических или топливных шлаков. Технические ситаллы изготавливают на основе искусственных композиций из различных химических соединений – оксидов, солей.

По назначению ситаллы делятся на *конструкционные* (строительные и машиностроительные), *технические*, *радио-*, *электро-* и *фототехнические*. На основе ситаллов получают различные клеи для склеивания металла, стекла, керамики. Наиболее широкое распространение в строительстве получили *шлакоситаллы* и *пеношлакоситаллы*.

Шлакоситаллы – ситаллы из огненно-жидких металлургических шлаков. Плотность – 600–2700 кг/м<sup>3</sup>; осж=250–550 МПа, сизг=65–130 МПа, модуль упругости  $E=11 \cdot 10^4$  МПа, рабочие температуры – до 750 °С, водопоглощение практически равно нулю; высокие кислото- и щелочестойкость.

Изделия из шлакоситалла дешевы и отличаются высокой долговечностью. Эти изделия используются для лестничных ступеней, плиток полов, внутренних перегородок, как кровельный и стеновой материал, для облицовки ответственных частей гидросооружений, а также в дорожном строительстве в качестве плит для тротуаров, дорожных покрытий. Листовой шлакоситалл (можно получать любого цвета) используется как декоративно-отделочный материал для наружной и внутренней облицовки сооружений. Шлакоситаллы могут быть получены любых цветов, а по долговечности они конкурируют с базальтами и гранитами.

Пеношлакоситалл – вспененный шлакоситалл с ячеистой структурой. Эффективный теплоизоляционный материал с незначительным водопоглощением и малой гигроскопичностью. Рабочие температуры – до 750 °С. Пеношлакоситаллы используют для утепления стен и звукоизоляции помещений, а также для изоляции трубопроводов теплотрассы и промышленных печей.

В машиностроении ситаллы применяют для изготовления подшипников, деталей двигателей, труб, жаростойких покрытий, лопастей компрессоров, точных калибров металлорежущих станков, метрологических мер длины, фильтров для вытягивания синтетического волокна, абразивов для шлифования; в химическом машиностроении – пар трения плунжеров, деталей химических насосов, реакторов, мешалок, запорных клапанов. Радио- и электротехнические ситаллы используются для изготовления подложек, оболочек, плат, сетчатых экранов, антенны обтекателей и др., а также как жаростойкие покрытия для защиты металлов от действия высоких температур. Фототехнические ситаллы применяются для изготовления сетчатых экранов телевизоров, дорожных знаков, зеркал телескопов, для замены фото эмульсий диапозитивов, на шкалах приборов и др. Разрешающая способность и качество изображения у фотоситаллов выше, чем у обычных фотоэмульсий.

#### ***Вопросы по теме «Стекла»:***

1. Какое строение имеет стекло? Что входит в состав стекла?
2. Как классифицируют стекло по химическому составу и назначению?
3. Какими свойствами обладает стекло?
4. Что такое ситалл, триплекс?



## КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**Керамика** – неорганические поликристаллические материалы, получаемые из сформованных минеральных масс (глины и их смеси с минеральными добавками) в процессе высокотемпературного (1200–2500 °С) спекания.

### *Общие сведения, классификация керамических материалов*

В керамической технологии используют главным образом каолины и глины, а также чистые оксиды. Под каолинами и глинами понимают природные водные алюмосиликаты с различными примесями, способные при замешивании с водой образовывать пластичное тесто, которое после обжига необратимо переходит в камневидное состояние.

Керамические изделия изготавливают способами пластического формования и полусухого прессования с последующей сушкой и спеканием.

При нагреве глины во время спекания в ней начинают последовательно происходить химические и физико-химические процессы, приводящие к полному и необратимому изменению ее структуры:

- 1) удаление химически связанной воды (500–600 °С);
- 2) разложение обезвоженной глины на оксиды (800–900 °С);
- 3) образование новых водостойких и тугоплавких минералов (1000–1200 °С);
- 4) образование некоторого количества расплава из легкоплавких компонентов глины (900–1200 °С);
- 5) образование прочного камневидного материала за счет связывания твердых частиц образовавшимся расплавом.

Состав керамики образован многокомпонентной системой, включающей:

*кристаллическую фазу* (более 50%) – химические соединения и (или) твердые растворы. Кристаллическая фаза является основой керамики и определяет значения механической прочности, термостойкости и других основных свойств;

• *стекловидную (или аморфную) фазу* (1–40%) – прослойки стекла, химический состав которого отличается от химического состава кристаллической фазы. Стекловидная фаза ухудшает механическую прочность и тепловые показатели, однако стеклообразующие компоненты (глинистые вещества) облегчают технологию изготовления изделий;

• *газовую фазу* – газы, находящиеся в порах. По структуре порового пространства различают керамику с открытыми, т.е. сообщающимися с внешней средой, и закрытыми порами. Наличие даже закрытых пор ведет к снижению механической и электрической прочности, росту электрических потерь.

Керамика – изотропный материал, так как представляет собой поликристаллическое вещество с мелкими беспорядочно расположенными кристаллами. Керамику с анизотропией свойств получают на основе монокристаллов. Сегнето- и пьезокерамику получают при сохранении остаточной поляризации.

Свойства керамики определяются ее составом, структурой и пористостью. К основным свойствам керамических материалов относятся:

- плотность 1800–3900 кг/м<sup>3</sup> и более;
- водопоглощение – для пористой керамики 6–20% по массе (12–40% по объему), а для плотной – 1–5% по массе (2–10% по объему);
- теплопроводность в зависимости от пористости и химического состава 0,8–1,16 Вт/(м·К). Сравнительно высокая теплопроводность у керамики на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и, особенно на основе BeO;

- $\sigma_{\text{раст}}=30\text{--}300$  МПа,  $\sigma_{\text{сж}}=3000$  МПа и более;
- твердость, близкая к твердости алмаза;
- высокая хрупкость;
- высокое электрическое сопротивление, отличные диэлектрические свойства;
- водо-, химическая, коррозионная и жаростойкость.

Недостатком керамики является высокая усадка при спекании – 20–25% и выше, что создает трудности с обеспечением точных размеров изделия. Обработка готовых изделий затруднена, так как спеченная керамика обладает высокой твердостью, режется с трудом и только абразивами.

Способами воздействия на свойства керамических изделий являются химико-термическая обработка и использование покрытий, в том числе *глазури*.

*Глазурь* – защитно-декоративное стекловидное покрытие на керамике, закрепленное обжигом.

Прочность керамики с таким покрытием повышается на 15–20%, что связано со сжимающими напряжениями в поверхностном слое, которые возникают из-за разницы температурных коэффициентов линейного расширения керамики и глазури. Однако глазурь увеличивает электрические потери, поэтому ее не применяют в высокочастотной электрической керамике.

Изделия из керамики соединяют друг с другом теми же материалами, что и ситаллы: стеклокристаллическим цементом с последующей термической обработкой, клеями и замазками на основе эпоксидной смолы и жидкого стекла, а также металлизацией с последующей пайкой.

Керамику классифицируют *по вещественному составу, составу кристаллической фазы, структуре и назначению*.

*По вещественному составу* разновидностями керамики являются *фаянс, полуфарфор, фарфор, терракота, керметы, корундовая и сверхтвердая керамика* и так называемая *каменная масса*.

*Фаянс, полуфарфор и фарфор* получают на основе жгущихся белых глин, каолинов, кварца и полевого шпата, взятых в различных соотношениях. Они обладают различной пористостью, что определяет механические свойства и водопоглощение. Водопоглощение фаянса 10–12%, предел прочности при сжатии обычно до 100 МПа. Полуфарфор по сравнению с фаянсом имеет более спекшийся черепок (водопоглощение 3–5%), и его прочность выше ( $\sigma_{\text{сж}}=150\text{--}200$  МПа). Фарфор отличается еще большей плотностью (водопоглощение 0,2–0,5%) и прочностью ( $\sigma_{\text{сж}}$  до 500 МПа), что позволяет изготавливать из него тонкостенные изделия.

*Терракота* – керамические изделия (облицовочные плиты, архитектурные детали, посуда и т.д.) с пористым черепком, обычно красного, коричневого или кремового цветов.

*Керметы (керамико-металлические материалы)* – искусственные материалы, получаемые спеканием металлических и керамических порошков, сочетающие свойства металлов и керамических веществ. Изделия из кермета – детали турбин и авиационных двигателей, режущий инструмент и др.

*Корундовая керамика (минералокерамика)* – это керамика на основе спеченного оксида алюминия, содержащего не более 2% примесей.

*Сверхтвердая керамика* – композиционный материал, получаемый на основе нитрида бора.

По составу кристаллической фазы различают керамику из чистых оксидов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{CaO}$  и др.) и бескислородную ( $\text{SiC}$ ,  $\text{TiB}_2$ ,  $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{BN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{MoSi}_2$ ).

По структуре (характеру строения черепка) керамика делится на *плотную* ( $\rho=1\text{--}2\%$ ) и *пористую* ( $\rho=15\text{--}20\%$ ). Пористые керамики поглощают более 5% воды (по массе), а плотные 1–4% по массе или 2–8% по объему. Пористую структуру имеют кирпич, блоки, черепица, дренажные трубы и др.; плотную – плитки для полов, канализационные трубы, санитарно-технические изделия.

К числу новых по структуре керамических материалов следует отнести *волоконистые керамические материалы*, получаемые спеканием, например, аморфного кварцевого волокна. Керамику с плотной структурой используют в качестве вакуумной, пористую и волоконистую – как термоизоляционный материал и материал для высокотемпературных жидкостных и газовых фильтров.

По назначению керамику делят на *конструкционную, инструментальную, техническую и бытовую*.

*Конструкционная керамика* производится как *строительная* и *машиностроительная*.

В строительстве конструкционную керамику используют как долговечный материал, стойкий против износа, нагрева и агрессивных сред. По назначению **строительные керамические материалы** и изделия делят следующие виды:

1. Кирпич обыкновенный, кирпич и камни пустотелые и пористые, крупные блоки и стеновые панели из кирпича и камней.

Основные свойства керамических кирпичей:

• плотность сплошного кирпича – 1600–1900 кг/м<sup>3</sup>;

• теплопроводность сплошного кирпича – 0,7–0,82 Вт/(м·°С);

• по плотности и теплотехническим свойствам керамические

кирпичи делят на три группы:

*эффективные* – с высокими теплотехническими свойствами плотностью не более 1400–1450 кг/м<sup>3</sup>; *условно-эффективные* – плотностью 1450–1600 кг/м<sup>3</sup>; *обыкновенный кирпич* – плотностью свыше 1600 кг/м<sup>3</sup>;

• водопоглощение кирпича марки выше 150 должно быть не менее 6%, а других марок – не менее 8% (это требует определенной пористости кирпича, иначе он станет слишком теплопроводным и будет плохо сцепляться со строительным раствором);

предел прочности на сжатие определяет марку – 250, 300 и т.д.;

• морозостойкость кирпича должна быть не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания (предусмотрены и более высокие марки по морозостойкости – Р 25, 35 и 50). Кирпич не должен иметь механических повреждений и сквозных трещин. На одном кирпиче допускается не свыше двух *отбитостей ребер* и *углов* размером по длине ребра не более 15 мм. На отдельных кирпичах может быть допущена одна сквозная трещина протяженностью не более 30 мм по ширине кирпича.

Керамический кирпич применяют преимущественно для кладки стен зданий, изготовления сборных стеновых панелей, кладки печей и дымовых труб.

2. Пустотелые камни, балки и панели из пустотелых камней.

Пустотелые элементы перекрытий включают:

• камни для армокерамических балок плотностью не более 1300 кг/м<sup>3</sup>;

• камни для часторесбристых перекрытий плотностью не более 1000 кг/м<sup>3</sup>;

• камни для накатов плотностью до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

3. Кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические фасадные.

*Фасадные керамические изделия* применяют для облицовки фасадных поверхностей стеновых панелей, блоков, цоколей зданий, лоджий, для отделки архитектурных элементов фасада зданий – поясов, карнизов – и создания декоративных панно. Для отделки сборных конструкций на заводах используют *коврово-мозаичные плитки* размерами 48x48 и 22x22 мм толщиной 2–4 мм, *плитки типа «кабанчик»* размером 120x65x7 мм, *типа брекчи* – ковры, набранные из плиточного боя. Для облицовки готовых кирпичных и бетонных стен применяют глазурированные и неглазурированные крупноразмерные (250x140x10 мм) и цокольные (150x75x7 мм) плиты. Эти плиты должны иметь спекшийся черепок и водопоглощение не более 5%.

Лицевые кирпичи и керамические камни применяют для кладки и одновременной облицовки наружных и внутренних стен зданий, возводимых из штучных изделий (кирпича, камня). Подбрав состав керамической массы и, регулируя режим отжига, можно получить

кирпич белого, кремового, коричневого цветов. Выпускают *лицевые кирпичи* и *керамические камни* с гладкой, а также рельефной или офактуренной лицевой поверхностью. На лицевой грани не допускаются трещины и отколы.

Керамические облицовки относятся к числу наиболее экономичных наружных облицовок.

#### 4. Плиты и плитки для стен и полов.

*Керамические плитки для внутренней облицовки* внутренней облицовки стен изготавливаются с пористой структурой, лицевая поверхность их покрывается глазурью, которая придает плиткам водонепроницаемость и стойкость против воздействия слабых растворов кислот и щелочей.

Для внутренней облицовки стен выпускают разнообразные по форме плитки:

квадратные (150x150 мм),

прямоугольные с прямыми кромками (150x100 и 150x75 мм).

Плитки изготавливаются плоскими, рельефными, орнаментированными, с цветными рисунками.

Керамические плитки для полов изготавливают из тугоплавких и огнеупорных каолиновых глин с различными добавками и, если требуется, окрашивающих примесей. Полы из керамических плиток практически водонепроницаемы, характеризуются малой истираемостью, не дают пыли, легко моются, стойки к действию кислот и щелочей. Недостатком плиток является большая теплопроводность (полы холодные), не позволяющая применять их в жилых помещениях. Плитки изготавливают квадратные, прямоугольные, шестигранные, восьмигранные, треугольные; длина граней 50–150 мм и толщина 10–13 мм.

*Керамические санитарно-технические изделия* изготавливают из фаянса, полуфарфора и фарфора.

Из фаянса преимущественно методом литья производят унитазы, умывальники, смывные бачки, ванны и др. Полуфарфор и фарфор применяются для производства более тонкостенных изделий.

Поверхность санитарно-технических изделий обязательно покрывается глазурью, что придает им водонепроницаемость. Изделия санитарно-технической керамики белые, иногда светло-желтые, должны иметь правильную форму, ровную, гладкую и чистую поверхность без искривлений, равномерно покрытую глазурью; они должны быть хорошо обожжены.

5. Керамическая черепица. Керамическая черепица должна выдерживать не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии.

#### 6. Дренажные и канализационные трубы.

*Дренажные трубы* производят из кирпичных высокопластичных глин.

Для этих труб водопоглощение черепка допускается не более 15%, морозостойкость – не ниже 15 циклов. Промышленность выпускает *гладкие неглазурованные трубы без раструбов* или *глазурованные с раструбом и перфорацией на стенках*. Применяют трубы при мелиоративных работах, а также при осушении.

*Канализационные трубы* изготавливают из пластичных огнеупорных или тугоплавких глин. Они должны выдерживать гидростатическое давление не менее 0,2 МПа. Водопоглощение черепка труб: не более 9% для I сорта и 11% для II сорта. Поверхность труб снаружи и внутри покрывают кислотостойкой глазурью. Длина канализационных труб 800–1200 мм, внутренний диаметр 150–600 мм. Эти трубы на одном конце имеют раструб. Канализационные трубы применяют для отвода сточных и щелочных вод.

#### 7. Теплоизоляционные, огнеупорные, кислотоупорные и другие изделия.

Для высокотемпературной теплоизоляции различных промышленных печей и тепловых агрегатов используют волокнистые керамические материалы – *алюмосиликатные волокна*, обладающие высокой прочностью, термической стойкостью и малой теплопроводностью.

