

ГРУЗДЕВ В.С.

**ЛЕКЦИИ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ ДЛЯ
СТУДЕНТОВ 2 КУРСА ФАКУЛЬТЕТОВ ЗФ ЗК ГК**

ЛЕКЦИЯ 1

Механические свойства материалов

Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. По совокупности признаков различают прочность материала, твердость, пластичность, упругость, истираемость и т. п.

Прочность — свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от действия внешней нагрузки.

Материалы, находясь в конструкции, могут испытывать различные нагрузки. Наиболее характерными являются сжатие, растяжение, изгиб, срез и удар. Такие материалы, как металл, полимеры и древесина, хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение, поэтому их наиболее часто используют в конструкциях, испытывающих эти нагрузки. Каменные материалы (гранит, бетон) хорошо сопротивляются сжатию и намного хуже (в 5...50 раз) — растяжению, изгибу, удару, поэтому каменные материалы используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие.

Прочность материалов характеризуется *пределом прочности* — наибольшим напряжением, при данном виде испытаний, приводящем к разрушению материала. Величина предела прочности для одного и того же материала, определённая при растяжении, изгибе и т. п., различна, в силу различия свойств материала и схем нагружения при испытаниях, поэтому, для ряда материалов, например пластмасс. Могут указываться сразу несколько значений. Свойства пористых материалов существенно зависят от влажности, поэтому для пористых строительных материалов указываются *расчётные сопротивления*, соответствующие испытаниям влажного (2 — 3%) материала.

Пластичность материалов это способность к необратимому (пластическому) формоизменению без разрушения, характеризуется наиболее часто такими показателями пластичности как относительное удлинение при разрыве, относительное сужение при разрыве. Для пористых строительных материалов определяются показатели пластичности при заданной влажности.

Упругость материалов это способность к обратимой, т. е. исчезающей при снятии нагрузки деформации. *Показателями упругости* являются модуль упругости (модуль Юнга) E , (МПа), сдвиговой модуль упругости G , (МПа), коэффициент Пуассона μ , поперечной деформации.

Такие материалы как древесина, пластмассы, склонны к *ползучести* — постепенному переходу упругой деформации в пластическую при длительном

действию нагрузки. Свойства пластичности, упругости, ползучести относят к *деформативным*.

Для строительных материалов склонных менять свои свойства в течении времени, при специальных испытаниях, определяют *длительные* расчётные сопротивления, длительные деформативные свойства. Эти свойства так же как и кратковременные существенно зависят от влажности материала.

Твердость — способность материала сопротивляться проникновению в его поверхность более твердого тела. Для определения твердости существует несколько методов, соответственно, указывают твердость по Бринелю, Роквеллу и т. п. Численные значения твёрдости, определённые разными методами не совпадают, как не совпадают и единицы измерения. В справочниках содержатся зависимости, позволяющие переводить значения твёрдости из одних единиц в другие, но только на ограниченном диапазоне и ограниченного круга материалов.

Твердость каменных материалов оценивают по шкале Мооса, состоящей из десяти минералов, расположенных по степени возрастания их твердости. Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один чертит, а другой чертится этим материалом. Твердость металлов и пластмасс определяют вдавливанием стального шарика. От твердости материалов зависит их истираемость. Это свойство материала важно при обработке, а также при использовании его для полов, дорожных покрытий.

Истираемость материала характеризуется потерей первоначальной массы, отнесенной к 1м площади истирания. Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней и др.

Износ - разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Прочность при износе оценивается потерей в массе, выраженной в процентах. Износу подвергают материалы для дорожных покрытий и балласта, железных дорог.

Сопротивление удару (Дж/м³) характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема материала. Испытание материалов на удар производят на специальном приборе — копре.

Циклическая прочность или усталостная прочность — способность длительно противостоять без разрушения циклической нагрузке определённой величины. Определяется значением нагрузки и числом циклов до разрушения.

1 испытания на статическое растяжение

Для статических испытаний на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-84, используются специально изготовленные образцы с цилиндрической или прямоугольной формой поперечного сечения рабочей части, которые вытачиваются из прутка или вырезаются из листа. Основной особенностью этих образцов является наличие длинной, сравнительно тонкой рабочей части и усиленных мест (головок) по концам для захвата (рис. 2.2).

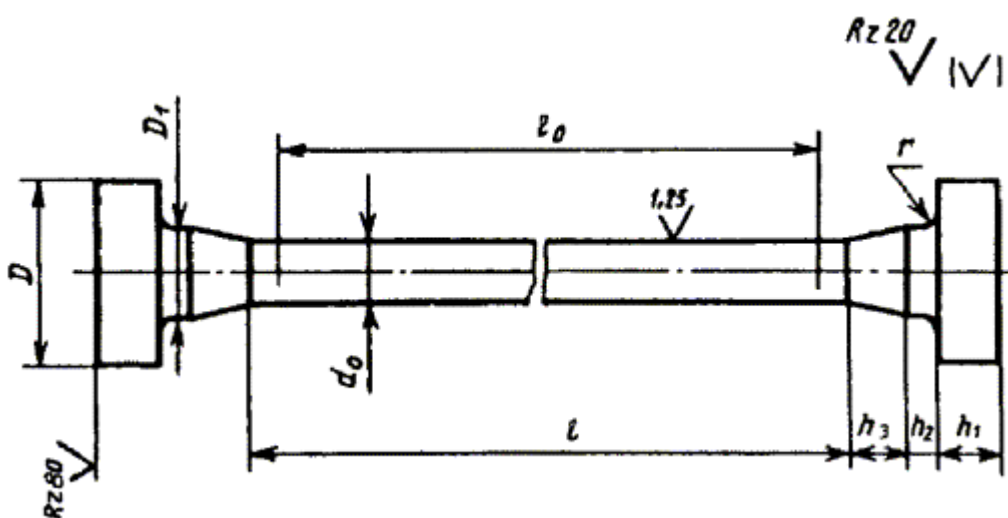


Рис.1. пропорциональный цилиндрический образец, тип 1 (ГОСТ 1497-84).

Применяются цилиндрические образцы, у которых расчетная длина равна десяти диаметрам (длинные образцы) и образцы с расчетной длиной равной пяти диаметрам (короткие образцы). Чтобы результаты испытаний образцов прямоугольного и круглого сечений были сопоставимы, в случае прямоугольного сечения в качестве характеристики, определяющей расчетную длину, принимается диаметр равновеликого круга. Испытания растяжением производят на специальных испытательных машинах, представляющих собой

мощную стальную раму с двумя захватами — подвижным и неподвижным для крепления образца. В зависимости от конструкции захватов, изменяется тип утолщённой части образца. Подвижный захват может перемещаться с заданной скоростью благодаря механическому приводу, а связанный с ним блок управления обеспечивает запись параметров процесса. Конструкции современных машин предусматривают передачу данных на компьютер, при использовании старых моделей требуется проведение дополнительных расчётов.

При растяжении образца получают *диаграмму растяжения* в координатах P — нагрузка (Н; кг), и соответствующим удлинением Δl , мм. Типичная для конструкционных сталей диаграмма растяжения показана на рис.2.3.

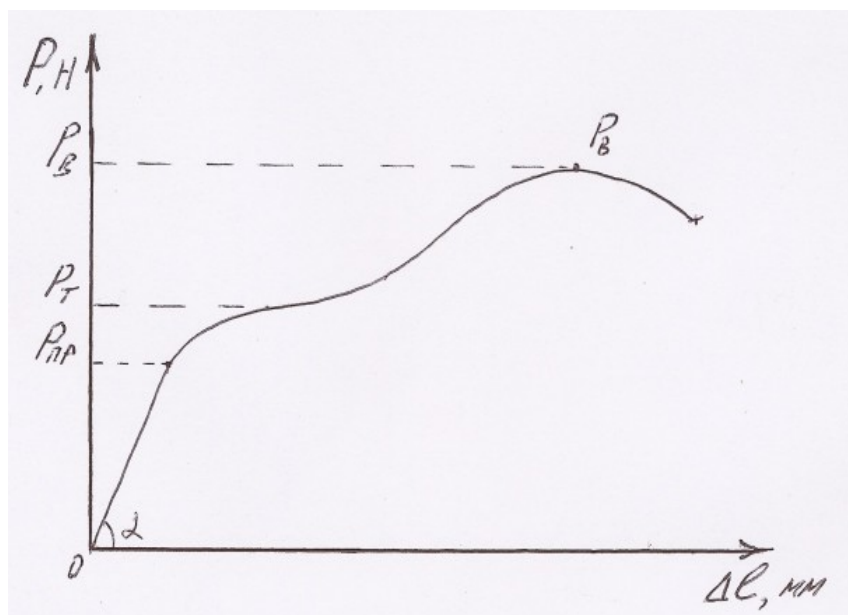


Рис.2.