Волокнистые керамические материалы способны по сравнению с кремнеземными (близкими по свойствам) материалами длительно выдерживать температуры 1650–1700 °С, не боятся примесей и обладают в 2–2,5 раза более высокой прочностью. Основными недостатками, сдерживающими применение волокнистых материалов, являются низкие прочность и коррозионная стойкость и заметное пылевыведение, что требует использования специальных объемных и поверхностных покрытий (высокотемпературные коррозионно-стойкие терморегулирующие покрытия).

Керамические огнеупорные изделия получают отливкой из расплава или обжигом минеральной смеси. Большинство керамических огнеупорных изделий (*огнеупоров*) – это керамика на основе SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, ZrO, а так же на основе SiO, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и других бескислородных соединений. Возможные температуры эксплуатации оксидов, карбидов, боридов и нитридов 1600–2500 °С, жаропрочных сталей и сплавов – 800–120 °С, молибдена – 1500 °С, вольфрама – 1800 °С. Наибольшее распространение в строительстве и промышленности строительных материалов получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупорные изделия.

Керамические огнеупорные изделия классифицируют по *огнеупорности, пористости, химико-минеральному составу и способу изготовления.*

По огнеупорности керамические огнеупорные изделия могут быть *огнеупорными* (1580–1770 °С), *высокоогнеупорными* (1700–2000 °С) и *высшей огнеупорности* (более 2000 °С). В зависимости от пористости керамические огнеупорные изделия подразделяются на *особо плотные огнеупоры* – пористость менее 3%, *высокоплотные огнеупоры* – пористость 3–10%, *плотные огнеупоры* – пористость 0–20%, *обычные огнеупоры* – пористость 20–30%, *легковесные огнеупоры (теплоизоляционные)* – пористость 45–85%.

Керамические огнеупорные изделия применяют для строительства промышленных печей, топок и аппаратов, работающих при высокой температуре.

К химически стойкой керамике относится глиношамотная керамика с грубозернистой структурой, а также фарфор. Керамические кислотоупорные изделия должны обладать *кислотостойкостью*, которая характеризует их нерастворимость в кислотах (за исключением плавиковой кислоты) и щелочах. Такие изделия изготавливают из глин, не содержащих примесей, понижающих химическую стойкость (карбонаты, гипс, серный колчедан и т.п.).

К керамическим кислотоупорным изделиям относят:

- *кислотоупорный кирпич* марок 150–250 кислотостойкостью не менее 92–96%, водопоглощением не более 8–12%, термостойкостью не менее двух теплосмен;
- *плитки кислотоупорные и термокислотоупорные* марки 300 кислотостойкостью 96–98%, водопоглощением не более 6–9%, термостойкостью не менее 2–8 теплосмен;
- *трубы и фасонные части* к ним марок 300–400 кислотостойкостью не ниже 97–98%, водопоглощением не более 3–5%. Кислотоупорный кирпич и плитки служат для футеровки башен и резервуаров на химических предприятиях, а также печей для обжига серного колчедана, для устройства полов в цехах с агрессивными средами и т.п. Керамические кислотоупорные трубы применяют для перекачки неорганических и органических кислот и газов при разрежении или давлении до 0,3 МПа.

8. *Дорожный (клинкерный) кирпич.* *Дорожный кирпич* вырабатывают из тугоплавких глин, обжигая их до спекания. Дорожный кирпич имеет марки 400, 600 и 1000. Его водопоглощение должно быть 2–6%, морозостойкость – 50–100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Дорожный кирпич можно применять для мощения дорог и тротуаров, устройства полов промышленных зданий, кладки канализационных коллекторов.

9. *Керамзит. Заполнители для легких бетонов*

Искусственный пористый заполнитель типа гравия для легких бетонов. Размер зерен 5–40 мм. Получают обжигом легкоплавких вспучивающихся глин.

Из машиностроительной керамики изготавливают поршни и головки блоков цилиндров ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), свечи зажигания ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), лопасти газовых турбин ( $\text{MoS}_2$ ), вакуумстойкий смазочный материал ( $\text{MoS}_2$ ) и др.

Как **инструментальный материал** используется *корундовая* и *сверхтвердая керамика*.

*Корунд* известен в технике природными и синтетическими разновидностями. Природные разновидности корунда – рубин, сапфир, топаз, аквамарин, синтетические – корундовая керамика, среди изделий которой – микролит и электрокорунд. Наиболее распространенное корундовое изделие – *микролит* (марка ЦМ-332) – получают спеканием при 1710–1750 °С смеси тонкомолотого технического глинозема и оксида магния. Микролит по свойствам превосходит другие инструментальные материалы: плотность – до 3960 кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma_{\text{сж}}$ =5000 МПа, твердость – 92–93 НРА. Он обладает значительно большей красностойкостью (до 1200 °С), твердостью и режущей способностью, чем быстрорежущие стали и твердые сплавы.

Резцы с пластинками из микролита используют для обработки сталей, чугунов, цветных металлов, неметаллов (графита, дерева, пластмасс и др.). Из микролита изготавливают также фильеры, сопла песко- и дробеструйных аппаратов, волокна и другие детали, работающие на истирание при наиболее высоких температурах. Недостатки микролита – высокая хрупкость и затрудненность крепления пластинок к державкам.

*Электрокорунд (корракс)* – корундовая керамика из спеченного оксида алюминия с добавками  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , получаемая плавкой в электрических печах глиноземсодержащего сырья, имеющего не более 2% примесей.

Электрокорунд по твердости уступает лишь алмазу и имеет температуры плавления 1750–2050 °С. Электрокорунд широко используют в светотехнике (вместо нитей накаливания), в приборостроении (часовые камни и др.), в лазерах как излучающий элемент, в теплотехнике как огнеупорный материал и для изготовления литейных форм и стержней.

*Сверхтвердые керамические материалы* – композиционные керамические материалы, получаемые введением различных легирующих добавок и наполнителей в исходный *нитрид бора*. Структура таких материалов образована прочно связанными мельчайшими кристаллитами и, следовательно, они являются синтетическими поликристаллическими материалами.

Нитрид бора (*боразан*), имеющий алмазоподобное строение, является заменителем алмаза, стоек к окислению до 2000 °С (алмаз начинает окисляться при 800 °С).

К группе сверхтвердых керамических материалов относятся *композит 01 (эльбор-Р)*, *композит 02 (белбор)*, *композит 10 (гексанит-Р)*, а также *поликристаллический нитрид бора*.

Сверхтвердые керамические материалы используются для изготовления режущих пластин к инструментам для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов и закаленной стали (более 55 HRC).

К **технической керамике** относятся *электро- и радиотехническая керамика, керметы, абразивные керамические материалы, пенокерамика* и др.

По электрическим свойствам керамику подразделяют на *собственно электротехническую*, применяемую при частотах до 20 тыс. Гц, и *радиотехническую*, используемую преимущественно при высоких (более 20 тыс. Гц) частотах. Электротехническая керамика по области применения делится на *изоляционную (установочную)*, *конденсаторную* (сегнетоэлектрики) и *пьезо-керамику*.

Изоляторная керамика должна иметь низкие потери, хорошие электроизоляционные свойства и прочность. Ведущую роль играет электрофарфор, в котором основные виды кристаллов представляют муллит  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  и  $\text{SiO}_2$ . Изоляторная керамика применяется для изготовления изоляторов, колодок, плат, каркасов катушек и др.

Конденсаторная керамика должна иметь большую диэлектрическую проницаемость, малые потери и температурный коэффициент. Основу конденсаторной низкочастотной сегнетокерамики составляют твердые растворы титанатов бария ( $\text{BaTiO}_3$  с добавками  $\text{Zr-CM1}$ ), кальция ( $\text{CaTiO}_3$ ) и стронция ( $\text{SrTiO}_3\text{-T-7500}$ ), а также станнат стронция ( $\text{SrSnO}_3\text{-BK-1}$ ) для варикондов. Высокочастотная конденсаторная керамика изготавливается на основе рутила  $\text{TiO}_2$  (тиконд Т-80), титанатов кальция ( $\text{CaTiO}_3\text{-тиконд Т-150}$ ), циркония ( $\text{ZrTiO}_3\text{-термоконд Т-20}$ ) и станнатов (станнатная керамика) кальция  $\text{CaSnO}_3$  и магния,  $\text{MgSnO}_3$  и др. Использование конденсаторной керамики увеличивает надежность работы и теплостойкость конденсаторов и уменьшает их размеры.

Пьезокерамика – керамические материалы с пьезоэлектрическими свойствами. Структура пьезокерамики – твердые растворы на основе титанита бария (ТБС и ТБКС), ниобата бария (НБС) и ниобата и титаната свинца (НТС). Для НТС продольный пьезомодуль  $d_{33}$  до  $7 \cdot 10^{-10}$  К/Н,  $\epsilon=400\text{--}1700$ , максимальная температура эксплуатации  $250^\circ\text{C}$ .

Пьезокерамику применяют для устройств генерации и приема ультразвука; датчиков давления, ускорения, вибрации, в системах зажигания двигателей, в трансформаторах и др.

В качестве радиотехнической высокочастотной керамики используется радиофарфор (муллит  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ), корундомуллитовая керамика КМ-1 (муллит и корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ультрафарфор ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), алюминоксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , стеатит  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , цельзиан  $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , поликор и микропит.

Миниатюризация электронной, вычислительной и СВЧ аппаратуры потребовала создания материалов с тангенсом угла диэлектрических потерь  $0,0001\text{--}0,0002$ , в частности нитридов бора и кремния и композиций на их основе. Причем имеется много возможностей варьирования их свойств путем изменения химического состава и структуры, а также технологии получения изделий.

Абразивные керамические материалы (абразивы) – вещества повышенной твердости, применяемые в массивном или измельченном состоянии для механической обработки (шлифования, резания, истирания, заточки, полирования и т.д.) других материалов. Естественные абразивные материалы – *кремень, наждак, пемза, корунд, гранат, алмаз* и др.; искусственные абразивные материалы – *электрокорунд, карбид кремния, боразон, эльбор, синтетический алмаз* и др. По убыванию абразивной способности эти материалы располагаются так: синтетический алмаз, кубический нитрид бора, карбид бора, карбид кремния, карбид титана и электрокорунд. В настоящее время разрабатываются новые абразивные материалы на основе боридов и карбидов переходных металлов, а также типа *белбора*.

Основные характеристики абразивных материалов: твердость, прочность и износ, размер и форма абразивного зерна, абразивная способность, зернистость. С увеличением прочности этих материалов улучшается сопротивляемость усилиям резания, так как сопротивление сжатию у них в несколько раз больше, чем сопротивление растяжению. Прочность абразивных материалов на растяжение и сжатие снижается с повышением температуры шлифования.

Измельченный и классифицированный абразивный материал называют *шлифовальным*. Зернистость шлифовальных материалов определяется размером абразивных зерен, т.е. группой материалов по ГОСТ 3647–80: шлиф-зерно, шлифпорошки, микрошлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки. Обозначение зернистости дополняют индексами В, П, Н и Д, которые характеризуют процентное содержание (массовую долю) основной фракции (36–60%).

Абразивные керамические материалы используются как в несвязанном виде (порошки, пасты, суспензии), так и в связанном (бруски, шлифовальные шкурки, круги, головки и др.).

### Вопросы по теме «Керамические материалы»:

1. Что такое керамика?
2. Как принято классифицировать керамику?
3. Что входит в состав керамических материалов?
4. Из каких операций состоит технология изготовления керамических материалов?
5. Каковы достоинства керамики?
6. С чем связаны недостатки керамики?
7. Где применяются керамические материалы?

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Композиционными* называют однородные в макрообъеме *материалы*, получаемые путем искусственного объединения микроскопических объемов разнородных веществ.

Макрообъем конструкционных материалов (КМ) определяется габаритными размерами изготовленной из него детали и может достигать значительных величин. Например, размеры некоторых деталей химической аппаратуры из КМ, получаемых путем намотки волокнистого наполнителя со связующим, достигают 10 м и более. Дискретные элементы структуры КМ, представленные химически или физически разнородными веществами, в большинстве случаев имеют размеры до 10 мкм, а в некоторых материалах не более сотен микрометров.

### Общие сведения о композиционных материалах

Композиционные материалы состоят из непрерывной матрицы, в которой равномерно распределены дискретные или непрерывные микрообъемы наполнителя зернистой (рис. 53, а) или волокнистой (рис. 53, б, в) формы. Матрица связывает отдельные элементы наполнителя в единый монолит. Механическая нагрузка, приложенная к КМ, воспринимается матрицей и через поверхности раздела фаз передается на элементы наполнителя. В качестве наполнителя обычно используют более прочное вещество, а матрицей должно быть более пластичное вещество.

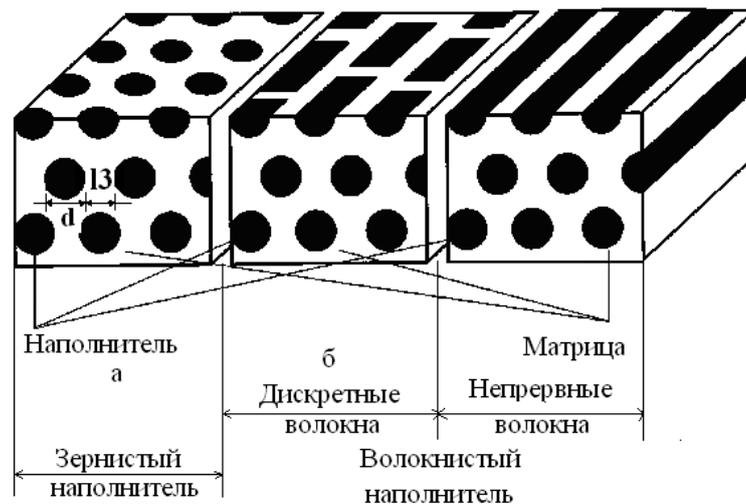


Рисунок 53- Классификация композиционных материалов по виду наполнителя:  
а – с зернистым наполнителем; б – с дискретным волокнистым наполнителем;  
в – с непрерывным волокнистым наполнителем; d – диаметр зерна;  
lз – межзеренное расстояние



Упрочняющее действие наполнителя определяется его геометрической формой, а также размерами и ориентацией дискретных элементов структуры наполнителя в КМ. По геометрической форме используемого наполнителя КМ подразделяют на два класса:

- с зернистым наполнителем. Наполнитель называют зернистым при условии  $l_3/d \approx 1$ .

- с волокнистым наполнителем. Для волокнистого наполнителя выполняется условие  $l_i/d \gg 1$  (где  $l_i$  – длина волокна,  $d$  – диаметр волокна).

Механизм упрочняющего действия *зернистого* наполнителя зависит от размера его зерен, исходя из которого различают КМ:

- дисперсно-упрочненные (упрочнение такого типа проявляется при размере зерен  $d < 0,1$  мкм);

- порошковые (наполнитель с размером зерен  $d > 1$  мкм).

В зависимости от механизма армирующего действия *волокнистого* наполнителя различают КМ:

- с дискретным волокном (отношение размерных параметров волокна  $l_i/d$  в этих композитах находится в пределах  $10-10^3$ );

- с непрерывным волокном, удовлетворяющим условию  $l_i/d \gg \infty$ .

Пространственная ориентация волокнистого наполнителя, не влияя на механизм контактного взаимодействия матрицы с волокном, оказывает влияние на условия передачи напряжения в объеме детали из КМ. Рациональная ориентация волокон позволяет оптимально использовать преимущества КМ при конструировании деталей машин, усиливая материал в наиболее нагруженных направлениях детали.

### ***Матрица композиционных материалов***

Основное назначение матрицы в КМ состоит в связывании дисперсных частиц или более крупных зерен, дискретных или непрерывных волокон наполнителя в сплошное твердое тело, а также в восприятии и равномерном перераспределении внешней нагрузки на элементы наполнителя. Для выполнения указанных функций матричный материал должен быть пластичным и обладать достаточно высокой прочностью контактного взаимодействия с поверхностью наполнителя.