Типичная диаграмма растяжения конструкционных сталей

Данный вид диаграммы типичен для отожжённой малоуглеродистой стали, при испытании легированных сталей, алюминия, меди, площадки, соответствующей P_t нет, диаграмма имеет куполообразную форму.

Диаграммы растяжения, записанные испытательной машиной в координатах ($P - \Delta l$), зависят не только от материала, но и от размеров образца, поэтому координаты пересчитывают: $\sigma = P/F_0$ - напряжение, $\varepsilon = \Delta l / l_0$ относительное удлинение. Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ (рис.2.4.) имеет тот же вид, что и диаграмма растяжения в координатах ($P - \Delta l$), но будет характеризовать уже не

свойства образца, а свойства материала.

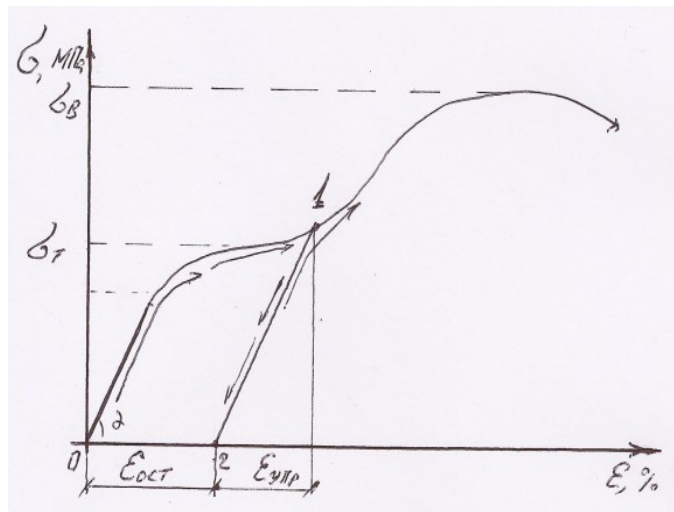


Рис 3. Условная диаграмма растяжения

На основании анализа диаграммы растяжения могут быть получены следующие характеристики механических свойств:

$\sigma_{\text{пц}}$ предел пропорциональности (МПа, кгс/мм²);

E - модуль упругости (МПа, кгс/мм²);

σ_T - предел текучести физический (МПа, кгс/мм²);

$\sigma_{0,2}$ - предела текучести условный (МПа, кгс/мм²);

σ_B временное сопротивление (МПа, кгс/мм²);

δ относительное удлинение после разрыва (%);

ψ относительное сужение поперечного сечения после разрыва (%).

Пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}} / F_0$ называется наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука $\sigma = E \cdot \epsilon$. По закону Гука тангенс угла между прямоугольным участком диаграммы и горизонтальной осью равен $1/E$. Обычно считают, что если тангенс угла между касательной к диаграмме и осью σ оказался на 50% большим, чем $1/E$, то предел пропорциональности достигнут.

Пределом текучести $\sigma_T = P_T / F_0$ называется напряжение, при котором

происходит рост деформаций без заметного увеличения нагрузки. На диаграмме растяжения появляется площадка, параллельная горизонтальной оси. В тех случаях, когда на диаграмме отсутствует площадка текучести, определяют условный предел текучести.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ определяют в тех случаях, когда на диаграмме нет выраженной площадки текучести. За предел текучести принимается условно величина напряжения, при котором остаточная деформация $\epsilon_{ост} = 0,002$ или 0,2 % (в некоторых случаях $\epsilon_{ост} = 0,5\%$).

Предел прочности или *временное сопротивление* это напряжение, соответствующее максимуму на условной диаграмме растяжения ($\sigma_B = P_B / F_0$).

Диаграмму в координатах σ — ϵ называют *условной*, поскольку при пересчёте нагрузка делится на начальную площадь поперечного сечения образца, однако, в реальности, при растяжении площадь поперечного сечения уменьшается. Сначала утоньшение образца происходит равномерно, затем сужение локализуется на некотором участке образца и образуется т. н. *шейка*. Поперечная деформация становится сосредоточенной, этому соответствует перегиб на условной диаграмме растяжения (σ_B). Если определить напряжение в момент разрыва $\sigma_p = P_p / F_{ш}$, где $F_{ш}$ — площадь сечения образца в месте разрыва, оно существенно превысит предел прочности σ_B .

Предел пропорциональности $\sigma_{пр}$, предел текучести σ_T , предел прочности σ_B и "истинное" напряжение в момент разрыва σ_p - представляют собой *прочностные характеристики материала*.

При испытании на растяжение определяют и *характеристики пластичности материала* - относительное остаточное удлинение δ (дельта) и относительное остаточное сужение ψ (пси).

Относительное остаточное удлинение определяется по формуле:

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

где l_0 — начальная длина рабочей части образца;

l_k - конечная длина рабочей части образца.

Относительное остаточное сужение определяется по формуле:

$$\psi = F_0 - F_k / F_0 * 100\% ,$$

где F_0 — начальная площадь сечения образца;

F_k — конечная площадь сечения образца.

E -модуль упругости, характеризует *упругие свойства материала*, данная характеристика необходима при любых расчётах на прочность деталей машин, строительных конструкций, поскольку при нормальной эксплуатации напряжения в конструкциях должны быть упругими. В противном случае, конструкция необратимо деформируется и разрушается.

Условная диаграмма растяжения может быть использована для анализа поведения металла при деформации (см.рис.2.4): если прекратить нагружение в т. 1 не выходя из области упругих деформаций, то при снятии нагрузки деформации снижаются до 0; если остановить нагружение в т. 2 и снять нагрузку, то разгрузка будет происходить по участку прямой 2 — 3, наклонённому к горизонтали под тем же углом что и начальный участок диаграммы, то есть модуль упругости материала не изменится. Отрезок 0 — 3 соответствует т. н. Остаточной $\epsilon_{ост}$ деформации или иначе *пластической деформации*, сохраняющейся после снятия нагрузки. Отрезок 3 — 4 соответствует упругой (обратимой) деформации $\epsilon_{упр}$. Очевидно, что отрезок 2 — 3 длиннее отрезка 0 — 1, то есть пластическая деформация повышает предел пропорциональности, делает материал более упругим, при этом напряжения необходимые для пластической деформации увеличиваются, а степень дополнительной пластической деформации уменьшается. Такое состояние металла называют *наклёп*. Наклёп (нагартовка) используется для улучшения механических характеристик готовых деталей, но в то же время ограничивает применение холодной пластической деформации при производстве металлических изделий.

2 Испытания металлов на твёрдость

В общем случае под твёрдостью понимают способность материала

противостоять внедрению в его поверхность пробного тела. Различные материалы обладают существенно различной твёрдостью и поэтому в практике используется несколько способов измерения твёрдости, имеющих свои границы применимости. При этом необходимо понимать, что в результате измерения твёрдости тем или другим способом, определяют не «твёрдость», а численную оценку данного свойства, значение которой и единицы измерения будут различными для разных способов измерения. Существенным преимуществом измерения твёрдости по сравнению с другими методами механических испытаний является возможность измерения твёрдости деталей, конструкций без их разрушения, без изготовления специальных образцов. Кроме того, для металлов и сплавов имеются экспериментально установленные зависимости, позволяющие зная марку сплава и историю его обработки, по измеренной твёрдости оценить другие механические свойства, непосредственное измерение которых связано с изготовлением и испытанием специальных образцов. Что не всегда возможно. Простейшим способом измерения твёрдости является использование шкалы мооса (табл. 2.3), и сегодня широко применяемой для оценки минералов, однако для техники точность данного метода не достаточна.

Таблица 2

Шкала твердости Мооса

	минерал	Сравнительная характеристика твёрдости
1	Тальк	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиновый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	Чертится стальным ножом под большим нажимом
6	Полевой шпат	Слегка царапает стекло, стальным ножом не чертится
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальным ножом не чертится
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

Для более точного измерения твёрдости применяют инструментальные методы:

Твёрдость по Бринелю определяют по результатам вдавливания в поверхность испытуемого образца стального шарика под фиксированной нагрузкой F (кг), приложенной перпендикулярно к поверхности образца в течении определенного времени и измерении диаметра отпечатка после снятия нагрузки. Для измерений используют специальное устройство - *твердомер*, оснащённый стальными шариками различного (2,5; 5; 10 мм) диаметра.

Величина нагрузки P и время выдержки под нагрузкой зависят от диаметра шарика и определяются стандартом на испытания (ГОСТ 9012-59).