В качестве матрицы КМ используется ряд материалов, имеющих и самостоятельное применение, в том числе конструкционное (рис. 15).

Большинство металлов и полимеров вполне удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к матричному материалу, и получили широкое применение для создания КМ на их основе. Стекло и керамика относятся к хрупким материалам, однако они также находят применение при разработке КМ специального назначения.

Стекло наиболее широко используется в качестве матричного материала при создании дисперсно-упрочненных КМ на его основе – *ситаллов*. За рубежом дисперсно-упрочненное стекло получило название *пирокерам*. Комбинируя состав и долевое соотношение стеклянной матрицы и дисперсных частиц наполнителя получают КМ с самыми разными, в том числе резко противоположными, свойствами.



Рис. 54. Классификация композиционных материалов по виду матрицы

Керамика имеет самостоятельное применение в качестве высокотемпературного материала. Существенный недостаток керамики заключается в низком сопротивлении механическим и тепловым ударам. Главная цель введения наполнителя в керамическую матрицу состоит в повышении термопрочности и ударной вязкости получаемого композита. Поэтому для армирования керамики используют преимущественно волокнистый наполнитель.

#### *Металлическая матрица*

Создание КМ на металлической матрице преследует цель устранить такие основные недостатки металлов, препятствующие их эффективному применению в качестве конструкционного материала, как большая плотность, низкая рабочая температура эксплуатации и низкая вязкость разрушения.

В качестве матрицы КМ наиболее широкое применение получили легкие и жаропрочные металлы и сплавы. Легкие металлы и сплавы позволяют получать максимальное значение удельной прочности КМ на их основе, особенно в сочетании с низкоплотными волокнами. Это обеспечивает максимальное уменьшение материалоемкости деталей машин, что приобретает особую важность применительно к транспортным средствам.

Их легких металлов *алюминий* получил наиболее широкое применение, что обусловлено наряду с ценным комплексом свойств его большими природными ресурсами и соответственно большим объемом производства. К достоинствам алюминия относятся низкая плотность ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ) и высокая коррозионная стойкость при нормальных и повышенных температурах. Низкая температура плавления и высокая пластичность облегчают технологические процессы его переработки. Недостатком алюминия является его низкая прочность ( $\sigma_b \sim 60 \text{ МПа}$ ). Поэтому при использовании в качестве матрицы КМ алюминий применяют преимущественно в виде сплавов с другими элементами.

Деформируемые сплавы алюминия, легированные магнием и марганцем, не подвергаются термической обработке. Это позволяет сократить время высокотемпературного контакта сплава с наполнителем в процессе изготовления КМ, т.е. уменьшить их химическое и диффузионное взаимодействие. Недостатком этой группы сплавов является их относительно низкая прочность ( $\sigma_b$  не более  $200 \text{ МПа}$ ). Дюралюминий, основными легирующими элементами которого являются медь и магний, подвергается термической обработке. После закалки и старения прочность дюралюминия достигает  $\sigma_b = 450 \text{ МПа}$ .

В качестве литейных сплавов широко применяются сплавы алюминия с кремнием – силумины. По механическим свойствам они уступают деформируемым сплавам, кроме того, трудно предотвратимое химическое взаимодействие алюминия с наполнителем при литье приводит к разупрочнению армирующего волокна.

Рабочая температура алюминиевых сплавов не превышает  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , однако армирование их углеродными волокнами позволяет применять получаемый КМ при температурах до  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для создания жаропрочных КМ представляет интерес спеченный алюминиевый порошок (САП), который сам является КМ, упрочненным дисперсными частицами диоксида

алюминия, на алюминиевой матрице и обладает высокой жаропрочностью при длительном нагреве до 500 °С.

Минимальная среди металлов и сплавов конструкционного назначения плотность *сплавов магния* (около 1,8 г/см<sup>3</sup>) является существенным достоинством для их использования в качестве матрицы при создании КМ с высокой удельной прочностью. Следует, однако, отметить, что работы по армированию магния и его сплавов сопряжены со значительными технологическими трудностями вследствие их плохой деформируемости и наличия рыхлой оксидной пленки на магниевых поверхностях.

*Титановые сплавы* обладают максимальной удельной прочностью по сравнению со сплавами на основе других металлов. Получили развитие работы по армированию титана и его сплавов волокнами тугоплавких соединений. Однако широкому использованию титановой матрицы препятствуют технологические трудности введения наполнителя в матрицу.

Жаропрочные сплавы используют для изготовления ответственных деталей, работающих под нагрузкой при рабочих температурах выше 700 °С. Наибольшее развитие получили жаропрочные *сплавы на основе никеля*. Путем сложного легирования никелевых жаропрочных сплавов удается повысить их рабочие температуры до 1100 °С. Армирование их углеродным волокном позволяет повысить жаропрочность материала еще на 150–200 °С.

Пластичность жаропрочных сплавов вполне достаточна для передачи нагрузки на армирующую матрицу волокна, но недостаточна для проведения процессов совместной пластической деформации с волокном. Поэтому КМ на их основе изготавливают преимущественно жидкофазными методами, т.е. процессами литья, пропитки и др.

Наряду с легкими и жаропрочными металлами и сплавами для создания КМ используют металлы и другого назначения.

#### *Полимерная матрица*

*Термопласты* (термопластичные полимеры) в качестве конструкционных материалов имеют ограниченное применение из-за относительно низких характеристик прочности и предела текучести. Улучшение конструкционных свойств термопластов путем введения армирующих наполнителей также не получило большого развития.

Широкому использованию термопластов в качестве матрицы КМ препятствуют технологические трудности вследствие плохой смачиваемости ими поверхности большинства наполнителей. Кроме того, вязкость термопластов резко возрастает при введении зернистого или дискретного волокнистого наполнителя, что затрудняет равномерное распределение наполнителя в матрице КМ и приводит к его переизмельчению.

Из термопластов в качестве матрицы КМ нашли применение полиамиды (более известны под названием капрон и нейлон) и фторорганические полимеры.

Полиамиды ударопрочны и обладают вибропоглощающими свойствами.

Полиамиды химически стойки в щелочной среде, устойчивы к воздействию бензина и спирта. Полиамиды имеют низкий коэффициент трения и поэтому служат матрицей КМ преимущественно антифрикционного назначения.

Из фторорганических полимеров в качестве КМ наиболее широко используют полифторэтилен, более известный под названием фторопласт и тефлон.

Фторопласт, как и капрон, служит матрицей КМ антифрикционного назначения, обладает стабильно низким значением коэффициента трения при температурах до 250 °С, в том числе и в глубоком вакууме.

Фторопласт выпускают в виде порошка с частицами волокнистой структуры, а также в виде тканого материала в сочетании со стеклянными, металлическими и другими полимерными волокнами, которые затем перерабатывают в детали антифрикционного назначения.

Композиционные материалы с матрицей из фторопласта используют для изготовления деталей узлов трения, работающих без смазывания. Однако по

механическим свойствам КМ на основе фторопласта даже с лучшими наполнителями уступают КМ на других полимерных матрицах.

*Реактопласты* по вязкости отличаются от термопластов, у первых она на несколько порядков ниже, что обусловило их преимущественное использование в технологии получения КМ. Наиболее распространены матрицы из фенолформальдегидных и эпоксидных полимеров.

*Фенолформальдегидные полимеры* для формирования матрицы КМ используют в жидком и твердом виде, а также применяют бакелитовые лаки в виде раствора бакелита в этиловом спирте.

Для устранения присущих фенолформальдегидным полимерам недостатков (хрупкость, недостаточная химическая стойкость в окислительных средах) при использовании в качестве матрицы КМ их часто совмещают с полимерами других классов.

Организовано промышленное производство большого ассортимента пресс-масс, которые являются готовым полуфабрикатом для изготовления КМ. Пресс-массы выпускают в виде сыпучей смеси, состоящей из основных компонентов КМ: полимера и разных наполнителей со специальными технологическими и функциональными добавками.

*Эпоксидные полимеры* наиболее широко применяют в качестве матрицы при изготовлении новых КМ конструкционного назначения. Степень наполнения эпоксидных смол наполнителем достигает 85%, что позволяет в максимальной степени реализовать высокие физико-механические свойства волокнистого наполнителя в свойствах КМ на эпоксидной матрице.

Из элементоорганических полимеров наиболее широкое применение в качестве матрицы КМ получили *кремнийорганические полимеры*, которые называют также полиорганосилоксаны.

В технологии КМ полиорганосилоксаны применяют в виде лаков – раствора кремнийорганической смолы в органических растворителях.

Кремнийорганические смолы хорошо смешиваются с большинством органических полимеров, что упрощает технологию их применения и позволяет уменьшить отрицательное влияние их недостатков в качестве матрицы КМ. Доля органических смол, добавляемых в полиорганосилоксаны, обычно составляет около 10%. В качестве добавок наиболее часто используют эпоксидные, фенолформальдегидные и полиэфирные полимеры.

Полиорганосилоксаны обладают антиадгезионными свойствами. Вследствие слабой адгезии на поверхности раздела полиорганосилоксанов с наполнителем остаются несплошности и поры, что уменьшает механическую прочность КМ с кремнийорганической матрицей.

Расклинивающий эффект влаги, проникающей в поры, приводит к дальнейшему снижению прочности материала, хотя полиорганосилоксановая матрица в отвержденном состоянии влагостойка. Добавками органических полимеров, которые повышают адгезию полиорганосилоксанов к наполнителю, удастся повысить прочность и уменьшить влияние влажной атмосферы на прочность КМ.

Другим технологическим недостатком кремнийорганических смол является высокая температура их отверждения. Для большинства полиорганосилоксанов она составляет около 200 °С, что усложняет технологию получения материалов на их основе. Введение катализаторов и модифицирование кремнийорганических полимеров органическими смолами позволяет уменьшить температуру и сократить время их отверждения. Полиорганосилоксаны некоторых марок отверждаются при нормальной температуре.

Основным достоинством кремнийорганических полимеров для использования в качестве матрицы КМ является их высокая термоокислительная стойкость. Если

большинство органических полимеров в результате выдержки на воздухе при температуре 250 °С в течение 1 сут выгорают более чем на 90%, то потеря массы кремнийорганических полимеров в тех же условиях составляет менее 10%. Поэтому полиорганосилоксаны нашли преимущественное применение в технологии теплостойких КМ.

Теплостойкость кремнийорганических полимеров резко возрастает при введении в них дисперсных наполнителей, в частности, порошкообразных металлов. Например, кремнийорганические лаки, дисперсно-упрочненные алюминиевой пудрой, могут продолжительное время выдерживать температуру 300 °С и кратковременное воздействие температур до 550 °С.

Расширение областей применения КМ с кремнийорганической матрицей ограничивается относительно низкой механической прочностью смол, что затрудняет получение высокопрочных материалов.

Кроме того, кремнийорганические смолы подвержены действию ароматических углеводородов, таких как бензол, толуол и др., а также хлорированных растворителей, как, например, четыреххлористый углерод. Этот недостаток устраняют введением добавок небольших количеств полиэфирных смол или органических полимеров.

Необходимо отметить также токсичность исходного сырья и конечного кремнийорганического продукта, что является существенным недостатком, усложняющим технологию получения и переработки полиорганосилоксанов. Следует подчеркнуть, что в отвержденном состоянии кремнийорганические смолы нетоксичны. Это имеет большое значение для применения КМ с кремнийорганической матрицей.

В качестве матрицы КМ используют некоторые виды искусственных неорганических полимеров. В технологии углеродсодержащих КМ в качестве матрицы наряду с искусственным графитом применяют также карбид кремния.

*Карбид кремния.* Основным недостатком карбида кремния является его хрупкость. Поэтому матрицу из карбида кремния для конструкционного применения армируют преимущественно волокнами.

В технологии получения КМ применяются два способа насыщения волокнистого каркаса карбидом кремния. Наиболее распространен способ насыщения волокнистого каркаса углеродной матрицей с последующим силицированием полученного полуфабриката. По другому способу волокнистый каркас насыщают пиролитическим карбидом кремния, который образуется в порах каркаса путем восстановления галогенидов кремния водородом.

*Углеродная матрица.* В технологии получения КМ углеродная матрица образуется в результате термического разложения как термопластичных и термореактивных, так и газообразных углеводородов. При использовании термопластичных или термореактивных углеводородов углеродную матрицу формируют твердые продукты пиролиза углеводородов, имеющие общее название *коксовый остаток*. В процессе пиролиза газообразных углеводородов выделяется *пиролитический углерод*, или *пироуглерод*, который служит матрицей, связывающей дискретные элементы наполнителя в единый монолит.

В качестве сырья для получения углеродной матрицы в технологии изготовления КМ наиболее часто используют термопластичную смесь углеводородов искусственного происхождения – *каменноугольный пек*. Находят применение также термореактивные фенолформальдегидные полимеры.

Каменноугольный пек является твердым продуктом перегонки смолы, выделяющейся в процессе коксования каменных углей. В твердом состоянии при нормальной температуре пек стеклообразен, а при температурах выше температуры плавления приобретает вязкотекучие свойства. Формование заготовок КМ проводят при температурах выше температуры размягчения пека. Полученные заготовки подвергают термической обработке, в процессе которой происходит деструкция углеводородов, связывающих наполнитель. Удаление летучих приводит к формированию пористости

матрицы из коксового остатка каменноугольного пека. Для достижения высокой прочности КМ необходимо обеспечить высокую прочность коксового остатка и его хорошую адгезию с наполнителем.

Прочность КМ пропорциональна выходу коксового остатка, так как наличие пор уменьшает живое сечение связующих мостиков между дискретными элементами наполнителя. Выходом коксового остатка и его адгезией к наполнителю можно управлять.

Пиролитический углерод образуется на нагретых поверхностях в процессе термического разложения газообразных углеводородов. Для формирования пироуглеродной матрицы КМ создают условия для разложения углеводородов на поверхности наполнителя, скомпонованного в виде пористого каркаса, создаваемого КМ. Конструктивную жесткость каркасу из наполнителя обычно придают с помощью коксового остатка каменноугольного пека или синтетических смол, которые используют для пропитывания пористого каркаса. Полученный полуфабрикат подвергают термической обработке.

Среди углеродных материалов пиролитический углерод обладает минимальным значением реакционной способности к окислительным средам. При сопоставимых толщинах физико-механические свойства пиролитического углерода сопоставимы со свойствами высокопрочных углеродных волокон.

Свойства пиролитического углерода обеспечивают его существенное преимущество перед коксовым остатком углеводородов при использовании в качестве матрицы КМ. В частности, при насыщении искусственного графита до одинаковой плотности образцы, насыщенные пиролитическим углеродом, обладают в 1,5 раза большей прочностью, чем образцы, уплотненные коксовым остатком каменноугольного пека. Однако при выборе углеродной матрицы КМ следует учитывать основной технологический недостаток пироуглеродной матрицы.

Особенность пиролитических процессов заключается в том, что пиролитический углерод насыщает пористую основу путем постепенного осаждения на доступных газу поверхностях. Поэтому некоторая часть пор и пустот, первоначально доступных газу, по мере увеличения толщины слоя пиролитического углерода может закупориваться полностью, прекращая поступление газа, т.е. остаются зоны неполностью заполненные матрицей. Этим пироуглеродная матрица существенно отличается от импрегнатов, вводимых в углеродный каркас в жидком виде, таких как полимеры, металлы и др.

### ***Наполнитель композиционных материалов***

При введении наполнителя в матрицу и наполнении им матрицы образуется КМ. Наполнитель обеспечивает основные конструктивные и функциональные свойства КМ. Поэтому основным требованием при выборе наполнителя является соответствие его свойств целевому назначению КМ.

*Наполнителями* для производства КМ могут служить практически все природные и созданные в процессе деятельности человека материалы после придания им определенных форм и размеров. В качестве наполнителей КМ наиболее широкое применение получили порошкообразные и волокнистые материалы естественного и искусственного происхождения (рис. 55).