Принципиальная схема процесса испытаний показана на рис.2.6

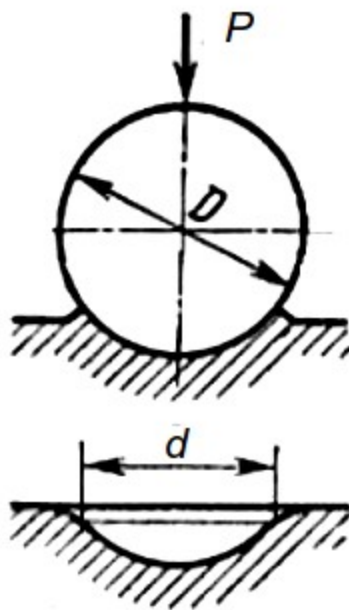


Рис.4 Определение твёрдости по Бринелю

Число твёрдости по Бринелю, ($\text{кг}/\text{мм}^2$) определяют по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где D - диаметр шарика, мм;

d - диаметр отпечатка, мм;

P — нагрузка, кг.

Чем выше твёрдость материала, тем меньше диаметр отпечатка. При определении твёрдости шарики диаметром 2,5 и 5 мм используют при толщине металла 3-6 мм, шарики диаметром 10 мм при толщине более 6 мм. Между диаметром шарика и нагрузкой имеется зависимость. Так, для чёрных металлов $P=30 D^2$, медных сплавов $P=10 D^2$, алюминиевых сплавов $P=2,5 D^2$. Кроме того, в настоящее время данный способ измерения твёрдости используют и для неметаллических материалов, в частности древесины.

Твёрдость по Бринелю при условиях испытания, когда диаметр шарика $D = 10$ мм, $P = 29\,430$ Н (3000 кгс) и продолжительностью выдержки под нагрузкой от 10 до 15 с, обозначается цифрами, характеризующими число твердости и буквами НВ. Например, 130 НВ - число твердости, кгс/мм². При других режимах испытаний после букв НВ указывают условия испытания в следующем порядке : диаметр шарика (мм), нагрузку (кгс) и продолжительность выдержки (с) под нагрузкой: 175 НВ 5/750/20. Верхний предел измерения твёрдости по Бринелю 450 НВ, ограничивается смятием шарика при измерении.

Твёрдость по Роквеллу определяется в соответствии с СТ СЭВ 469-77 или ГОСТ 9013-59 разностью между условной максимальной глубиной внедрения индентора и остаточной глубиной его внедрения e под действием основной нагрузки $F_1(P_1)$ после снятия этой нагрузки, но при сохранении предварительной нагрузки $F_0(P_0)$.

Твёрдость по Роквеллу - безразмерная величина, единица твёрдости соответствует осевому перемещению индентора (наконечника), на 0,002 мм, при вдавливании его в поверхность материала образца в процессе измерения.

В качестве индентора используют конус с алмазным наконечником (шкалы А и С) или со стальным шариком (шкала В). Угол у вершины конуса алмазного наконечника составляет 120°, диаметр стального шарика - 1,588 мм. Параметры измерений показаны в табл.2.4, схема метода измерения показана на рис 2.7.

Параметры измерения твёрдости по Роквеллу.

Шкала	Нагрузка					
	Предварительная		Основная		Общая	
	$F_0(P_0)$		$F_1(P_1)$		$F(P)$	
	Н	кгс	Н	кгс	Н	кгс
С	98	10	1373	140	1471	150
А	98	10	490	50	588	60
В	98	10	883	90	981	100

Устанавливаются следующие пределы измерения твердости по шкалам А, В и С:

шкала А : 70-85 ед. (твердые сплавы, изделия с высокой поверхностной твердостью);

шкала С : 20-67 ед. (окончательно термообработанная сталь);

шкала В : 25-100 ед. (мягкие металлы и сплавы).

Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующие число твердости, и буквами *HR* с указанием шкалы твердости : *55 HRC*.

Преимуществом данного метода является возможность непосредственного считывания измеренного значения твёрдости по шкале прибора, а в современных модификациях передача результатов измерений в компьютер.

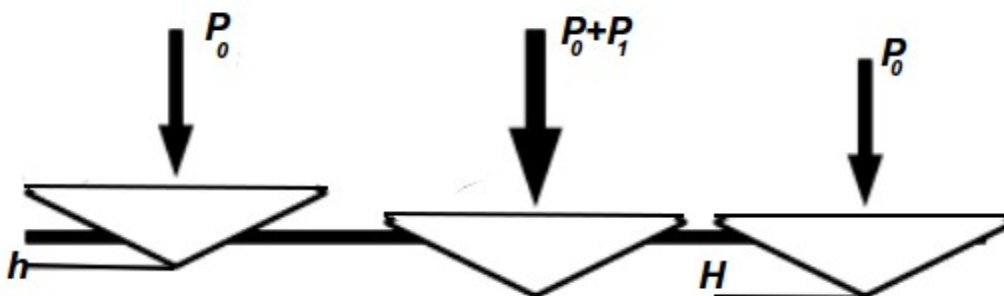


Рис.5 схема испытания твёрдости по Роквеллу

Твёрдость по Виккерсу определяют в соответствии с ГОСТ 2999-75.

Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал правильной четырехгранной алмазной пирамиды с углом 136° между противоположными гранями.

Твердость по Виккерсу вычисляется путем деления нагрузки P на площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка F (Рис.2.8):

$$HV = 2P \sin^3 \alpha / d^2$$

где P - нагрузка, Н;

α - угол при вершине пирамидки;

d - диагональ отпечатка.

Метод Виккерса позволяет определять твердость азотированных и цементированных сталей, а также тонких листовых материалов.

Наблюдается хорошее совпадение значений твердости по Виккерсу и Бринеллю в пределах от 100 до 450 НВ.

Твердость по Виккерсу во всех случаях обозначается буквами HV без указания размерности - МПа ($\text{кгс}/\text{мм}^2$). Основными параметрами при измерении твердости по Виккерсу являются нагрузка $P = 294 \text{ Н}$ (30 кгс) и время выдержки 10-15с.

В других случаях после символа HV указывают индексы разделенные наклонной чертой и обозначающие нагрузку, время выдержки и через тире - число твердости: $HV 30/20-400$, где 30 - нагрузка, кгс, 20 - время выдержки с, 400 - число твердости.

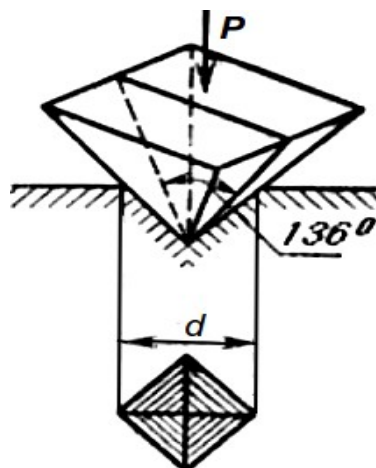


Рис.6 Схема определения твёрдости по Виккерсу

Испытание на микротвёрдость (ГОСТ 9450-76(СТ СЭВ 1195-78))

вдавливанием заключается в нанесении на испытываемую поверхность изделия (образца) отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. После удаления нагрузки и измерения параметров полученного отпечатка число микротвёрдости может быть вычислено или определено по таблицам. Число микротвёрдости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка. Допустимо использовать наконечники в виде четырехгранной пирамиды, трёхгранной пирамиды, пирамиды с ромбическим основанием, Бицилиндрический наконечник.

Микротвёрдость определённую с использованием четырехгранной пирамиды обозначают HV указанием нагрузки в кгс и продолжительности ее приложения. Для микротвёрдости HV продолжительность приложения нагрузки не указывают, если она в пределах 10 - 15 с.; например, при нагрузке 0,098 Н, приложенной в течение 15с: 145HV 0,01.

При определении микротвёрдости металлов четырехгранной пирамидой с квадратным основанием допускается применять нагрузки 0,0098 (0,001); 0,0196 (0,002) и 2,943 (0,3) Н (кгс).

Измерения размеров отпечатка производят на специально подготовленных образцах (шлифах) при увеличении микроскопа 200^{\times} - 400^{\times} , рис.2.9 по микрометрической шкале, либо автоматически в современных приборах, по измеренным значениям находят значение твёрдости таблица 2.5.

Таблица 3

Числа микротвёрдости при испытании вдавливанием четырехгранной

алмазной пирамиды при нагрузке 0,049 Н (5 гс)

Диагональ отпечатка d , мкм	Числа микротвердости									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	579	371	258	189	145	114
10	92,7	76,6	64,4	54,9	47,3	41,2	36,2	32,1	28,6	25,7
20	23,2	21,0	19,2	17,5	16,1	14,8	13,7	12,7	11,8	11,0
30	10,3	9,6	9,0	8,5	8,0	7,6	7,1	6,8	6,4	6,1

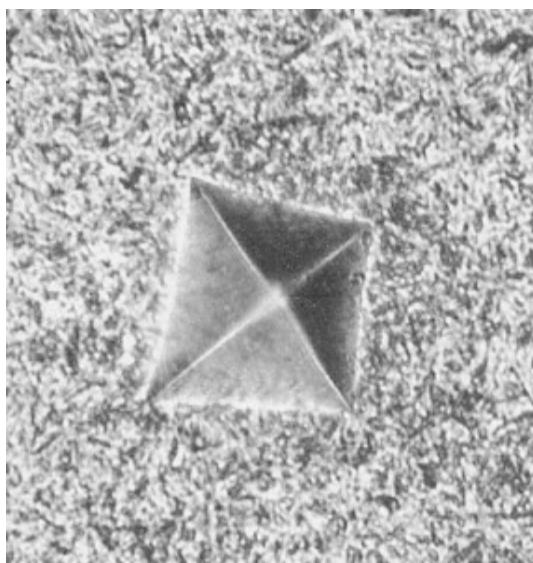


Рис 2.9 отпечаток идентора, полученный при измерении микротвёрдости.

Измерение микротвёрдости является важным инструментом металлографического анализа, позволяет определять вид обработки металла наиболее простым способом, поскольку между химическим составом металлов и твёрдостью структурных составляющих существует связь.

3 Испытания на удар

При работе деталей машин, строительных конструкций кроме статических, возможны динамические нагрузки, при которых многие металлы склонны к хрупкому разрушению. В конструкции многих деталей имеются отверстия, пазы, проточки, являющиеся с точки зрения механики концентраторами напряжений, т.е. элементами усиливающими вероятность разрушения. Для оценки склонности металлов к хрупкому разрушению под воздействием этих факторов, проводят испытания на ударный изгиб на маятниковых копрах (рис 2.10.). Методы определения ударной вязкости при комнатной, пониженной и повышенной температурах регламентированы ГОСТ 9454–78.

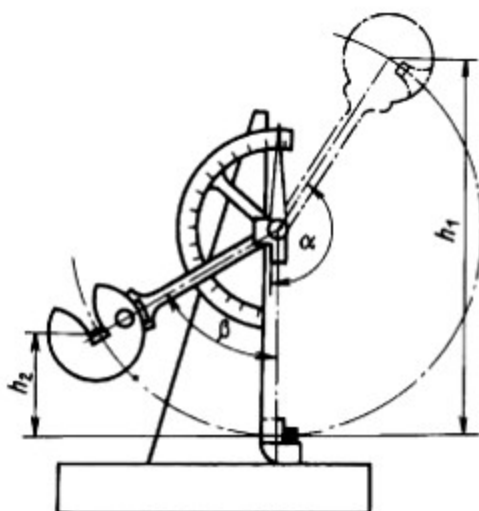


Рис.2.10 Схема маятникового копра

Стандартный образец устанавливают на две опоры и по середине образца наносят удар, разрушающий образец. Конструкция образца показана на Рис.2.11:

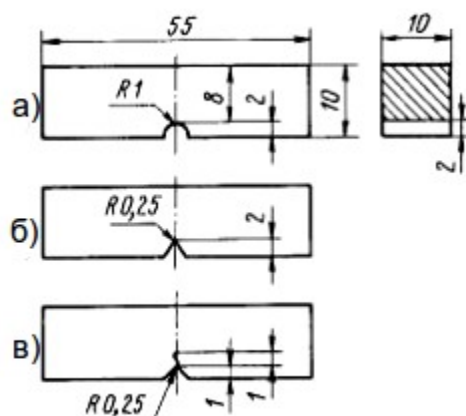


Рис.2.11 Конструкция образцов для испытаний на ударный изгиб, а) - с U-образным надрезом, б) - с V-образным надрезом, в) - с наведённой трещиной.

По шкале маятникового копра определяют работу K , затраченную на разрушение образца и рассчитывают основную характеристику, определяемую при испытаниях - ударную вязкость, (МДж/м²):

$$K_C = K/S_0$$

где S_0 - площадь поперечного сечения образца в месте нанесения удара, м.

В соответствии с ГОСТ 9454-78 предусмотрены испытания образцов с концентратором напряжений трёх видов: U-образным (радиус надреза 1мм), V-образным (радиус надреза 0,25мм) и с усталостной трещиной, созданной в основании V-образного надреза. Соответственно ударную вязкость обозначают K_{CU} , K_{CV} , K_{CT} .

Основным критерием ударной вязкости является K_{CU} . Она состоит из двух составляющих:

$$K_{CU} = K_{Cз} + K_{Cр}$$

где $K_{Cз}$ - работа зарождения трещины, МДж/м²

$$K_{Cр} = K_{CT} - \text{ работа распространения трещины МДж/м}^2.$$

Чем острее надрез, тем меньше $K_{Cз}$. Показатель K_{CT} оценивает стойкость материала к распространению трещины. Металлы при снижении температуры становятся склонны к хрупкому разрушению. Наиболее сильно это свойство проявляется при испытаниях на ударную вязкость. Испытания при пониженной температуре позволяют определить температуру или интервал температур, при которых в металле проявляется склонность к хрупкому разрушению. Эту температуру называют порог хладноломкости. Хладноломкость - свойство металла терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры. Это свойство проявляется у железа, стали, других металлов и сплавов с ОЦК или ГП кристаллической решёткой. Сплавы и металлы с ГЦК решёткой не склонны

к хладноломкости.

На переход в хрупкое состояние указывает резкое снижение ударной вязкости и изменение внешнего вида излома. Внешний вид излома изменяется от матового, волокнистого при вязком разрушении, до блестящего кристаллического при хрупком разрушении. Порог хладноломкости может обозначаться температурой t_{50} , при которой в изломе образца наблюдается 50% волокнистой, вязкой составляющей и KCT снижается на половину.

Для определения ударной вязкости хрупких материалов (чугунов, сталей с твердостью HRC 55 и выше) допускается применение призматических образцов с размерами 10x10x55 мм без надреза. Ударную вязкость, полученную при испытании таких образцов, обозначают символом KC без индекса.

4 Испытания на усталость

Многие конструкции, детали машин в процессе работы постоянно подвергаются знакопеременным нагрузкам, что со временем может привести к разрушению. Разрушение металлов под действием многократно повторяющихся нагрузок, меньших предела прочности на растяжение, называют усталостным. Способность металлов выдерживать большое число циклов нагружения напряжениями меньше предела прочности на растяжение, называют выносливостью. Циклы нагружения могут быть симметричными, когда наибольшее и наименьшее напряжения равны но противоположны по знаку, асимметричными, когда наибольшие и наименьшие напряжения различаются по величине, рис.2.12. Чем выше напряжения при испытании, тем меньшее число циклов способен выдержать образец, рис.2.13.

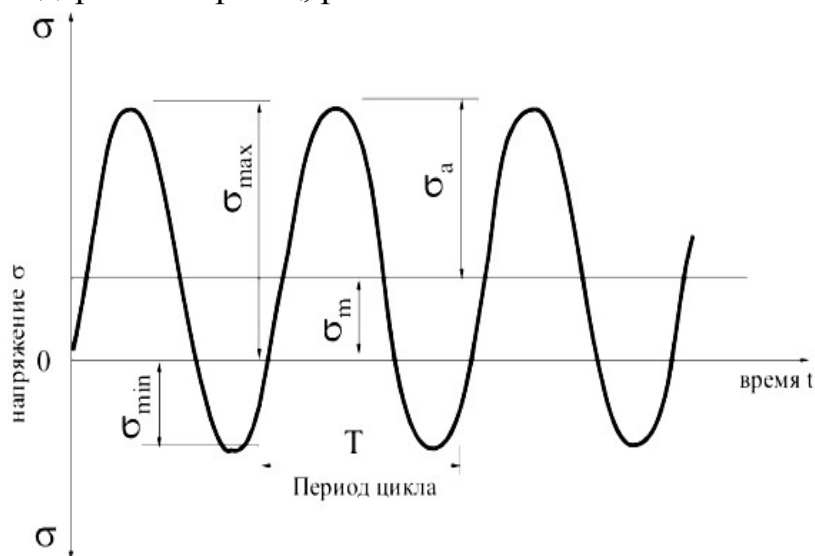


Рис 2.12 Основные параметры цикла при гармоническом циклическом нагружении.