Рисунок 55- Классификация композиционных материалов по виду наполнителя

### 6.3.1. Зернистый наполнитель композиционных материалов

Среди *естественных наполнителей* отметим мел, каолин, тальк и др.

*Мел*  $\text{CaCO}_3$  представляет собой мягкий минерал белого цвета, твердостью 3 по шкале Мооса. Данный минерал – осадочная горная порода, представляет собой очень распространенное природное вещество. Мел дешев, запасы его практически неограниченны, он нетоксичен, безвреден, не имеет запаха, это тонкозернистая разновидность известняка. При нагреве до  $800\text{ }^\circ\text{C}$  мел разлагается, выделяя углекислый газ и образуя известь.

Мел используется для наполнения полимеров. Введение мела сокращает расход полимеров и уменьшает усадку КМ в процессе его формования и отверждения. Мел имеет минимальный усиливающий эффект по сравнению с другими наполнителями. По показателю преломления света мел близок к большинству полимеров. Поэтому при введении мела можно получать оптически однородные пластмассы практически любого цвета. Для получения пластмасс белого цвета к мелу добавляют диоксид титана, а черный цвет получают путем добавки технического углерода. Наиболее широко мел используется для наполнения фенолформальдегидных, эпоксидных и полиэфирных полимеров.

*Каолин* имеет химическую формулу  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , его частицы имеют форму гексагональных пластинок. Он находит широкое применение как наполнитель полимеров, главным образом, полиэфирных. Введение каолина повышает физико-механические характеристики и модуль упругости наполненных им полимеров. Недостатком каолина является его плохая диспергируемость в полимерах, его введение резко повышает вязкость полимера.

*Тальк* – вещество с химической формулой  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , представляет собой белый порошок с пластинчатыми частицами, твердость которых 1 по шкале Мооса (самая высокая твердость 10 у алмаза). Пластинчатая форма частиц повышает усиливающий эффект талька как наполнителя. Применяют тальк преимущественно для наполнения полипропилена и поливинилхлорида.

*Нефелин и полевой шпат* являются безводными щелочными алюмосиликатами близкого состава. Куски полевого шпата раскалываются по плоскостям спайности, расположенным под углом  $90^\circ$  одна к другой, поэтому образующиеся частицы имеют форму блоков и прямоугольных осколков. Плоскости спайности нефелина расположены параллельно одна другой, поэтому при измельчении его частицы состоят из пластинок неправильной формы. Полевой шпат и нефелин безвредны для здоровья даже при попадании их пылевых частиц при дыхании внутрь.

Нефелин и полевой шпат хорошо смачиваются и диспергируются в большинстве полимеров, обеспечивая низкую вязкость и высокую текучесть при высоких степенях заполнения. Наполненные ими полимеры прозрачны или полупрозрачны, обладают повышенной химической стойкостью и износостойкостью. Нефелином и полевым шпатом чаще усиливают поливинилхлорид и полиэфирные смолы.

*Кварц* в виде порошка получают путем измельчения кварцевого песка до зерен диаметром не более 150 мкм. На долю кварца приходится около 10% общего объема используемых порошковых наполнителей для полимеров. Введение кварцевого порошка уменьшает усадку

полимеров и тем самым повышает стабильность размеров изделий из КМ. Кварцевый наполнитель повышает физико-механические свойства наполненных им полимеров и поэтому используется в технологии КМ конструкционного назначения.

В числе наполнителей **искусственного** происхождения порошкообразные металлы, технический углерод, аэросил, микросферы, технические алмазы, кубический нитрид бора.

**Порошкообразные металлы** широко используют в качестве наполнителя, особенно следует отметить намного большее, чем в промышленности пластмасс, потребление порошкообразных металлов в порошковой металлургии. Только в некоторых случаях порошки металлов выпускаются специально для использования в качестве наполнителя полимеров.

Порошки железа производят распылением расплавленных стали или чугуна водяной струей под высоким давлением. Высококачественные порошки получают при электролизе растворов солей железа, а также при разложении карбонила железа.

Для получения порошков меди, никеля и кобальта используют методы воздушного распыления расплавов, электролиза соответствующих солей или их восстановления водородом при высоких температурах и давлении. Расплавы свинца и цинка легко распыляются с образованием очень мелких частиц. Порошки циркония, гафния и титана получают из гидридов соответствующих металлов. При производстве порошков алюминия и его сплавов крупные куски обычно сначала дробят в молотковых дробилках, а затем измельчают в шаровых или вибрационных мельницах.

Мелкие порошки с частицами сферической формы получают путем распыления расплавов сильным воздушным потоком. По гранулометрическому составу различают порошки крупной (от 0,2 мм и менее), средней (от 0,1 мм и менее) и мелкой (от 0,05 мм и менее) фракций. Насыпная масса порошков находится в пределах 1,3–3,0 г/см<sup>3</sup>.

**Технический углерод** – это техническое название сажи. Сажа представляет собой порошкообразный продукт черного цвета, получаемый при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов. Применение сажи в качестве черного красящего вещества известно с глубокой древности. Сажу использовали для изготовления черной туши, которой написаны старинные китайские манускрипты, относящиеся к 4 тысячелетию до н.э. В Древнем Египте папирусы исполняли черными чернилами, изготовленными на основе сажи.

Технический углерод состоит из частиц сферической формы, диаметр которых менее 50 нм. Частицы образуют более или менее разветвленные цепочки. Свойства технического углерода определяются, главным образом, двумя характеристиками: удельной поверхностью, которая зависит от размера дисперсных частиц, и степенью структурированности дисперсных частиц углерода в цепочки. Оба этих параметра зависят от технологических параметров процесса пиролиза.

Свыше 90% технического углерода в настоящее время получают печным способом: нефть впрыскивают в реактор с горячими продуктами сгорания топлив, где она термически разлагается с образованием дисперсных частиц технического углерода. Большую часть полученного продукта подвергают гранулированию для удобства транспортирования, хранения и использования технического углерода. Кроме печного в меньших масштабах используют также другие способы получения сажи: канальный, термический, ламповый, ацетиленовый.

Около 95% технического углерода расходуется на нужды резинотехнической промышленности и только менее 5% технического углерода используется в качестве наполнителя полимеров, при этом обеспечивается их экономия. Кроме того, технический углерод повышает устойчивость полимеров к воздействию теплоты и УФ-излучения, улучшает их перерабатываемость, а также позволяет изменять электрическую проводимость полимеров. Технический углерод часто используется для окраски полимеров, придавая им непрозрачность при очень малых концентрациях/

**Аэросил** представляет собой дисперсные частицы диоксида кремния сферической формы диаметром до 10 нм, иногда этот материал называют «белой сажой». Получают аэросил гидролизом хлорида кремния в токе кислородно-водородного пламени. Аэросил не токсичен, безвреден, даже при больших концентрациях не вызывает силикоз.



Аэросил применяют для наполнения резин и полимеров. Он хорошо диспергируется в большинстве полимеров, однако снижает их жидкотекучесть.

**Микросферы** являются сферическими стеклянными частицами диаметром до 700 мкм. Получают микросферы путем расплытия расплава стекла. Преимущества микросфер в качестве наполнителя определяются их формой. Сферическая форма частиц обеспечивает минимальную вязкость полимеров в процессе получения КМ. Кроме того, сферическая форма частиц стекла обеспечивает их низкую абразивность, что значительно облегчает процессы переработки КМ из микросфер.

Введение микросфер в полимеры повышает физико-механические характеристики и твердость полученных КМ, увеличивает их износостойкость, водостойкость, коррозионную стойкость, вязкость разрушения и уменьшает их горючесть. Кроме того, введение микросфер снижает усадку и коробление изделий. Наилучший усиливающий эффект достигается при оптимальном сочетании микросфер с волокнистым наполнителем.

Около 80% производимых микросфер используется для получения светоотражающих материалов.

Наряду со сплошными применение нашли полые стеклянные микросферы, основным преимуществом которых является низкая плотность, не превышающая 0,7 г/см<sup>3</sup>. Наиболее широко используются полые стеклянные микросферы со средним диаметром 75 мкм и плотностью 0,3 г/см<sup>3</sup>. Большую часть полых микросфер применяют в качестве наполнителя полиэфирных и эпоксидных заливочных компаундов. Сферическая форма стеклянной оболочки полых микросфер позволяет ей выдерживать гидростатическое давление более 1000 МПа. Введение полых стеклянных микросфер в состав стеклопластиков увеличивает их жесткость и ударную вязкость. Особенно эффективным является использование полых микросфер в производстве искусственной древесины, неотличимой от натуральной.

Полые стеклянные микросферы получают в результате пропускания мелких стеклянных частиц, содержащих порофор, через высокотемпературную зону реактора. Частицы при этом плавятся или размягчаются, а порофор разлагается и формирует полость внутри частицы.

Используя аналогичный технологический принцип, получают полые органические и углеродные микросферы.

Интересным направлением утилизации дымовых выбросов является улавливание из них полых и сплошных керамических микросфер. Одновременно с защитой окружающей среды от загрязнений данный способ обеспечивает получение важного технического продукта при крайне низких экономических затратах.

Основным направлением использования полых микросфер разной природы является введение их в эпоксидные, полиэфирные и полиуретановые композиции с получением так называемых *синтактических пен*. При равной плотности синтактические пены значительно прочнее пенопластов, получаемых путем вспенивания жидких полимеров.

Природные и искусственные вещества, обладающие высокой твердостью, используют в качестве наполнителя абразивных материалов. Абразивные материалы предназначены для шлифования и полирования самых разных материалов. Эти операции осуществляются абразивным порошком в свободном состоянии, пастами, в состав которых кроме абразивного порошка входят вязкие смазывающие вещества, и абразивным инструментом. Абразивный инструмент выполнен из КМ, изготовленного в виде кругов, брусков и шкурки. В таком КМ зерна соединены абразивным наполнителем металлической, полимерной или керамической матрицы. Наибольшее применение в металлообработке получили карбид бора, корунд, карборунд и сверхтвердые материалы – алмаз и кубический нитрид бора. Их абразивную способность оценивают по массе сошлифованного эталонного материала, в качестве которого используют неорганическое стекло, при одинаковом расходе абразива.

Абразивостойкие изделия из карбида бора получают путем высокотемпературного прессования под высоким давлением (фильеры, сопла пескоструйных аппаратов, деталей буровых инструментов и др.).

Путем спекания порошка корунда получают так называемый *микролит* в форме резцовых пластин, фильер и других готовых к использованию изделий. Красностойкость микролита 1200 °С. По износостойкости режущий инструмент из микролита в 2 раза превосходит твердосплавный инструмент, а износостойкость микро-литовых фильер в десятки раз выше стойкости металлических фильер.

Абразивный инструмент с наполнителем из карборунда применяют для обработки чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов, а также обработки самих инструментов из твердых сплавов и керамики, правки шлифовальных кругов.

**Алмаз** – материал, имеющий наибольшую твердость среди всех природных веществ, шлифуется только собственным порошком. Разработано искусственное получение алмазов из графита при температуре 2000 °С и давлении 5300 МПа. Образующиеся мелкие кристаллы применяют для изготовления режущих инструментов. Около 80% производимых технических алмазов используется в качестве наполнителя КМ инструментального назначения. По крупности зерна алмазные порошки делят на три группы:

- шлифпорошки с размером зерна выше 50 мкм (контроль размера зерен осуществляется методом ситового отсева);
- микропорошки с размером зерен менее 50 мкм (размер зерен контролируют с помощью оптического микроскопа);
- субмикропорошки с размером зерен менее 1 мкм (для контроля размера зерен используют электронный микроскоп).

Шлифпорошки используют для изготовления инструмента на органической, керамической или металлической связке для особо тяжелых условий обработки: резки и обработки железобетона, бурения горных пород, а также правки абразивных кругов и твердосплавного инструмента.

Микропорошки используют для изготовления инструмента, шлифовальных паст и суспензий. Инструмент рекомендуют для обработки стекла и других хрупких материалов. Порошки используют при обработке алмазов, корунда, специальной керамики и других труднообрабатываемых и особо твердых материалов.

Субмикропорошки используют для получения максимального класса чистоты обработки поверхности полупроводниковых материалов и специальных зеркал для лазерной техники.

**Кубический нитрид бора** является кристаллографическим аналогом углерода, электронные свойства химической связи атомов В–N во многом схожи со связью между атомами углерода С–С. Свойства нитрида бора с тетраэдрической ячейкой кристаллической решетки схожи со свойствами алмаза. Кубический нитрид бора также имеет высокую твердость, лишь немногим уступая алмазу. Однако, в отличие от алмаза, он абсолютно инертен к окислительным средам как при нормальных, так и повышенных температурах. Кубический нитрид бора сохраняет высокую твердость при повышенных температурах, его красностойкость составляет 1500 °С. Отмеченные отличия дают кубическому нитриду бора определенные преимущества при использовании в качестве абразивного материала.

Кубический нитрид бора получают искусственно по технологии, аналогичной производству синтетических алмазов. Под воздействием высоких температур и давлений гексагональная кристаллическая решетка нитрида бора превращается в кубическую кристаллическую решетку с тетрагональной ячейкой. Кубический нитрид бора, как и алмаз, получается в виде отдельных зерен. Полученный порошок используют в производстве КМ в составе шлифовальных и отрезных кругов на органической, керамической или металлической связке.

### 6.3.2. Волокнистый наполнитель композиционных материалов

**Естественные наполнители.** Наибольшее применение в технологии КМ находят две разновидности волокнистых наполнителей естественного происхождения – асбест и волластонит.

*Асбест* – название группы силикатных минералов, обладающих волокнистым строением.

Волокна асбеста состоят из множества плотно упакованных полых микрофибрилл с наружным диаметром до 40 нм и диаметром полости около 5 нм.

Прочность асбестовых волокон достаточно высокая. Предел прочности при растяжении лучших сортов асбеста превышает 3000 МПа, что в 5 раз выше прочности наиболее распространенной в машиностроении стали 45. Однако изгиб, скручивание и другие виды деформации в процессе добычи и последующей переработки асбеста существенно снижают его прочность.

Прочностные свойства асбестовых волокон сохраняются до 400 °С, затем начинают снижаться и при 600 °С волокна теряют свою прочность и легко растираются в порошок. При нагреве до 1450 °С асбест плавится.

Асбест негорюч, инертен к воздействию щелочей, но не стоек в среде кислот. На него не действуют солнечная радиация, кислород, озон, он не растворим в воде.

Введение асбеста в матрицу повышает прочность КМ, а также предотвращает трещинообразование как в процессе изготовления, так и при эксплуатации материала. Асбестовый наполнитель вводят в матрицу из цемента, каучука, битума, маслосмоляных смесей и др.

*Волластонит* (химическая формула  $\text{CaSiO}_3$ ) – природный минерал, состоит из кристаллов игольчатой формы, имеющих белый цвет. Добыча его организована в промышленном масштабе. На долю волластонита как природного наполнителя приходится до 15% общего расхода наполнителей, используемых в промышленности пластмасс.

**Искусственные наполнители.** Сырьем для получения волокнистых наполнителей могут служить разные исходные вещества. Наибольшее применение в технологии КМ получили металлические, стеклянные, полимерные, углеродные, корундовые, карборундовые и борные волокна. Усредненные характеристики их физико-механических свойств представлены в табл. 4.

**Высокопрочная металлическая проволока** является одним из самых доступных видов волокон. В качестве наполнителя она используется, главным образом, в сочетании с металлической и керамической матрицами.

Для армирования металлов рекомендуется проволока из нержавеющей стали. К ее достоинствам относится менее интенсивное, по сравнению с углеродистыми сталями, взаимодействие с металлической матрицей. При использовании наиболее широко употребляемой алюминиевой матрицы в процессе изготовления КМ возможно образование хрупкого интерметаллида  $\text{FeAl}_3$ , который образуется преимущественно в результате взаимодействия алюминия с ферритной фазой и существенно менее активно с аустенитной и мартенситной структурами.