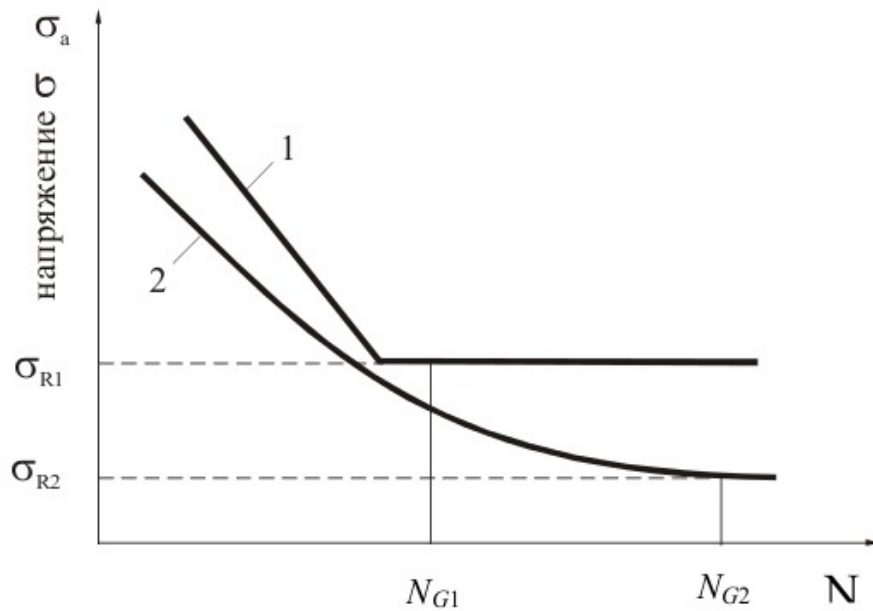


Рис 2.13 Кривая усталости (кривая Вёлера): 1- для материалов с физическим пределом выносливости, 2 - для материалов без физического предела выносливости.

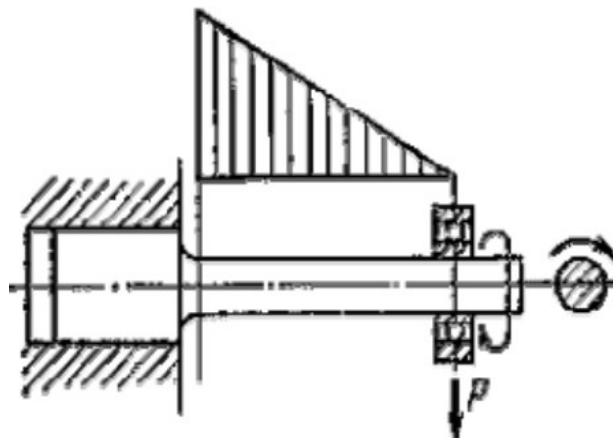


Рис.2.14 Схема испытаний на выносливость.

Испытания обычно проводят на специально изготовленных цилиндрических образцах, совмещая вращение образца и нагружение изгибающей нагрузкой (Рис2.14). Испытание прекращается при разрушении образца. В следствие усталостного разрушения получается характерный вид излома - наружная зона гладкая, возникшая при постепенном развитии усталостной трещины с поверхности в глубь образца, внутренняя поверхность излома шероховатая, со следами хрупкого разрушения на последней стадии испытаний, когда в силу уменьшения сечения напряжения достигают значений, сравнимых с пределом прочности материала, рис 2.15.

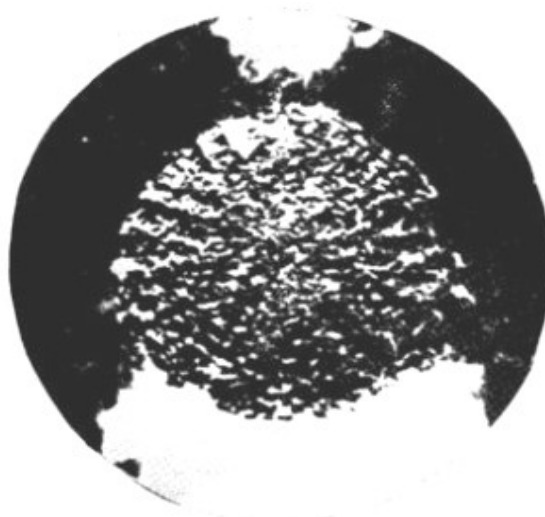


Рис 2.15 Внешний вид излома при усталостном разрушении.

Для металлов определяют предел выносливости σ_R , МПа -значение максимального по абсолютной величине напряжения цикла, соответствующее заданной долговечности, n , циклов. Для металлов имеющих физический предел выносливости (металлы с ОЦК кристаллической решёткой), принята база испытаний $n 10^7$ циклов, а для металлов не имеющих физического предела выносливости $n 10^8$ циклов. Такой тип кривой усталости характерен для

металлов с ГЦК кристаллической решёткой (сплавы меди, алюминия). В настоящее время принято различать многоцикловую усталость - при действии упругих деформаций и малоцикловую усталость - при действии упруго-пластических деформаций. В последнем случае базой для испытаний служит n 5×10^4 циклов.

5 Технологические испытания металлов

В процессе получения из металла различных изделий, исходные заготовки приходится подвергать некоторым специфическим видам деформации. Выявить пригодность партии исходных заготовок к обработке можно при помощи технологических испытаний, моделирующих рабочий процесс. Если в процессе испытаний на поверхности образцов не образуется трещин, разрывов, расслоений, то металл выдержал испытание.

Испытание на выдавливание-применяют для определения пригодности металла для холодной штамповки, вытяжки. При испытании образец помещают в специальный прибор, в котором пуансоном с шаровой поверхностью в образце выдавливают лунку, до появления трещины. При испытании оценивается глубина лунки.

Испытание на изгиб в холодном или горячем состоянии применяют для определения способности листового металла выдерживать без разрушения изгиб определенной величины. Испытания проводят на прессах.

Испытания на изгиб сварных швов проводят для определения вязкости сварного шва, выполненного в стык. Определяемой характеристикой является угол изгиба, при котором появляются первые трещины.

Испытание на осадку в холодном состоянии проводят для определения способности металла выдерживать определенную деформацию сжатия без разрушения. Испытаниям подвергают, например, сталь, предназначенную для холодной высадки (изготовления болтов, и т.п. изделий).

кроме того применяют проба на изгиб трубы, проба на сплющивание трубы, проба на сплющивание проволоки, проба навиванием проволоки ит.п.

ЛЕКЦИЯ 1

Механические свойства материалов

Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. По совокупности признаков различают прочность материала, твердость, пластичность, упругость, истираемость и т. п.

Прочность — свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от действия внешней нагрузки.

Материалы, находясь в конструкции, могут испытывать различные нагрузки. Наиболее характерными являются сжатие, растяжение, изгиб, срез и удар. Такие материалы, как металл, полимеры и древесина, хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение, поэтому их наиболее часто используют в конструкциях, испытывающих эти нагрузки. Каменные материалы (гранит, бетон) хорошо сопротивляются сжатию и намного хуже (в 5...50 раз) — растяжению, изгибу, удару, поэтому каменные материалы используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие.

Прочность материалов характеризуется *пределом прочности* — наибольшим напряжением, при данном виде испытаний, приводящем к разрушению материала. Величина предела прочности для одного и того же материала, определённая при растяжении, изгибе и т. п., различна, в силу различия свойств материала и схем нагружения при испытаниях, поэтому, для ряда материалов, например пластмасс. Могут указываться сразу несколько значений. Свойства пористых материалов существенно зависят от влажности, поэтому для пористых строительных материалов указываются *расчётные сопротивления*, соответствующие испытаниям влажного (2 — 3%) материала.

Пластичность материалов это способность к необратимому (пластическому) формоизменению без разрушения, характеризуется наиболее часто такими показателями пластичности как относительное удлинение при разрыве, относительное сужение при разрыве. Для пористых строительных материалов определяются показатели пластичности при заданной влажности.

Упругость материалов это способность к обратимой, т. е. исчезающей при снятии нагрузки деформации. *Показателями упругости* являются модуль упругости (модуль Юнга) E , (МПа), сдвиговой модуль упругости G , (МПа), коэффициент Пуассона μ , поперечной деформации.

Такие материалы как древесина, пластмассы, склонны к *ползучести* — постепенному переходу упругой деформации в пластическую при длительном

действию нагрузки. Свойства пластичности, упругости, ползучести относят к *деформативным*.

Для строительных материалов склонных менять свои свойства в течении времени, при специальных испытаниях, определяют *длительные* расчётные сопротивления, длительные деформативные свойства. Эти свойства так же как и кратковременные существенно зависят от влажности материала.

Твердость — способность материала сопротивляться проникновению в его поверхность более твердого тела. Для определения твердости существует несколько методов, соответственно, указывают твердость по Бринелю, Роквеллу и т. п. Численные значения твёрдости, определённые разными методами не совпадают, как не совпадают и единицы измерения. В справочниках содержатся зависимости, позволяющие переводить значения твёрдости из одних единиц в другие, но только на ограниченном диапазоне и ограниченного круга материалов.