Характеристика волокнистого наполнителя композиционных материалов

Материал наполнителя	Диаметр волокна, мкм	$\sigma$ в, ГПа	E, ГПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Сталь	150	3 ,5	20 0	7,9
Стекло	10	4 ,0	85	2,5
Кевлар	15	4 ,5	15 0	1,4
Углерод: высокопрочный высокомодульный	7	5 ,5	30 0	1,8
	7	3 ,0	65 0	2,0
Карборунд	120	3 ,0	43 0	3,2
Бор	100	3 ,5	40 0	2,6
Нитевидные кристаллы: корунда карборунда	—	3 0	10 00	3,8
	—	4	80	3,2
	—	0	0	

Поэтому для изготовления наполнителя металлических матриц используют также хромоникелевые сплавы аустенитного и мартенситного классов. Прочность мартенситной проволоки в 1,5 раза выше, чем аустенитной. Однако вследствие отсутствия фазовых превращений при нагревании аустенитная проволока способна воспринимать нагрузки при повышенных температурах.

Проволоку с высокими физико-механическими показателями получают также из никелевых, ферроникелевых и кобальтовых сплавов.

Прочность проволоки из нержавеющей стали находится в среднем на уровне 2500 МПа. Легирование стали кобальтом позволяет существенно повысить ее прочность. Например, прочность проволоки из стали, легированной 2% кобальта, около 4000 МПа, а при введении в сталь 4% кобальта ее прочность достигает 5000 МПа.

Титановая проволока имеет высокую удельную прочность, относительную инертность, сохраняет прочностные характеристики до температур 400 °С. Прочность проволок из титановых сплавов находится на уровне 1700 МПа. Широкому использованию титановой проволоки в качестве упрочняющего наполнителя КМ препятствует техническая сложность и высокая трудоемкость их производства, а также трудности обеспечения прочности адгезионного контакта с металлической матрицей.

Технологические трудности характерны и для производства бериллиевой проволоки. Однако, несмотря на эти трудности, а также на токсичность бериллия, проволока из него привлекает большое внимание вследствие высоких значений удельной прочности и модуля упругости. Прочность бериллиевой проволоки находится на уровне 1400 МПа, что при плотности бериллия 1,8 г/см<sup>3</sup> соответствует удельной прочности до 80 км. Удельная жесткость бериллиевой проволоки достигает 16 тыс. км.

Молибденовая и вольфрамовая проволоки привлекают внимание вследствие высоких предела прочности и модуля упругости при высоких температурах.

Молибденовая проволока имеет предел прочности около 2500 МПа. Проволока из вольфрамового сплава имеет наиболее стабильную прочность в широком температурном интервале. Предел прочности вольфрамовой проволоки находится на уровне 5000 МПа.

**Стекланные волокна** изготавливают из расплавленного стекла методом вытягивания или раздува стеклянной струи, которые в зависимости от способа формирования называют соответственно непрерывными или штапельными волокнами.

Для получения *непрерывного волокна* расплав стекла пропускают через отверстия (фильеры) диаметром около 1 мм. Выходящая из фильеры нить наматывается на быстро вращающийся барабан. В процессе намотки нить вытягивается в волокно диаметром около 10 мкм. Отдельные волокна соединяются в одну пряжу, в которой может содержаться до 100 волокон. Чтобы волокна не слипались одно с другим и для защиты их от разрушения при трении одного о другое, детали перерабатывающего оборудования и поверхность волокон в процессе их вытягивания из нити покрывают замасливателем.

Замасливатель уменьшает адгезию между волокном и полимером, ухудшая свойства стеклопластиков. Поэтому в технологию композиционного материала вводят операцию термохимического удаления замасливателя и нанесения на их поверхность *аппрета*, чаще всего на кремнийорганической основе. Аппрет резко повышает адгезию стеклянного волокна со связующим полимером.

*Штапельные волокна* получают путем раздувания струй расплава стекла воздухом или паром на короткие волокна диаметром до 20 мкм. Прочность штапельных волокон в 2–3 раза меньше прочности непрерывных волокон вследствие отсутствия у штапельных волокон ориентационного эффекта.

Для использования КМ при повышенных температурах применяют кварцевое волокно. Его получают путем вытяжки кварцевых

стержней, нагретых до пластического состояния. Максимальное значение прочности кварцевых волокон диаметром 0,8 мкм достигает 10000 МПа. Прочность кварцевых волокон сохраняет высокое значение при повышенных температурах.

Кроме использования в качестве наполнителя КМ стекланные (оптически прозрачные) волокна находят не менее широкое применение для изготовления световодов. *Световоды* – это жгуты из волокон диаметром 150–1000 мкм, сердцевина которых имеет повышенный показатель преломления света по сравнению с оболочкой. Луч света, многократно отражаясь от оболочки, идет вдоль волокна, не выходя в окружающее пространство. Изображение освещенного объекта передается по изогнутому произвольным образом световоду в виде мозаики из отдельных точек. Каждая точка изображения соответствует одному стекловолокну. В световоде диаметром 5 мм помещается несколько десятков тысяч отдельных волокон, что гарантирует высокое качество передаваемого изображения объекта.

**Органические волокна** имеют промышленную основу для крупнотоннажного производства. Среди них наиболее перспективны волокна на основе ароматического полиамида (материал известен под названием *кевлар*).

Волокна из ароматического полиамида обладают высокой химической стойкостью, не взаимодействуют с органическими растворителями, а также с моторным топливом и смазками. Они не плавятся и не подвергаются деструкции до 400 °С и сохраняют длительную прочность при температурах до 200 °С. То, что они негорючи, имеет большое практическое значение. Основные свойства кеврала представлены в табл. 2

К недостаткам волокон из ароматического полиамида следует отнести их неустойчивость к воздействию щелочей и к кипячению в воде. Они также подвержены старению под действием ультрафиолетового излучения.

**Углеродные волокна** получают путем термической обработки полимерных волокон из вискозы или полиакрилонитрила, последние сокращенно называют ПАН-волокна. Текстильной переработке углеродных волокон препятствует их низкая пластичность и

хрупкость, поэтому текстильная форма углеродных волокнистых материалов закладывается на стадии исходных полимерных волокон.

Вискозные волокна перерабатывают в углеродные волокна преимущественно в виде тканых структур, а ПАН-волокна используют в виде текстильных нитей. Углеродные волокнистые материалы выпускают в виде непрерывных нитей, жгутов, войлока, лент, тканей разного ассортимента, трикотажных изделий технического назначения и т.д.

При выборе сырья для производства углеродного волокна необходимо учитывать, что для вискозного волокна сырьевая база более развита, чем для ПАН-волокон, но ПАН-волокна имеют более высокий выход углерода в процессе карбонизации. В процессе термодеструкции ПАН-волокон выделяется значительное количество ядовитого соединения HCN, утилизация которого значительно усложняет аппаратное оформление технологического процесса термической обработки.

Для получения углеродных волокон используют также нефтяной пек, лигнин и фенольные смолы, которые обеспечивают более низкую прочность и упругость, но имеют значительно более низкую себестоимость.

Технологический процесс получения углеродных волокон основан на термическом разложении исходных органических волокон в строго контролируемых условиях. В процессе карбонизации происходит удаление летучих веществ из исходного органического полимера, которое сопровождается уменьшением диаметра волокна.

Термическая переработка органических волокон в углеродные осуществляется в две стадии: карбонизация при температурах около 1000 °С и графитация при температурах около 2500 °С. Волокна, подвергнутые только первой стадии термической обработки, называют *карбонизованными* волокнами, а волокна, прошедшие обе стадии – *графитированными*.

Прочность углеродных волокон пропорциональна прочности исходных органических волокон, причем по прочности как карбонизованное, так и графитированное волокно превосходит исходное.

Углеродные волокна выпускают в виде жгута, состоящего из десятков тысяч отдельных волокон – *филаментов* – диаметром около 7 мкм. Филамент, в свою очередь, состоит из нескольких тысяч микрофибрилл 1 (рис. 56, а), взаимноориентированное расположение которых частично является слепком надмолекулярной структуры исходного полимера и частично привнесено вытяжкой исходного волокна в процессе термической обработки. Степень ориентации анизотропного углеродного волокна регулируют путем искусственного вытягивания волокна в процессе термической деструкции. С увеличением степени вытягивания возрастают прочность и жесткость волокна.

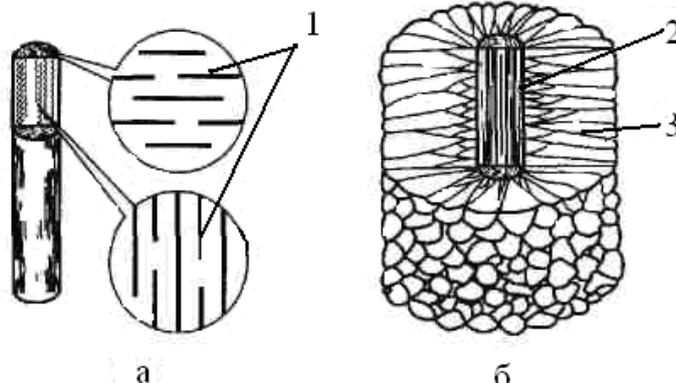


Рисунок 56- Схема строения углеродного (а) и борного (б) волокон:  
1 – микрофибриллы; 2 – вольфрамовая проволока; 3 – борные волокна

Основные свойства углеродных волокон представлены в табл. 2.

**Борные волокна** получают путем химического осаждения бора из газовой фазы на вольфрамовую проволоку 2 (рис. 56, б). В качестве подложки используют вольфрамовую

проволоку диаметром около 10 мкм. Диаметр борных волокон  $z$  зависит от продолжительности и технологических параметров процесса. Наиболее распространенный диаметр борных волокон около 100 мкм. Лучшие образцы борного волокна имеют свойства, указанные в табл. 2.

Характерной особенностью борных волокон является их высокая твердость. По твердости бор занимает второе место после углерода в модификации алмаза среди элементов Периодической системы. Микротвердость борных волокон составляет 35000 МПа.

Следует отметить разницу температурных коэффициентов линейного расширения вольфрама и бора, что вызывает большие внутренние напряжения (величина их в некоторых случаях превышает предел прочности борного покрытия, что приводит к образованию радиальных трещин).

**Нитевидные кристаллы** представляют собой кристаллическое вещество нитевидной формы с большим отношением длины к поперечному сечению, которое составляет более 20 при диаметре до 5 мкм. Из-за формы их часто называют *усаами*. При соответствующих условиях кристаллизации любое кристаллическое вещество может быть получено в виде нитевидных кристаллов. В настоящее время удалось получить более 100 веществ в виде нитевидных кристаллов, среди них металлы, оксиды, карбиды, галогениды, нитриды, графит и органические соединения.

Нитевидные кристаллы привлекают большое внимание. Интерес к ним вызван их уникальными свойствами: нитевидные кристаллы обладают крайне высокими значениями прочности и жесткости (см. табл.4).

Методы получения нитевидных кристаллов весьма разнообразны, они могут быть выращены из газовой фазы, из расплавов и растворов путем химического разложения или электролиза последних, а также из твердой фазы.

Нитевидные кристаллы выпускают в виде ваты и бумаги на основе нитевидных кристаллов (усов) корунда и карборунда. Около 90% общего выпуска нитевидных кристаллов приходится на долю карборунда.

Основными причинами, тормозящими выпуск нитевидных кристаллов, являются большой разброс их характеристик и недостаточная воспроизводимость результатов, что затрудняет применение этого продукта в технологии производства КМ при изготовлении ответственных деталей новой техники. В свою очередь, малый объем производства обуславливает высокую стоимость нитевидных кристаллов.

Для нитевидных кристаллов характерна обратно пропорциональная зависимость прочности от диаметра, что объясняется уменьшением числа дефектов с уменьшением размера кристалла. Наибольшее влияние на прочность оказывают дефекты боковой поверхности кристалла. Их устранение путем химического полирования повышает предел прочности при существенном уменьшении разброса данных параллельных определений.

Несмотря на отмеченные недостатки нитевидные кристаллы рассматриваются в качестве наиболее перспективного высокопрочного наполнителя для производства КМ будущего.

При соответствующих усилиях отмеченные недостатки технологии нитевидных кристаллов вполне могут быть преодолены. Об этом свидетельствует практический опыт успешного использования нитевидных кристаллов в системе теплозащиты космических аппаратов «Шаттл» и «Буран».

Рекордное значение предела прочности на растяжение нитевидных кристаллов составляет 41378,6 МПа (4218 кг/мм<sup>2</sup>). Оно достигнуто на усах карборунда, выращенных в лабораторных условиях. Данное число указывает на поразительные свойства усов, оно означает, что на нить площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>, т.е. нить диаметром чуть более 1 мм, подвешен груз массой 4 т и нить этот груз выдерживает. К грузу можно добавить еще массу 200 кг и нить не разорвется, и только после следующего дополнительного нагружения массой 18 кг нить не выдерживает и рвется. Однако

достигнутые показатели физико-механических свойств нитевидных кристаллов значительно ниже теоретических значений, которые можно приближенно оценить по формуле:

$$\sigma_B^T = \frac{E}{2\pi},$$

где  $\sigma_B$  – теоретическое значение предела прочности при растяжении (временного сопротивления) материала;  $E$  – модуль упругости.

Несоответствие теоретических и экспериментальных значений предела прочности вызвано наличием в реальных кристаллах дефектов строения.

При оценке теоретического значения предела прочности при растяжении материала исходят из предположения, что кристаллическая решетка материала имеет идеальное строение и разрыв атомарных связей кристаллической решетки происходит одновременно. Однако реальные материалы разрушаются по дислокационному механизму, что означает последовательный разрыв атомарных связей в процессе перемещения дислокации.

Прочность реального материала может быть повышена за счет увеличения плотности дислокаций или уменьшения числа дефектов. Зависимость предела прочности при растяжении от плотности дислокаций в железе (рис. 57) подтверждает этот вывод.

*Повышение плотности дислокаций* тормозит их продвижение под воздействием приложенной нагрузки, что приводит к повышению физико-механических свойств материала. Традиционные способы упрочнения материалов основаны на повышении плотности дислокаций разнообразными технологическими приемами, которые нашли отражение на правой ветви, приведенной на рис. 18 зависимости. Предел повышения прочности материалов традиционными технологическими приемами соответствует плотности дислокаций  $\rho=10^{12}$  см<sup>-2</sup>. При большей плотности дислокаций в материале возникают трещины и он перестает представлять интерес для технического применения в качестве конструкционного материала.

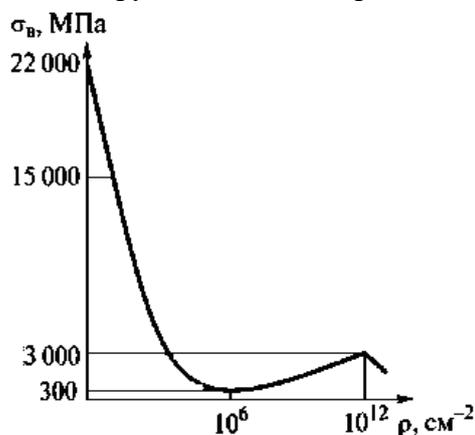


Рисунок 57-. Влияние плотности дефектов кристаллического строения на прочность материала

Левая ветвь кривой отображает повышение прочности материала в результате *уменьшения числа дефектов*. Основным технологическим приемом снижения дефектности материала является уменьшение геометрических размеров дискретных элементов структуры материала. Предел повышения прочности материалов в данном случае ограничен лишь его теоретической прочностью.

Одним из направлений реализации перспективного направления повышения прочности материалов является рассмотренная *технология нитевидных кристаллов*

Другое направление уменьшения дефектности материала – *получение дискретных элементов структуры* материала размерами менее 100 нм, которые называют *наноструктурами*.