Твердость каменных материалов оценивают по шкале Мооса, состоящей из десяти минералов, расположенных по степени возрастания их твердости. Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один чертит, а другой чертится этим материалом. Твердость металлов и пластмасс определяют вдавливанием стального шарика. От твердости материалов зависит их истираемость. Это свойство материала важно при обработке, а также при использовании его для полов, дорожных покрытий.

Истираемость материала характеризуется потерей первоначальной массы, отнесенной к 1м площади истирания. Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней и др.

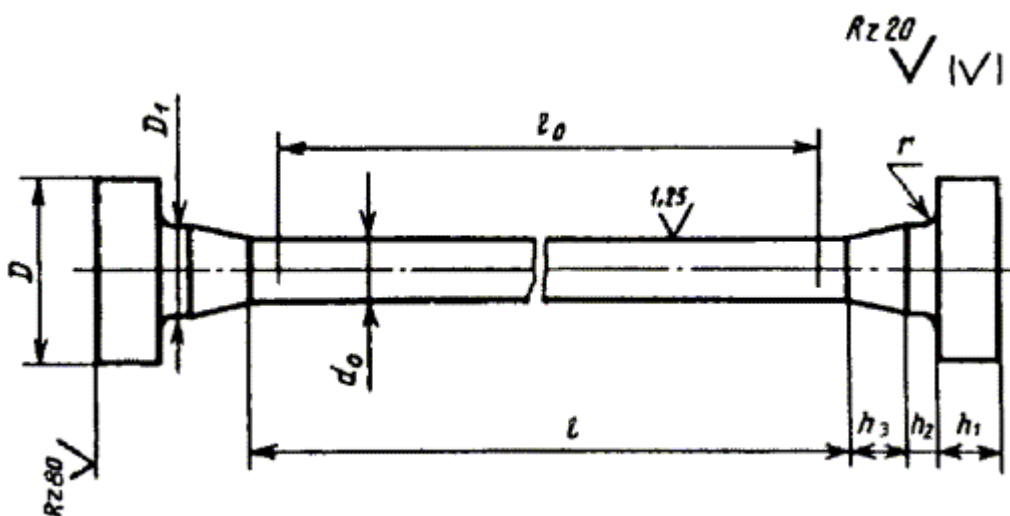
Износ - разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Прочность при износе оценивается потерей в массе, выраженной в процентах. Износу подвергают материалы для дорожных покрытий и балласта, железных дорог.

Сопротивление удару (Дж/м^3) характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема материала. Испытание материалов на удар производят на специальном приборе — копре.

Циклическая прочность или *усталостная прочность* — способность длительно противостоять без разрушения циклической нагрузке определённой величины. Определяется значением нагрузки и числом циклов до разрушения.

1 испытания на статическое растяжение

Для статических испытаний на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497-84, используются специально изготовленные образцы с цилиндрической или прямоугольной формой поперечного сечения рабочей части, которые вытачиваются из прутка или вырезаются из листа. Основной особенностью этих образцов является наличие длинной, сравнительно тонкой рабочей части и усиленных мест (головок) по концам для захвата (рис. 2.2).



Применяются цилиндрические образцы, у которых расчетная длина равна десяти диаметрам (длинные образцы) и образцы с расчетной длиной равной пяти диаметрам (короткие образцы). Чтобы результаты испытаний образцов прямоугольного и круглого сечений были сопоставимы, в случае прямоугольного сечения в качестве характеристики, определяющей расчетную длину, принимается диаметр равновеликого круга. Испытания растяжением производят на специальных испытательных машинах, представляющих собой

мощную стальную раму с двумя захватами — подвижным и неподвижным для крепления образца. В зависимости от конструкции захватов, изменяется тип утолщённой части образца. Подвижный захват может перемещаться с заданной скоростью благодаря механическому приводу, а связанный с ним блок управления обеспечивает запись параметров процесса. Конструкции современных машин предусматривают передачу данных на компьютер, при использовании старых моделей требуется проведение дополнительных расчётов.

При растяжении образца получают *диаграмму растяжения* в координатах P — нагрузка (Н; кг), и соответствующим удлинением Δl , мм. Типичная для конструкционных сталей диаграмма растяжения показана на рис.2.3.

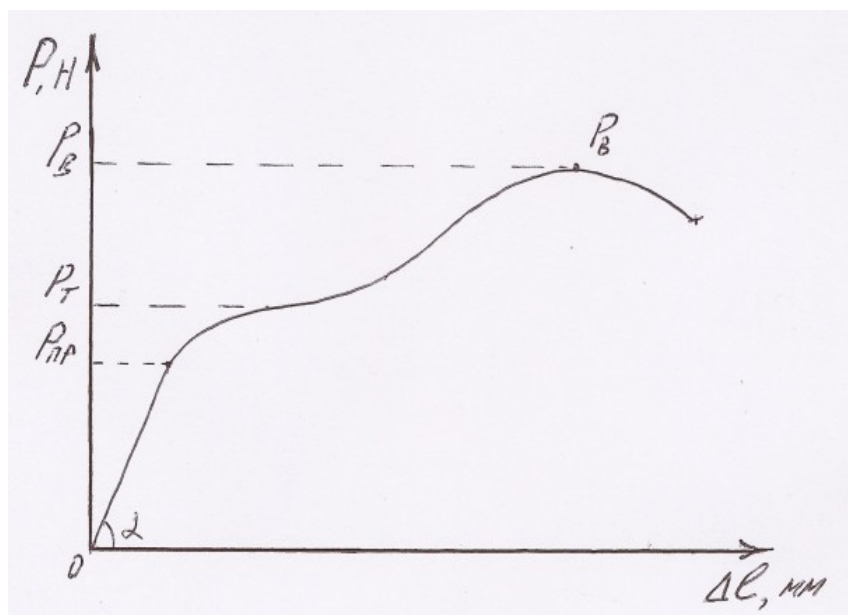


Рис.2.

Типичная диаграмма растяжения конструкционных сталей

Данный вид диаграммы типичен для отожжённой малоуглеродистой стали, при испытании легированных сталей, алюминия, меди, площадки, соответствующей P_t нет, диаграмма имеет куполообразную форму.

Диаграммы растяжения, записанные испытательной машиной в координатах ($P - \Delta l$), зависят не только от материала, но и от размеров образца, поэтому координаты пересчитывают: $\sigma = P/F_0$ - напряжение, $\varepsilon = \Delta l / l_0$ относительное удлинение. Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ (рис.2.4.) имеет тот же вид, что и диаграмма растяжения в координатах ($P - \Delta l$), но будет характеризовать уже не

свойства образца, а свойства материала.

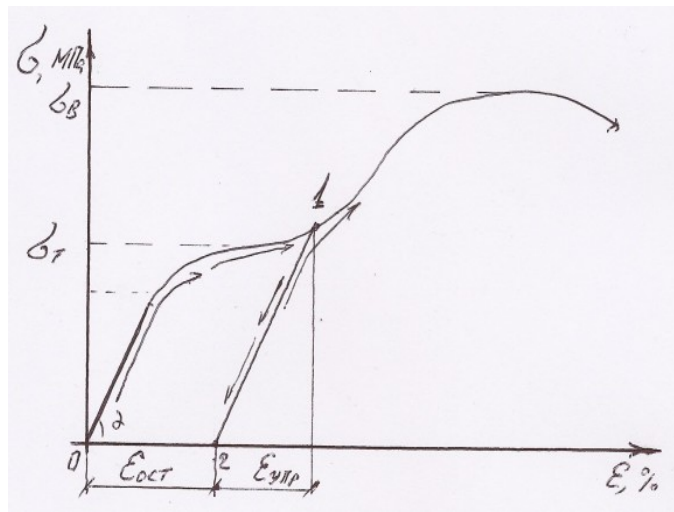


Рис 3. Условная диаграмма растяжения

На основании анализа диаграммы растяжения могут быть получены следующие характеристики механических свойств:

$\sigma_{\text{пц}}$ предел пропорциональности (МПа, кгс/мм²);

E - модуль упругости (МПа, кгс/мм²);

σ_T - предел текучести физический (МПа, кгс/мм²);

$\sigma_{0,2}$ - предела текучести условный (МПа, кгс/мм²);

σ_B временное сопротивление (МПа, кгс/мм²);

δ относительное удлинение после разрыва (%);

ψ относительное сужение поперечного сечения после разрыва (%).

Пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}} / F_0$ называется наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука $\sigma = E \cdot \epsilon$. По закону Гука тангенс угла между прямоугольным участком диаграммы и горизонтальной осью равен $1/E$. Обычно считают, что если тангенс угла между касательной к диаграмме и осью σ оказался на 50% большим, чем $1/E$, то предел пропорциональности достигнут.