### ***Вопросы по теме «Композиционные материалы»:***

1. Какими свойствами обладают компоненты композиционных материалов?
2. Какое строение могут иметь композиционные материалы?
3. Что является матрицей в композиционных материалах?
4. Какие наполнители используют для упрочнения композиционных материалов?
5. Какое влияние на свойства композиционного материала оказывают волокна бора?
6. Какими способами можно получать композиционные материалы?
7. В каких областях промышленности могут применяться композиционные материалы?

## **ЗАЩИТНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **Лакокрасочные материалы**

Лакокрасочные материалы применяют для нанесения покрытий с целью предохранения металлических и неметаллических изделий от коррозии и гниения, а также для электроизоляции и с декоративной целью. При защите от коррозии роль лакокрасочных покрытий сводится к изоляции металла от внешней среды и прекращению действия гальванических микропар на поверхности металла. Наиболее распространёнными лакокрасочными покрытиями являются краски, лаки и эмали. также находят применение пластмассовые покрытия. Особенностью этих материалов является их способность после нанесения на защищаемую поверхность и высыхания образовывать прозрачную (лаки) или непрозрачную (краски, эмали, пластмассы) защитную плёнку, которая характеризуется адгезией (сцеплением) с окрашиваемой поверхностью, механической прочностью, эластичностью и стойкостью к неблагоприятным воздействиям внешней среды (воды, газа, и т. д.). Краски состоят из плёнкообразующих веществ, пигментов или красителей, наполнителей, растворителей и других веществ. В качестве плёнкообразующих веществ могут использоваться: растительные масла, естественные (природные) смолы, конденсационные синтетические смолы, полимеризационные синтетические смолы, эфиры целлюлозы. Эти вещества являются основой покрытия. Пигменты представляют собой тонкодисперсные порошкообразные вещества, вводимые в состав лакокрасочной композиции для придания плёнке определённого цвета и укрывистости (непрозрачности) и повышения световой, атмосферной, коррозионной, эрозионной стойкости и механической прочности плёнки. Пигменты, введённые в лакокрасочные композиции, не растворяются, а образуют суспензию. Красители являются органическими соединениями, имеющими определённый цвет, способными при взаимодействии с различными веществами окрашивать их и противостоять различным внешним воздействиям, не изменяя своего цвета. Растворители используют для перевода в раствор основного плёнкообразующего вещества и создания рабочей консистенции. Они обладают избирательным действием, то есть могут растворять одни вещества, но не растворять другие. Основными растворителями являются: спирты, углеводороды, хлорорганические соединения, сложные и простые эфиры, кетоны, и т. д. Пластификаторы предназначены для снижения хрупкости плёнки после высыхания. Важнейшими пластификаторами являются: касторовое масло, кастероль, дибульфталат, диотилфталат, трифенилфталат, трикрезилфосфат. Сиккативы применяют для ускорения высыхания краски. Сиккативами в основном являются соли свинца, марганца, кобальта, цинка и кальция, образующие жирными кислотами (линолеаты), смоляными кислотами (резинаты) и нафтеновыми кислотами (нафтенаты). Отвердители. Синтетические смолы для образования качественных лакокрасочных покрытий нуждаются в отвердителях, которые, реагируя с эпоксидной группой, образуют пространственные полимеры. Антистарители (антиоксиданты) – это вещества, вносимые в лакокрасочные композиции

для уменьшения влияния кислорода воздуха, приводящего к их хрупкости и старению. Антиоксидантами являются: дифенилгуандил, дифенилиланин, фенольная смола №101. Поверхностно-активные вещества. Они применяются для повышения адгезии плёнообразующих к укываемым материалам и к частицам пигментов и наполнителей для образования более равномерной диспергированной суспензии лакокрасочной композиции. Краски готовят на краскотёрочных машинах, между вращающимися валиками, которые растирают смесь плёнообразующего с пигментом и наполнителем. Растирание проводят до образования однородной массы в виде суспензии – густотёртая краска. При использовании её разбавляют растворителем. Лаки состоят из плёнообразующего вещества и растворителя. В зависимости от происхождения плёнообразующих веществ лаки разделяются на природные и искусственные, а по типу растворителя – на спиртовые и масляные. Лаки придают поверхности блеск и быстро высыхают. Некоторые лаки образуют термо- и химически стойкие плёнки. Кроме того они могут обладать электроизоляционными свойствами. Недостатком многих лаков является слабая адгезия к металлам и хрупкость защитной плёнки. Эмали представляют собой растворы лаков с добавкой пигментов в органических растворителях.

### **Виды покрытий и области их применения**

Различные лакокрасочные покрытия имеют широкое применение в самых разнообразных областях народного хозяйства. Заводы различных отраслей индустрии, строительные и коммунальные организации в своей повседневной деятельности используют разного рода лакокрасочные покрытия для защиты изделий и конструкций от разрушающего воздействия внешней среды, а также для декоративной отделки. Лакокрасочные покрытия имеют существенные преимущества перед другими видами защитных покрытий. Они в большинстве случаев наиболее удобны по методу их нанесения, дешевы и часто более долговечны, чем металлические и другие виды защитных покрытий. Защитные покрытия должны надежно защищать материалы от разрушения (коррозии) под действием окружающей среды и в то же время иметь внешний вид, удовлетворяющий эксплуатационным и эстетическим требованиям. Лакокрасочные покрытия часто выполняют и ряд других функций: отражательную способность поверхности, обеспечение электроизоляционных свойств и т. п. Покрытия служат как для защиты от коррозии металлов, так и для предохранения от разрушения неметаллических материалов (древесины, стеклопластиков и др.), прочностные и диэлектрические свойства которых при проникновении в них влаги резко ухудшаются.

155 В отличие от защитных покрытий, где главную роль играет защита материала от разрушения, покрытия с повышенными требованиями к внешнему виду (зеркальный блеск, узор) называют защитно-декоративными. Покрытия могут придавать поверхности гладкость или шероховатость, блеск или матовость, требуемый цвет или узор. Тот или иной вид отделки обуславливается не только эстетическими, но часто и эксплуатационными требованиями. Так, гладкость нужна для уменьшения аэродинамического сопротивления поверхностей, работающих в условиях обмывания жидкостным, газовым или воздушным потоком (корпуса автомобилей, судов, летательных аппаратов); зеркальный блеск – для отражательных поверхностей (рефлекторы, прожекторы); матовость – для шкал приборов во избежание появления бликов, мешающих считыванию показаний прибора; различные яркие цвета – для быстрого распознавания объектов (провода систем коммуникаций, баллоны со сжатыми газами), белый и светлые тона – для увеличения освещенности помещений; зеленый цвет – для уменьшения утомляемости рабочих в цехах и т. д. Некоторые покрытия наносят для предохранения деталей от механического разрушения – эрозии, износа при трении. Такие покрытия называют износостойкими. Они обладают твердостью и пористостью, что позволяет им хорошо удерживать смазку. Лакокрасочные покрытия образуются на поверхности металла, дерева, штукатурки, стекла и других материалов в результате нанесения на них жидких лакокрасочных материалов и последующего их отверждения (высыхания).

Основными составляющими жидких лакокрасочных материалов являются пленкообразующие вещества в чистом виде (олифы или лаки) или в смеси с пигментами и наполнителями (краски и эмали). По составу пленкообразующего вещества различают две группы лакокрасочных материалов: непревращаемые пленки образуются при испарении растворителей, например первинилхлоридные, нитроцеллюлозные и др.; превращаемые пленки образуются вследствие сложных физико-химических процессов окисления, полимеризации, конденсации или одновременно нескольких из этих процессов. Превращаемые пленки, например эпоксидные, алкидные, фенольно-масляные, не растворяются в органических растворителях. По своему назначению лакокрасочные материалы разделяют на грунты, шпатлевки, эмали, лаки. Масляные покрытия имеют хорошую атмосферостойкость, могут подвергаться холодной и горячей сушке, используются для внутренних и наружных работ, для грунтовых и лицевых покрытий самых разнообразных изделий. Благодаря достижениям в области синтетических пленкообразователей масляные краски стали употребляться значительно меньше. Однако покрытия на масляной основе еще довольно широко применяются в качестве антикоррозионных в различных областях промышленности. Недостатками масляных покрытий являются: медленное высыхание, невысокие механические свойства, высокая водонабухаемость и невозможность шлифования и полирования. Безмасляные битумные покрытия неустойчивы к действию солнечного света, поэтому они применяются для изделий, эксплуатируемых внутри помещений, под водой и т. д. При введении растительных масел в битумные композиции увеличивается атмосферостойкость покрытий, особенно после горячей сушки. Введение алюминиевой пудры значительно повышает срок службы покрытия. Алкидные или полиэфирные смолы являются ведущим видом лакокрасочных материалов. Широкое применение этих материалов обуславливается возможностью получения на их основе покрытий, пригодных для самых разнообразных целей: окраски вагонов и кузовов транспортных средств, сельскохозяйственных машин, различных приборов, трубопроводов, медицинской и кухонной мебели и т. д. В зависимости от исходных компонентов различают глифталевые и пентафталевые алкидные смолы. На их основе готовят лаки для покрытий, а также электроизоляционные, пропиточные и склеивающие лаки, грунты для черных металлов, пассивирующие грунты для легких сплавов, эмали разнообразных цветов. Эмали могут быть холодной (при комнатной температуре) и горячей (при температуре 80...150°C) сушки. Вследствие хорошей адгезии к металлу алкидные грунты часто используют как подслои под нитроцеллюлозные и первинилхлоридные эмали. Покрытия неалкидными материалами выдерживают длительный нагрев при температуре 250°C. Покрытия на основе мочевино- и меламиноформальдегидных смол имеют высокую твердость, блеск и эластичность. Меламиноформальдегидные покрытия обладают большей устойчивостью к нагреву и щелочам, чем мочевиноформальдегидные. Мочевино- и меламиноформальдегидные смолы с успехом используются, когда требуется сохранить цвет покрытия. Белые эмали горячей сушки применяют для окраски изделий широкого потребления: холодильников, стиральных машин, медицинского и торгового оборудования и т. д. Цветные эмали используют для окраски велосипедов, металлической фурнитуры, различных приборов и т. д. Хорошая прилипаемость мочевино- и меламиноформальдегидных покрытий дает возможность применять их в качестве грунтов. Покрытия на основе эфиров целлюлозы отличаются блеском, твердостью, эластичностью, бензостойкостью и удовлетворительной атмосферостойкостью. Быстрое высыхание позволяет применять их для окраски массовой продукции при поточной системе производства на конвейерах. Наиболее широко используют покрытия на основе нитроцеллюлозы. Нитролаки и нитрокраски высыхают за несколько минут, но полное отверждение, при котором покрытие можно шлифовать и полировать, наступает через несколько часов. Недостатками нитроцеллюлозных покрытий являются невысокая устойчивость к действию теплоты и ультрафиолетовых лучей и легкая

воспламеняемость. Нитролаки и нитроэмали применяют для окраски 158 легковых автомашин, металлорежущих станков, внутренних деталей при- боров (шкал, стрелок), мебели, карандашей и т. п. Этилцеллюлозные покрытия отличаются большой химической стойко- стью, механической прочностью, светостойкостью, высокой морозостойко- стью, малой горючестью и хорошими диэлектрическими свойствами; вы- держивают нагрев до 100...120°C. На основе этилцеллюлозы изготовля- ют электроизоляционные и химически стойкие лаки и эмали, которыми покрывают ткань, резину, бумагу. Ацетобутират целлюлозы, хорошо рас- творяясь в органических растворителях, также применяется для изготов- ления лаков. В отличие от нитролаков ацетобутиратные лаки образуют не- горючие покрытия. Покрытия на основе виниловых смол имеют высокую химическую стойкость к различным реагентам. Наиболее широкое применение полу- чили различные сорта эмалей и лаков на первинилхлоридной основе – для окраски корпусов морских и речных судов, аппаратуры и металлоконст- рукций химических заводов, а также сельскохозяйственных машин и т. п. Применяются также защитно-декоративные покрытия из порошкообраз- ных полимеров во взвешенном состоянии. Для нанесения таких покрытий де- таль очищают, обезжиривают и нагревают до температуры несколько превы- шающей температуру плавления полимера. Далее деталь помещают на 3...10 секунд во взвешенный (кипящий) слой порошка, который, попадая на нагре- тую поверхность, плавится и растекается, образуя равномерное покрытие. Для таких покрытий применяются пластичные полимеры: полиэтилен, поли- пропилен, полиамиды, полистирол и т. д. При окраске сельскохозяйственных машин и тракторов применяют эмали ПФ-133. В качестве термостойких покрытий используют кремнийорганиче- ские лаки и эмали, например эмаль КО-88 способна длительное время рабо- тать при температуре до 500°C, а эмаль КО-589 работоспособна в диапазоне температур от -60 до +250°C. Кузова легковых автомобилей окрашивают эма- лями МЛ-12, ПФ-1147, ГФ-1147 и другими. 159 Наиболее широкое применение лакокрасочные покрытия имеют для защиты изделий и конструкций от атмосферных влияний. Водостойкие покрытия применяют для защиты различных конструкций, форм, гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в воде, корпусов речных и морских судов. Для этих покрытий используется свинцовый су- рик на натуральной олифе, а также битумные покрытия. Водостойкие по- крытия могут быть получены на основе первинилхлоридных смол и поли- меров дивинилацетилена (лак этиноль и эмаль ДП на железном сурике или алюминиевой пудре). Химически стойкие покрытия применяют для защиты изделий и конст- рукций, эксплуатируемых в кислотных, щелочных и других агрессивных средах. К ним относятся первинилхлоридная смола, поливинилхлорид и его сополимеры, полиэтилен, эпоксидные смолы, битумные материалы и др. Маслостойкие покрытия применяют для защиты деталей и кон- структур, соприкасающихся с бензином, жидким топливом и смазочными маслами. Термостойкие покрытия получают преимущественно на битумно- масляной, алкидно-масляной или кремнийорганической основе. В качестве пигментов употребляют железный сурик, литопон, графит, алюминиевую пудру и цинковую пыль. Токопроводящие покрытия применяют в различных областях техники. Их получают нанесением эмалей, содержащих значительное количество (до 95...97%) металлических порошков (цинк, медь и др.). В качестве пленкообразующего используют полистирол или сополимеры винилхло- рида, в качестве растворителя — ксилол или скипидар. Токопроводящая эмаль во время сварки защищает металл от окисления и изолирует его от коррозионного воздействия атмосферы. Необрастающие покрытия применяют для защиты корпусов морских судов, различной подводной аппаратуры и гидротехнических сооружений 160 от обрастания водорослями и морскими организмами. Покрытия содержат различные яды, главным образом соединения меди, ртути и мышьяка. Покрытия, устойчивые к действию плесени, применяют для изделий, эксплуатируемых в атмосфере с повышенной влажностью, особенно в тро- пическом климате. Микроорганизмы плесени разрушают пленкообразова- тель покрытий, используя его в

качестве питательного вещества, и покрытие перестает выполнять свои защитные функции. Для предотвращения развития плесени в лакокрасочные материалы для верхних покровных слоев вводят фунгицидные добавки (тетрахлорфенол, каломель, различные фенилртутные соединения и др.). Светящиеся покрытия применяют для шкал приборов, деталей механизмов, аварийного инструмента, противопожарного инвентаря, освечивания проходов и т. д. В светящихся покрытиях в качестве пигмента используют особые светящиеся порошки, называемые люминофорами. Используя примеси радиоактивных веществ, получают светящиеся покрытия постоянного действия. Декоративные покрытия. К числу декоративных относятся покрытия «мороз» и «муар», молотковые, рефлексные, многоцветные покрытия и покрытия, имитирующие ценные породы дерева.

### **Герметики**

Данная группа материалов предназначена для герметизации разборных и неразборных соединений. Герметики бывают отверждаемыми, сохраняющими пластичность и эластичность. Пластичные герметики не обладают способностью возврата в исходное состояние. Эластичные – упруги, обладают способностью возврата в исходное состояние, имеют высокую деформируемость и используются для швов, которые могут менять своё положение при работе. Они имеют высокое сцепление с герметизируемой поверхностью. Герметики бывают: резиновые, силиконовые, полисульфидные, акриловые, полиуретановые, полиизобутановые и т. д. 161 В технике наиболее распространены резиновые герметики. Герметизирующие составы на резиновой основе подразделяют на вулканизирующиеся и не вулканизирующиеся – невысыхающие и высыхающие. Вулканизирующиеся герметики представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, поставляемые комплектно с отвердителями (вулканизаторами), переходящие в процессе вулканизации в эластичные газо- и гидронепроницаемые резиноподобные тела, хорошо заполняющие уплотняемые соединения. К этой группе относятся тиоколовые герметики, которые являются наиболее универсальными и распространёнными. К ним относятся герметики У-30М, 51-УТ-36А, ВИТЭФ-4, У-30МЭС-5. Кроме герметизирующей пасты и вулканизатора они могут содержать ускоритель вулканизации. Все компоненты смешиваются непосредственно перед употреблением. Эти герметики химически стойки и могут применяться от -60 до +130°C. Теплостойкие силиконовые герметики изготавливают на основе жидких силиконовых каучуков, они стойки при температурах от -100 до 300°C. Силиконовые герметики, также как и тиоколовые, состоят из герметизирующей пасты и вулканизирующих агентов, смешиваемых перед употреблением. К ним относятся ВИКСИНТ, У-1-18, КЛ-4, ВГО-1, Эластосил 11-01, Силпен, ВПГ-2Л. Теплоупругостойкие герметики разработаны на основе фторсодержащих каучуков. Эксплуатируются при температуре от -60 до +250°C. Предназначены для герметизации соединений топливной и масляной аппаратуры. Невысыхающие герметики представляют собой термопластичные невулканизируемые замазки, пасты, мастики, предназначенные для уплотнения разборных соединений. При герметизации, а также разборке их нагревают до 30...50 °С. Предельная температура эксплуатации не выше 70°C. Высыхающие герметики имеют в своём составе органические растворители, при испарении которых образуется пластичная плёнка, которая может быть повторно растворена. 162 Для заполнения зазоров неподвижных разборных соединений (резьбовых, фланцевых, прессовых и т. д.) и периодически подвижных (кранов, задвижек и т. д.) в целях герметизации, предохранения их деталей от коррозии и от воздействия агрессивных сред и обеспечения подвижности или разбираемости предназначены герметизирующие смазки. Для этой цели также широко применяют смазки с графитом и дисульфидом молибдена. К герметизирующим смазкам относятся: ВНИИ НП-225, графитная БВМ-1, замазка ЗЗК-3у, паста КПП-8 и другие.

### **Фосфаты.**

Фосфаты относятся к химическим покрытиям, защищающим металл оксидными плёнками. При фосфатировании на поверхности металла образуется плёнка нерастворимых в воде фосфорнокислых соединений железа  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$  и марганца  $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$ . Защитные действия таких плёнок основаны на механическом препятствии ионам электролита или атомам внешней среды, взаимодействовать с металлом изделия. Для того чтобы оксидная плёнка защищала металл от коррозии, она должна быть плотной, беспористой и равномерно покрывать всю поверхность изделия. Изделия, подвергаемые фосфатированию, очищают от окислов, грязи, обезжиривают и погружают в горячий раствор (97...99°C) препарата «мажеф» (по наименованию основных компонентов солей: марганцевых и железных фосфатов), состоящего в основном из дигидроортофосфатов марганца и железа  $n\text{Fe}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   $m\text{Mn}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . В результате обработки таким раствором на поверхности изделия образуются фосфаты железа и марганца. Продолжительность фосфатирования достигает одного часа, затем изделие вынимают, промывают и сушат. Фосфатированная поверхность имеет тёмный или тёмно-серый кристаллический слой, защищающий сталь от атмосферной коррозии. Кроме того, фосфатирование применяют как грунтовку под лакокрасочные покрытия и смазки. 163

### Грунтовки

Грунтовки представляют собой лакокрасочные композиции, предназначенные для образования грунта, то есть первого слоя покрытия, наносимого непосредственно на укрываемую очищенную и обезжиренную поверхность и служащего в качестве специального подготовительного основания для последующих слоёв лакокрасочного покрытия. Существуют также грунтовки для консервации – защиты металла от коррозии во время хранения, такие грунтовки обладают малой адгезией к лакокрасочным покрытиям. По условиям работы грунтовки должны иметь хорошую адгезию к укрываемому материалу и заполнять все его неровности и поры, обладать защитными антикоррозионными свойствами к нему и хорошей адгезией по отношению к последующим слоям покрытия. Каждому виду укрываемого материала или другого материала соответствуют грунтовки определённого состава. Для лучшей защиты от коррозии применяют фосфатирующие грунтовки (марки ВЛ-02, ВЛ-023, ВЛ-08 и другие), в состав которых входит ортофосфорная кислота, благодаря которой создаётся защитная фосфатная плёнка, и протекторные грунтовки, в состав которых, в качестве пигментов введены металлические порошки, имеющие более низкий электродный потенциал, чем чёрные металлы. Для грунтования чёрных металлов применяют фенольно-формальдегидные антикоррозионные грунтовки, которые наносятся на неокрашиваемые поверхности. Для грунтования подготовленной поверхности кузова и других деталей легковых автомобилей методом распыления применяют грунтовку ЭФ-083 (ГОСТ 20468-75). Для алюминиевых и остальных деталей, работающих при температуре до 200°C применяют грунтовку ФЛ-086 жёлтую. Грунтовка ГФ-0114 используется для защиты от коррозии внутренних поверхностей сварных швов при точечной сварке дюралюминиевых обшивок и деталей. 164 При подкрашивании небольших площадей по металлу применяется грунтовка НЦ-097 серая (нитрогрунтовка 622). Повышение производительности окрасочных цехов достигается при снижении времени высыхания грунтовок. Переход из вязущего в твёрдое состояние происходит либо в процессе химической реакции, либо физическим путём (при испарении растворителя), иногда эти способы комбинируют.

### Шпатлевки

Шпатлевки состоят из минеральной части – пигмента и наполнителей (до 85...90% состава), затёртых на специальных шпатлевочных лаках (или других пленкообразующих) с добавлением пластификаторов, отвердителей, поверхностно-активных и других веществ до образования однородной тонкодисперсной пластичной (пластообразной) массы, предназначенной для выравнивания неровностей металлических, пластмассовых, деревянных и других поверхностей деталей перед окрашиванием и уже окрашенных в

процессе вы- правки обнаруженных дефектов. Шпатлевки обладают хорошей адгезией, обеспечивающей прочное сцеп- ление с грунтованной и негрунтованной (грунтовки, подмазки и грунтошпат- левки) поверхностями и достаточной пластичностью, способствующей отве- дению шпатлевачного слоя оптимальной толщины (0,1...0,4 мм) без образо- вания трещин, отслоений. Затвердевшая шпатлёвка шлифуется пемзой или специальными шкурками с водой для обеспечения хорошей подложки для нанесения лакокрасочной плёнки. Некоторые шпатлёвки обладают особыми свойствами: термостойкостью, химической стойкостью, малой теплопровод- ностью и т.д. Грунтошпатлевки ГФ-018-2 и ГФ-018-3 (жёлтые) и ГФ-018-4 и ГФ-019-0 и ГФ-018-7 (серые) предназначены для нанесения на кузова и детали оперения автомобилей по металлу и грунтовке. Грунтшпатлёвки 178 (коричневая) и 188 (серая) применяются для легко- вых автомобилей с нанесением двух слоёв. Шпатлёвка ГФ-0075 (розовая и серая) выпускается для автозаводов. Её применяют в качестве промежуточных покрытий по грунту ГФ-020 или ГФ- 032 для выравнивания загрунтованной поверхности под нитроэмали. Рабочая вязкость шпатлёвки, разбавленной сольвентом в количестве 10...25%, при 10...20°C составляет 14...16 с. Время высыхания при 100...110°C не более одного часа. Подмазка 200 – паста на основе глифталевого или пентафталевого лака, предназначена для заполнения отдельных пор и царапин на металле. Продол- жительность высыхания при 20°C не более 30 минут.

#### **Светоотражающие материалы**

Светоотражающие материалы применяемые в автомобиле- и тракторо- строении, могут выполнять двоякую функцию: быть декоративными элемен- тами и элементами безопасности. Безопасность обеспечивается применением различных красок. Светящиеся покрытия (люминофоры) – это вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений. Они широко применяются для шкал и стрелок приборов, пожарных предупредителей и других указате- лей аварийного освещения, рычагов и кнопок управления. Они образуются путём внесения в лак-основу в качестве пигментов фото- и радиолюминофо- ров. В первом случае образуется светящееся покрытие временного действия, во втором – длительного. Различают краски фосфоресцирующие, то есть све- тящиеся короткое время после возбуждения люминофора и флуоресцирую- щие, для свечения которых требуется внешний источник света. Последние широко применяются для дорожных знаков, автомобильных номеров, а также для обозначения негабаритных грузов. Для окрашивания емкостей для хранения легковоспламеняющихся ве- ществ используют краски, содержащие в качестве пигмента алюминиевую пудру. Такие краски обладают способностью отражать значительную часть солнечных лучей, в результате чего нагрев ёмкостей снижается, а вместе с этим снижается вероятность пожара. 166 Для придания привлекательного внешнего вида автомобилям их окраши- вают глянцевыми красками. При этом если используются светлые краски, способные отражать более 60% падающего света, уменьшается нагрев возду- ха в салоне автомобиля и условия труда водителя становятся более безопас- ными (так как снижается утомляемость). В качестве декоративных покрытий применяют хром и никель. Кроме улучшения внешнего вида эти покрытия способны защищать металл от кор- розии, повышать его твёрдость. Наиболее простой способ нанесения таких покрытий – электролитический. Электролитический способ нанесения метал- лических покрытий состоит в осаждении металлов из водных растворов солей на поверхность металлических изделий при помощи электрического тока, подведённого извне. Таким способом получают относительно тонкие по- крытия, прочно сцепленные с изделием. Для нанесения покрытий изделие очищают от окислов, обезжиривают и помещают в ванну с раствором солей металла, служащих электролитом. Изделие соединяют с отрицательным по- люсом источника тока, и оно служит катодом, а анодом служит пластинка осаждаемого металла, которую подключают к положительному полюсу. При пропускании тока на изделии кристаллизуется металл из растворов солей электролита. Для

светоотражения применяется краска БТ-177, которая отражает солнечные лучи, а для окраски объектов, которые должны быть видны на значительном расстоянии (дорожные знаки, средства спасения и т.д.) применяют флуоресцентные эмали АС-554, выпускаемые нескольких цветов.

### **Энергопоглощающие материалы**

Энергопоглощающие материалы широко используются в технике для снижения динамических и знакопеременных нагрузок, что способствует увеличению срока службы и надёжности машин и механизмов. Материалы этой группы могут быть металлами и неметаллами. Для изготовления пружин применяются пружинные стали и бронзы. К пружинным относятся стали, содержащие 0,5...1,2% углерода, они могут быть углеродистыми и легированными. Углеродистые стали имеют низкую стоимость, а легированные обладают высоким пределом текучести и выносливости при достаточной вязкости и пластичности. Термическая обработка сводится к закалке и высокому отпуску. Бронзы применяют в пружинах с высокой электропроводностью. Магниевого сплавы хорошо поглощают вибрацию. Их идеальная вибрационная прочность с учётом демпфирующей способности почти в 100 раз больше, чем у дюралюминия, и в 20 раз больше, чем у легированной стали. Наиболее стоек к вибрационным нагрузкам сплав МЦИ. Его демпфирующая способность в десятки раз больше чем у других магниевых сплавов. Для восприятия ударных нагрузок используется резина. Основным элементом резины является каучук, который может быть натуральным (НК) или синтетическим (СК). Листовая резина в зависимости от условий эксплуатации бывает: тепло-розокислотощелочестойкой (ТМКЩ), атмосферномаслостойкая (АМС), маслобензиностойкая (МБС). Кроме того резина различается по твёрдости на: мягкую – для работы от -45 до +90°C, средней твёрдости – для работы от -60 до +80°C, повышенной твёрдости (эбонит). Листовая резина обладает высокой эластичностью, сопротивлением разрыву и истиранию, она гидро- и газо- непроницаема, химически стойка. Листы выпускаются толщиной 2...60 мм, шириной 250...1000 мм и длиной 250...3000 мм. Губчатая резина используется в качестве амортизирующих подушек. Она бывает с открытосообщающимися порами (латексная губка, пенная резина) и с закрытыми порами (ячеистая резина). Относительное удлинение при разрыве такой резины составляет 300%, а остаточная деформация при многократном нагружении не превышает 7,5%. Для амортизации также используют пенопласт ПВХЭ, который является продуктом вспенивания поливинилхлоридных паст. Этот материал имеет плотность 0,1...0,2 г/см<sup>3</sup>. К энергопоглощающим материалам также относятся пластмассы и пластике, например полиэтилен низкого давления и пропилен.

### **Безопасные интерьерные и отделочные материалы**

Безопасные материалы не должны гореть и выделять токсичных веществ. К этой категории относятся нижеперечисленные материалы. Невоспламеняющаяся ткань представляет собой хлопчатобумажную ткань, пропитанную огнезащитным составом. Такая ткань после выдерживания в пламени в течение 15 секунд не горит и не тлеет. Огнезащитные свойства сохраняются после шести химических чисток и после кипячения в дистиллированной воде. Кожзаменители. К этой категории относятся клеенка, нитрокожа, винилкожа, обивочная и облицовочная. Они представляют собой ткани, покрытые с одной или с обеих сторон специальными пленками. Пленки изготовляют: для клеенки – на основе растительного масла, нитрокожи – из нитроцеллюлозы, винилкожи обивочной и облицовочной – на основе поливинилхлорида. Клеенка малогорюча и водонепроницаема, сохраняет свои качества до температуры +260°C. Нитрокожа – эластична и не слипается при складывании и сжатии лицевыми сторонами, светопрозрачна; винилкожа – устойчива к многократному сгибанию, устойчива к мокрому трению и не слипается при складывании и сжатии лицевыми сторонами, морозостойка: обивочная до -40°C, облицовочная – до -30°C. Кожа состоит из внутреннего и наружного слоёв. Наружная сторона – гладкая, блестящая, может окрашиваться в различные цвета.



Внутренняя сторона – не гладкая называется бахромой. Кожа отличается высокой прочностью и негорючестью. Наряду с кожей применяется дублёная замша с высоким ворсом. Бумажнослоистые декоративные пластики (ГОСТ 9590-76). Это продукт прессования специальных видов бумаги, пропитанных синтетическими терморезистивными связующими. Они применяются в отделке жилых и производственных помещений, а также при отделке салонов транспортных средств. 169 Такие пластики изготавливаются в виде листов толщиной от 1 до 3 мм, шириной 400...1600 мм и длиной 400...3000 мм (с интервалом 25 мм). В зависимости от лицевой стороны (ее качества) они подразделяются на три марки: А – для условий, требующих повышенной износостойкости (горизонтальные покрытия); Б – для вертикальных поверхностей; В – применяется в качестве подделочного материала. Бумажнослоистые пластики имеют относительно высокие механические характеристики, так напряжение изгиба для пластика А:  $\sigma_{изг} = 120$  МПа. Их термическая стойкость достигает 180°C. \*Винилпласт УВ-10 получают при введении в поливинилхлорид наполнителя – стабилизатора. Его выпускают в виде гранул для литья в экструзии. При введении в пластмассовую композицию дополнительно до 30 ... 40% пластификатора получают мягкие пластмассы. Из них по ТУ 6-01-629-71 изготавливают бамперы, подлокотники и другие автоизделия. По ТУ 6-05-1404-72 получают профили для отделки автомобилей, плёнки для обивки салонов и т.д. Фторопласт – 1 является полимером винилхлорида. Обладает высокой декоративностью, сочетающейся с атмосферной и химической стойкостью и антиадгезионной стойкостью. Широко применяется при отделке салонов самолётов, вагонов, автобусов. Для изготовления рулевых колёс и других изделий с повышенной морозостойкостью применяют ацетилцеллюлозный эстирол марки АЦЭ – 55АМСП. Его получают из эфиров целлюлозы. Также применяются трудновоспалающиеся марки АЦЭ – 47ТВ. Для тех же целей применяют ацетобутиратцеллюлозные эстроны марок АБЦЭ – 20, АБЦЭ – 15-АТ. Во внутренней отделке салонов автобусов широко применяются алюминиевые профили, а во внешней отделке легковых автомобилей – профили из резины и пластмасс.