Пределом текучести $\sigma_T = P_T / F_0$ называется напряжение, при котором

происходит рост деформаций без заметного увеличения нагрузки. На диаграмме растяжения появляется площадка, параллельная горизонтальной оси. В тех случаях, когда на диаграмме отсутствует площадка текучести, определяют условный предел текучести.

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ определяют в тех случаях, когда на диаграмме нет выраженной площадки текучести. За предел текучести принимается условно величина напряжения, при котором остаточная деформация $\epsilon_{ост} = 0,002$ или 0,2 % (в некоторых случаях $\epsilon_{ост} = 0,5\%$).

Предел прочности или *временное сопротивление* это напряжение, соответствующее максимуму на условной диаграмме растяжения ($\sigma_B = P_B / F_0$).

Диаграмму в координатах σ — ϵ называют *условной*, поскольку при пересчёте нагрузка делится на начальную площадь поперечного сечения образца, однако, в реальности, при растяжении площадь поперечного сечения уменьшается. Сначала утоньшение образца происходит равномерно, затем сужение локализуется на некотором участке образца и образуется т. н. *шейка*. Поперечная деформация становится сосредоточенной, этому соответствует перегиб на условной диаграмме растяжения (σ_B). Если определить напряжение в момент разрыва $\sigma_p = P_p / F_{ш}$, где $F_{ш}$ — площадь сечения образца в месте разрыва, оно существенно превысит предел прочности σ_B .

Предел пропорциональности $\sigma_{пр}$, предел текучести σ_T , предел прочности σ_B и "истинное" напряжение в момент разрыва σ_p - представляют собой *прочностные характеристики материала*.

При испытании на растяжение определяют и *характеристики пластичности материала* - относительное остаточное удлинение δ (дельта) и относительное остаточное сужение ψ (пси).

Относительное остаточное удлинение определяется по формуле:

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

где l_0 — начальная длина рабочей части образца;

l_k - конечная длина рабочей части образца.

Относительное остаточное сужение определяется по формуле:

$$\psi = F_0 - F_k / F_0 * 100\% ,$$

где F_0 — начальная площадь сечения образца;

F_k — конечная площадь сечения образца.

E -модуль упругости, характеризует *упругие свойства материала*, данная характеристика необходима при любых расчётах на прочность деталей машин, строительных конструкций, поскольку при нормальной эксплуатации напряжения в конструкциях должны быть упругими. В противном случае, конструкция необратимо деформируется и разрушается.

Условная диаграмма растяжения может быть использована для анализа поведения металла при деформации (см.рис.2.4): если прекратить нагружение в т. 1 не выходя из области упругих деформаций, то при снятии нагрузки деформации снижаются до 0; если остановить нагружение в т. 2 и снять нагрузку, то разгрузка будет происходить по участку прямой 2 — 3, наклонённому к горизонтали под тем же углом что и начальный участок диаграммы, то есть модуль упругости материала не изменится. Отрезок 0 — 3 соответствует т. н. Остаточной $\epsilon_{ост}$ деформации или иначе *пластической деформации*, сохраняющейся после снятия нагрузки. Отрезок 3 — 4 соответствует упругой (обратимой) деформации $\epsilon_{упр}$. Очевидно, что отрезок 2 — 3 длиннее отрезка 0 — 1, то есть пластическая деформация повышает предел пропорциональности, делает материал более упругим, при этом напряжения необходимые для пластической деформации увеличиваются, а степень дополнительной пластической деформации уменьшается. Такое состояние металла называют *наклёп*. Наклёп (нагартовка) используется для улучшения механических характеристик готовых деталей, но в то же время ограничивает применение холодной пластической деформации при производстве металлических изделий.

2 Испытания металлов на твёрдость

В общем случае под твёрдостью понимают способность материала

противостоять внедрению в его поверхность пробного тела. Различные материалы обладают существенно различной твёрдостью и поэтому в практике используется несколько способов измерения твёрдости, имеющих свои границы применимости. При этом необходимо понимать, что в результате измерения твёрдости тем или другим способом, определяют не «твёрдость», а численную оценку данного свойства, значение которой и единицы измерения будут различными для разных способов измерения. Существенным преимуществом измерения твёрдости по сравнению с другими методами механических испытаний является возможность измерения твёрдости деталей, конструкций без их разрушения, без изготовления специальных образцов. Кроме того, для металлов и сплавов имеются экспериментально установленные зависимости, позволяющие зная марку сплава и историю его обработки, по измеренной твёрдости оценить другие механические свойства, непосредственное измерение которых связано с изготовлением и испытанием специальных образцов. Что не всегда возможно. Простейшим способом измерения твёрдости является использование шкалы мооса (табл. 2.3), и сегодня широко применяемой для оценки минералов, однако для техники точность данного метода не достаточна.

Таблица 2

Шкала твердости Мооса

	минерал	Сравнительная характеристика твёрдости
1	Тальк	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиновый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	Чертится стальным ножом под большим нажимом
6	Полевой шпат	Слегка царапает стекло, стальным ножом не чертится
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальным ножом не чертится
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

Для более точного измерения твёрдости применяют инструментальные методы:

Твёрдость по Бринелю определяют по результатам вдавливания в поверхность испытуемого образца стального шарика под фиксированной нагрузкой F (кг), приложенной перпендикулярно к поверхности образца в течении определенного времени и измерении диаметра отпечатка после снятия нагрузки. Для измерений используют специальное устройство - *твердомер*, оснащённый стальными шариками различного (2,5; 5; 10 мм) диаметра.

Величина нагрузки P и время выдержки под нагрузкой зависят от диаметра шарика и определяются стандартом на испытания (ГОСТ 9012-59).

Принципиальная схема процесса испытаний показана на рис.2.6

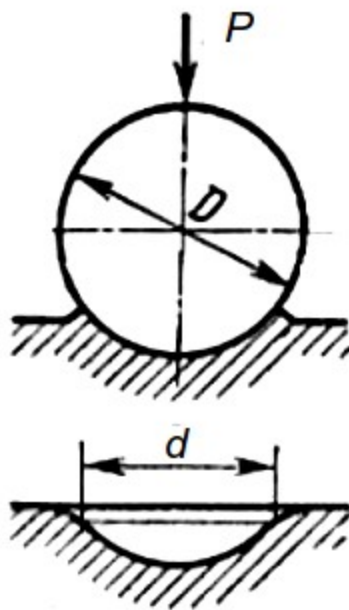


Рис.4 Определение твёрдости по Бринелю

Число твёрдости по Бринелю, ($\text{кг}/\text{мм}^2$) определяют по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где D - диаметр шарика, мм;

d - диаметр отпечатка, мм;

P — нагрузка, кг.

Чем выше твёрдость материала, тем меньше диаметр отпечатка. При определении твёрдости шарики диаметром 2,5 и 5 мм используют при толщине металла 3-6 мм, шарики диаметром 10 мм при толщине более 6 мм. Между диаметром шарика и нагрузкой имеется зависимость. Так, для чёрных металлов $P=30 D^2$, медных сплавов $P=10 D^2$, алюминиевых сплавов $P=2,5 D^2$. Кроме того, в настоящее время данный способ измерения твёрдости используют и для неметаллических материалов, в частности древесины.

Твёрдость по Бринелю при условиях испытания, когда диаметр шарика $D = 10$ мм, $P = 29\,430$ Н (3000 кгс) и продолжительностью выдержки под нагрузкой от 10 до 15 с, обозначается цифрами, характеризующими число твердости и буквами НВ. Например, 130 НВ - число твердости, кгс/мм². При других режимах испытаний после букв НВ указывают условия испытания в следующем порядке : диаметр шарика (мм), нагрузку (кгс) и продолжительность выдержки (с) под нагрузкой: 175 НВ 5/750/20. Верхний предел измерения твёрдости по Бринелю 450 НВ, ограничивается смятием шарика при измерении.

Твёрдость по Роквеллу определяется в соответствии с СТ СЭВ 469-77 или ГОСТ 9013-59 разностью между условной максимальной глубиной внедрения индентора и остаточной глубиной его внедрения e под действием основной нагрузки $F_1(P_1)$ после снятия этой нагрузки, но при сохранении предварительной нагрузки $F_0(P_0)$.

Твёрдость по Роквеллу - безразмерная величина, единица твёрдости соответствует осевому перемещению индентора (наконечника), на 0,002 мм, при вдавливании его в поверхность материала образца в процессе измерения.

В качестве индентора используют конус с алмазным наконечником (шкалы А и С) или со стальным шариком (шкала В). Угол у вершины конуса алмазного наконечника составляет 120°, диаметр стального шарика - 1,588 мм. Параметры измерений показаны в табл.2.4, схема метода измерения показана на рис 2.7.