### **Технология окраски и отделки**

Технологический процесс окраски состоит из следующих основных операций: подготовки поверхностей под окраску; грунтования; шпатлевания; шлифования; нанесения промежуточных и внешних слоев покрытия, сушки, полирования. Подготовка поверхностей под окраску. При плохой подготовке покрытие будет отслаиваться и иметь плохой вид; кроме того, возрастет трудоемкость отделочных операций. В отдельных случаях пористые материалы предварительно пропитывают специальными составами для заполнения пор, антисептирования, защиты от воспламенения и т. п. Антикоррозионная защита и достаточная сцепляемость покрытия с металлом могут быть обеспечены лишь при тщательной очистке обрабатываемого изделия от посторонних загрязнений. Детали и изделия, поступающие под окраску, часто имеют механические дефекты: заусенцы, вмятины, забоины, царапины, раковины, острые кромки и т. д. Особенно важно полное удаление окалины, ржавчины, формовочной земли, остатков сварочных флюсов и других загрязнений. Перед нанесением защитных или декоративных покрытий детали и изделия подвергают механической, термической, химической или электрохимической обработке. Механическая обработка применяется для удаления окалины, ржавчины, шлаковых включений, старой краски, устранения царапин, неровностей и других дефектов. Термической обработкой удаляют окалину, ржавчину, а также старую краску. Химическую и электрохимическую обработку проводят для удаления окалины и продуктов коррозии, жировых загрязнений. Механическая обработка может выполняться в виде пескоструйной, дробеструйной или дробеметной очистки, крацевания, шлифования и очистки ручным инструментом. Пескоструйная очистка является одним из эффективных методов подготовки поверхности. Сущность процесса состоит в том, что струя просеянного и просушенного кварцевого песка направляется сжатым воздухом

через специальное сопло на поверхность изделий. Песок, ударяясь о поверхность изделия, очищает ее; поверхность становится серой, матовой, с равномерной шероховатостью. Крацевание — процесс обработки изделий с помощью быстро вращающихся проволочных щеток. Шлифованием придают изделиям ровную и гладкую поверхность и удаляют окисные пленки; оно осуществляется на станках или ручным способом с помощью абразивных дисков или кругов, шлифовочными шкурками, порошкообразными абразивными материалами. Термическая обработка поверхности производится с помощью кислородно-ацетиленовой или керосиново-кислородной горелки. Окалина, имея небольшой коэффициент теплового расширения, при термической обработке растрескивается и отслаивается. Ржавчина разрыхляется и легко удаляется проволочной щеткой или наждачной шкуркой. Термический способ очистки отличается экономичностью и высокой производительностью; он применяется для изделий, имеющих толщину не менее 5 мм (для предотвращения коробления и деформации металла). Окрашивание производят сразу же после очистки, пока металл еще теплый, — это сокращает срок сушки лакокрасочных покрытий. Химическая и электрохимическая обработка поверхностей, т. е. обработка металлических изделий в растворах кислот, кислых солей или щелочей в целях удаления окислов с поверхностей деталей, называется травлением. При травлении детали погружают в соответствующие растворы, реагирующие с окислами данного металла. Перед травлением изделия очищают от жировых загрязнений. Электрохимическое травление дает возможность значительно быстрее провести травление и сократить расход кислоты. 172 Непосредственно перед нанесением защитных покрытий детали подвергают декапированию — быстрому удалению легкого налета окислов, образующихся на поверхности очищенных изделий. Удаление с поверхности изделий жировых и масляных загрязнений проводят с помощью веществ, растворяющих жиры и масла или их эмульгирующих (собирающих в эмульсию). Обезжиривание осуществляют органическими и щелочными растворами, электрохимической обработкой. При обезжиривании органическими растворителями обычно применяют бензин, лаковый керосин, скипидар, дихлорэтан и другие жидкости. Хлорсодержащие растворители хорошо растворяют жиры и масла; они не взрывоопасны, не воспламеняются (обезжиривание можно проводить при повышенной температуре). Недостатком органических растворителей, особенно хлорсодержащих, является токсичность их паров. Для обезжиривания железа, стали, чугуна, никеля, меди и других металлов, трудно растворяющихся в щелочах, используют растворы едких щелочей. Для изделий из олова, свинца, цинка, алюминия употребляют растворы щелочных солей, например углекислый натрий, фосфорнокислый натрий, углекислый калий, жидкое стекло, мыло. Обычно пользуются смесью солей, а для ускорения обезжиривания добавляют небольшое количество едкого натра. При электрохимическом обезжиривании употребляют растворы того же состава, что и при химическом обезжиривании. Для ускорения процессов обезжиривания и травления металлических поверхностей широко используют метод ультразвуковых колебаний. Для проведения очистки детали помещают в соответствующие среды, которые подвергают «озвучиванию». Эффективно применение ультразвуковых колебаний для очистки мелких деталей и деталей сложной конфигурации, когда обычные способы очистки связаны со значительной продолжительностью процесса и низким качеством очистки труднодоступных участков. 173 Использование ультразвука обеспечивает высокое качество очистки, значительное ускорение процесса и сокращение производственных площадей. Грунтование. Основной целью грунтования — нанесения первого слоя лакокрасочного покрытия непосредственно на окрашиваемую поверхность — является создание хорошей сцепляемости между металлом и последующими слоями лакокрасочных покрытий. При нанесении на металлы грунтовочный слой должен быть стойким к действию веществ, вызывающих коррозию. Цвет грунтовочного слоя в непрозрачном покрытии не имеет решающего значения. Материал, применяемый для

нанесения грунтовочного слоя, называется грунтом. Образование лакокрасочной пленки происходит в процессе сушки лакокрасочного материала, нанесенного на поверхность.

**Шпатлевание.** Между грунтом и верхними покровными слоями наносят промежуточные слои. Окрашиваемая поверхность различных объектов и изделий обычно имеет вмятины, раковины, царапины и прочие дефекты, которые заполняются и выравниваются с помощью шпатлевания. Крупные дефекты окрашиваемых поверхностей лучше устранять предварительной механической обработкой (обрубкой, шлифованием, пескоструйной обработкой, галтовкой), так как толстый и недостаточно эластичный слой шпатлевки подвержен растрескиванию, вследствие чего нарушается прочность покрытия.

Шпатлевка, или подмазочная масса, представляет собой густую пасту, состоящую из пигментов и наполнителей (железный сурик, охра, мел и др.), затертых на пленкообразующих основах. Различают клеевые, масляные, лаковые, нитроцеллюлозные, первинилхлоридные, эпоксидные и другие шпатлевки.

**Шлифование (прошкуривание).** Применяют для устранения шероховатостей и неровностей высохшей зашпатлеванной поверхности перед последующей окраской; а также и для улучшения сцепления между слоями покрытия. Для шлифования используют абразивные шкурки различной зернистости. Нанесение промежуточных и внешних слоев покрытия. Производят после грунтовки и шпатлевки (если таковая предусмотрена). Первый слой краски наносят более тонким, чем последующие. Он является «выявительным» – выявляющим все дефекты после шлифования по шпатлевке. Выявленные дефекты исправляют быстросохнущими шпатлевками, после чего наносят последующие слои покрытия. Покровные, или лицевые, слои покрытия придают поверхности изделия нужный цвет, оттенок, блеск или матовость, укывистость, а иногда и рисунок. После нанесения последнего лицевого слоя для придания покрытию желаемого вида производят флейцевание – сглаживание свежеокрашенной поверхности мягкими сухими кистями, торцевание – обработку поверхности с помощью щетки (торцовки) для придания ей шагренообразного вида, лакирование – нанесение лака или полирование лицевого покрытия полировочной пастой и водой.

**Способы нанесения лакокрасочных материалов.** При нанесении лакокрасочных материалов применяют следующие основные способы окраски: кистевая окраска, окраска распылением, окраска погружением и обливанием.

Кистевая окраска – нанесение краски кистью. При этом краска должна иметь малярную консистенцию, т. е. должна легко сходить с кисти при не большом нажиме на окрашиваемую поверхность и допускать легкую растушевку. Преимущество этого способа состоит в том, что растушевывание дает хорошее прилипание краски к поверхности. Окраска распылением в несколько раз производительнее кистевой окраски и применима для самых разнообразных лакокрасочных материалов. Распылением можно окрашивать любые изделия (за исключением очень мелких). Совершенным методом является окраска в электростатическом поле. При этом покрытие получается равномерным, сплошным и без потеков. При этом способе по сравнению с кистевой окраской расходуется 175 на 30...50 % меньше материалов. Процесс может быть полностью автоматизирован. Окраска погружением и обливанием производительна и проста по технике выполнения. Для окраски погружением используют преимущественно глифталевые и другие маслосодержащие эмали. Окраску в барабанах применяют для мелких изделий. Этот вид окраски отличается высокой производительностью и малым расходом материала. Накатка краски вальцами применяется для окраски и лакировки плоских изделий, например досок, стен листового материала и др.

Сушка лакокрасочных покрытий. Нанесенные на поверхность лакокрасочные покрытия подвергают холодной или горячей сушке. Холодную сушку проводят на воздухе при температуре не ниже 12 °С и относительной влажности не более 65%. Горячую сушку осуществляют горячим воздухом (конвекционная сушка), инфракрасными лучами (радиационная), токами промышленной или повышенной частоты (индукционная). Температура сушки зависит от употребляемого лакокрасочного и окрашиваемого материала. Чрезмерно высокая

температура может вызвать ухудшение прочностных свойств окрашиваемого материала и дефекты в покрытии (вздутие, растрескивание, изменение цвета, обугливание). Сушку горячим воздухом производят в сушильных шкафах или камерах; в зависимости от вида лакокрасочного материала и температуры ее продолжительность составляет 0,5...6 ч. Сушка инфракрасными лучами длится 10...20 мин. Инфракрасные лучи проникают через лакокрасочное покрытие и практически мгновенно разогревают окрашенный металл; сушка происходит из глубины к поверхности. Это исключает образование пузырей. Излучатели инфракрасных лучей подразделяются на светлые и темные. Светлыми излучателями служат обычные электрические лампы с рефлекторами мощностью 250...500 Вт. Они хрупки и недолговечны, отфильтровывают стеклянной колбой лампы длинноволновую область излучения, расходуют много электроэнергии. Темные излучатели не имеют этих недостатков. Это металлические или керамические листы, которые нагревают горячими газами или электронагревателями. Передвижные установки с инфракрасными излучателями применяют для быстрой сушки надписей и рисунков на окрашенной поверхности. Сушку переменным током промышленной и повышенной частоты используют при окраске изделий из стали и других материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью. Вблизи окрашенной поверхности помещают обмотку электромагнита. Образующееся магнитное поле нагревает металл за счет перемагничивания (в случае большой петли гистерезиса) и токов Фуко. Особенно быстро (в течение 3...5 мин) осуществляется сушка при токе повышенной частоты (650...750 Гц). Этот метод сушки пригоден для деталей несложной формы, потому что при сложной конфигурации деталей трудно обеспечить равномерность нагрева. Полирование. Полирование лакокрасочных покрытий производят для придания им устойчивого блеска и декоративной отделки поверхностей. Этот вид обработки гладких поверхностей лакокрасочных покрытий осуществляется специальными эластичными кругами и доводочными пастами в сочетании с абразивными или алмазными микропорошками зернистостью М7...М1. Материалами для изготовления эластичных кругов служат: фетр, войлок, текстиль. Круги могут быть прессованными или прошитыми для сообщения им необходимой прочности. Иногда используют деревянные круги, обтянутые кожей. На эластичные круги с более жесткой основой микропорошки наносят шаржированием, на мягкие круги наносят абразивную или алмазную пасту. Первый способ используют для удаления дефектных слоев сравнительно большой толщины. Поверхность после обработки получается осветленной, но с плохими отражательными свойствами. Во втором способе, удаляя минимальные припуски, получают полированную поверхность с хорошими декоративными и отражательными свойствами. Эластичные круги используют также для подготовки поверхностей перед нанесением износостойких, декоративных и других покрытий.

#### **Библиографический список**

1. Ануриев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х т.Т. 1 [Текст] / В. И. Ануриев: под. ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Гребенок, В. М. Повышение надежности металлургического оборудования [Текст]: справочник/ В. М. Гребенок, А. В. Гордиенко, В. К. Цапко. – М.: Металлургия, 1988. – 688 с.

3. Заграничный, В. И. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по выбору конструкционных материалов [Текст] /В. И. Заграничный, А. А. Зюзин. – Липецк: ЛипПИ, 1990. – 20 с.

4. Зюзин, А. А. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по выбору инструментальных материалов [Текст] / А. А. Зюзин, В. И. Заграничный. – Липецк: ЛипПИ, 1991. – 32 с.

5. Конструкционные материалы [Текст]: справочник/под. ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.

6. Рассказов, В. М. Машиностроительные материалы [Текст]: краткий справочник/В. М. Рассказов, В. С. Чуенков. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.

7. Соломатов, В. Н. Полимерные композиционные материалы [Текст]/В. Н. Соломатов, А. Н. Бобрышев, К. Г. Химмлер: под. ред. В. Н. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.

8. Технология конструкционных материалов. [Текст]: учебное пособие для ВУЗов /под. ред. М. А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005. – 597с.

Третьяков А. Ф. Т66 Технология конструкционных материалов. Курс лекций : учеб. пособие (с мультимедийным пособием на оптическом диске) / А. Ф. Третьяков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 327, [1] с. : ил. ISBN 978-5-7038-3361-2

Технологические процессы машиностроительного производства. Технология конструкционных материалов. Металлические конструкционные материалы, определение их механических свойств: методические указания к выполнению лабораторной работы № 1 для студентов всех форм обучения всех специальностей. - 2-е изд. испр. и доп. - Брянск: БГТУ, 2009. - 20 с.

Шабурова Н.А.

Ш Материаловедение: часть II: Неметаллические материалы: учебное пособие / Н.А. Шабурова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 82 с.

Зюзин, А. А. Конструкционные и защитно-отделочные материалы [Текст]: учебное пособие / А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 178 с. ISBN–789–5–88247–346–3

[http://ekoproekt-kr.ru/primenenie\\_cvetnyh\\_metallov\\_i\\_splav](http://ekoproekt-kr.ru/primenenie_cvetnyh_metallov_i_splav)

[//ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма\\_состояния\\_сплавов\\_железо-углерод](http://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_состояния_сплавов_железо-углерод)

[http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MARTJUSHEV/For\\_students/metod\\_material](http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MARTJUSHEV/For_students/metod_material)

[http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/TEH\\_MET/TEH\\_KM/METHOD/BABEN\\_KO\\_UP/frame/2.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/TEH_MET/TEH_KM/METHOD/BABEN_KO_UP/frame/2.htm)

<http://engineeringssystem.ru/procesi-proizvodstva-chernih-i-cvetnih-metaliv-i-ih-splavov/klasifikaciya-materialov.php>

<http://www.tochmeh.ru/info/cmetals.php>

[http://www.e-reading.club/chapter.php/130588/42/Buslaeva\\_-\\_Materialovedenie.\\_Shpargalka.html](http://www.e-reading.club/chapter.php/130588/42/Buslaeva_-_Materialovedenie._Shpargalka.html)