Параметры измерения твёрдости по Роквеллу.

Шкала	Нагрузка					
	Предварительная		Основная		Общая	
	$F_0(P_0)$		$F_1(P_1)$		$F(P)$	
	Н	кгс	Н	кгс	Н	кгс
С	98	10	1373	140	1471	150
А	98	10	490	50	588	60
В	98	10	883	90	981	100

Устанавливаются следующие пределы измерения твердости по шкалам А, В и С:

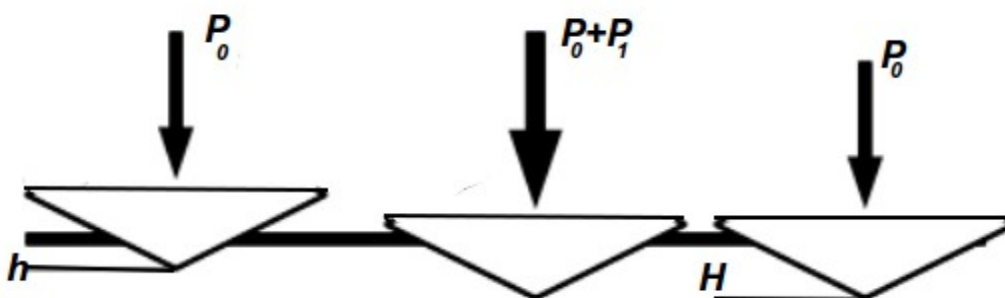
шкала А : 70-85 ед. (твердые сплавы, изделия с высокой поверхностной твердостью);

шкала С : 20-67 ед. (окончательно термообработанная сталь);

шкала В : 25-100 ед. (мягкие металлы и сплавы).

Твердость по Роквеллу обозначается цифрами, характеризующие число твердости, и буквами *HR* с указанием шкалы твердости : *55 HRC*.

Преимуществом данного метода является возможность непосредственного считывания измеренного значения твёрдости по шкале прибора, а в современных модификациях передача результатов измерений в компьютер.



Твёрдость по Виккерсу определяют в соответствии с ГОСТ 2999-75.

Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал правильной четырехгранной алмазной пирамиды с углом 136° между противоположными гранями.

Твердость по Виккерсу вычисляется путем деления нагрузки P на площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка F (Рис.2.8):

$$HV = 2P \sin^2 \alpha / d^2$$

где P - нагрузка, Н;

α - угол при вершине пирамидки;

d - диагональ отпечатка.

Метод Виккерса позволяет определять твердость азотированных и цементированных сталей, а также тонких листовых материалов.

Наблюдается хорошее совпадение значений твердости по Виккерсу и Бринеллю в пределах от 100 до 450 НВ.

Твердость по Виккерсу во всех случаях обозначается буквами HV без указания размерности - МПа ($\text{кгс}/\text{мм}^2$). Основными параметрами при измерении твердости по Виккерсу являются нагрузка $P = 294 \text{ Н}$ (30 кгс) и время выдержки 10-15с.

В других случаях после символа HV указывают индексы разделенные наклонной чертой и обозначающие нагрузку, время выдержки и через тире - число твердости: $HV 30/20-400$, где 30 - нагрузка, кгс, 20 - время выдержки с, 400 - число твердости.

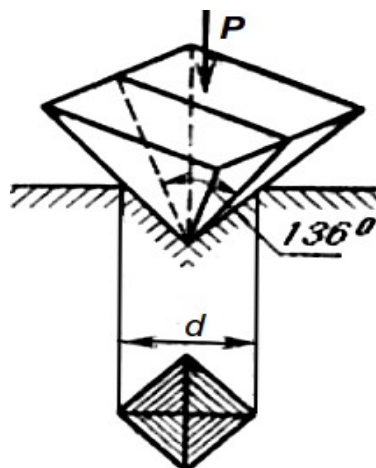


Рис.6 Схема определения твёрдости по Виккерсу

Испытание на микротвёрдость (ГОСТ 9450-76(СТ СЭВ 1195-78))

вдавливанием заключается в нанесении на испытываемую поверхность изделия (образца) отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. После удаления нагрузки и измерения параметров полученного отпечатка число микротвёрдости может быть вычислено или определено по таблицам. Число микротвёрдости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка. Допустимо использовать наконечники в виде четырехгранной пирамиды, трёхгранной пирамиды, пирамиды с ромбическим основанием, Бицилиндрический наконечник.

Микротвёрдость определённую с использованием четырехгранной пирамиды обозначают HV указанием нагрузки в кгс и продолжительности ее приложения. Для микротвёрдости HV продолжительность приложения нагрузки не указывают, если она в пределах 10 - 15 с.; например, при нагрузке 0,098 Н, приложенной в течение 15с: 145HV 0,01.

При определении микротвёрдости металлов четырехгранной пирамидой с квадратным основанием допускается применять нагрузки 0,0098 (0,001); 0,0196 (0,002) и 2,943 (0,3) Н (кгс).

Измерения размеров отпечатка производят на специально подготовленных образцах (шлифах) при увеличении микроскопа 200^{\times} - 400^{\times} , рис.2.9 по микрометрической шкале, либо автоматически в современных приборах, по измеренным значениям находят значение твёрдости таблица 2.5.

Таблица 3

Числа микротвёрдости при испытании вдавливанием четырехгранной

алмазной пирамиды при нагрузке 0,049 Н (5 гс)

Диагональ отпечатка d , мкм	Числа микротвердости									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	579	371	258	189	145	114
10	92,7	76,6	64,4	54,9	47,3	41,2	36,2	32,1	28,6	25,7
20	23,2	21,0	19,2	17,5	16,1	14,8	13,7	12,7	11,8	11,0
30	10,3	9,6	9,0	8,5	8,0	7,6	7,1	6,8	6,4	6,1

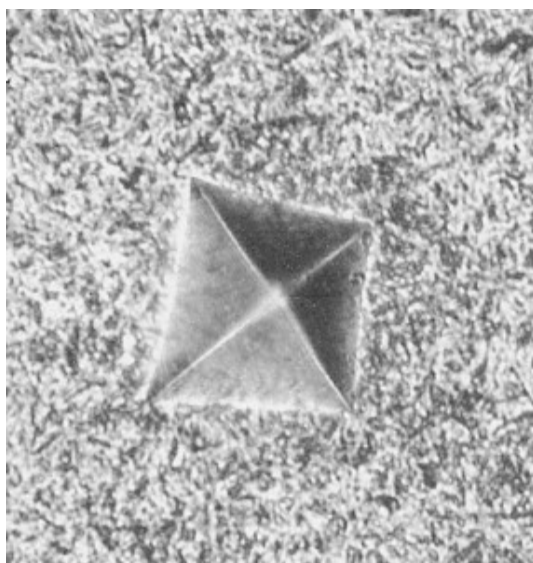


Рис 2.9 отпечаток идентора, полученный при измерении микротвёрдости.

Измерение микротвёрдости является важным инструментом металлографического анализа, позволяет определять вид обработки металла наиболее простым способом, поскольку между химическим составом металлов и твёрдостью структурных составляющих существует связь.

3 Испытания на удар

При работе деталей машин, строительных конструкций кроме статических, возможны динамические нагрузки, при которых многие металлы склонны к хрупкому разрушению. В конструкции многих деталей имеются отверстия, пазы, проточки, являющиеся с точки зрения механики концентраторами напряжений, т.е. элементами усиливающими вероятность разрушения. Для оценки склонности металлов к хрупкому разрушению под воздействием этих факторов, проводят испытания на ударный изгиб на маятниковых копрах (рис 2.10.). Методы определения ударной вязкости при комнатной, пониженной и повышенной температурах регламентированы ГОСТ 9454–78.

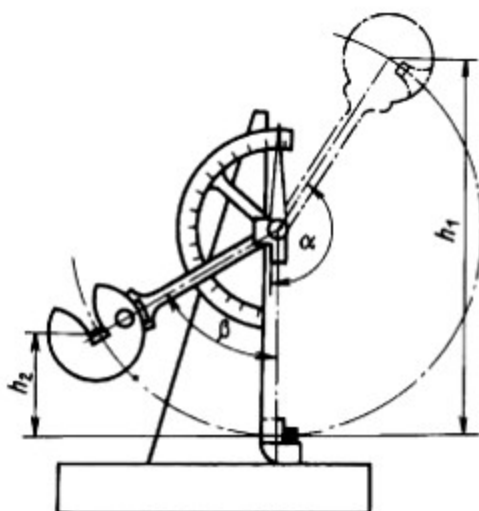


Рис.2.10 Схема маятникового копра

Стандартный образец устанавливают на две опоры и по середине образца наносят удар, разрушающий образец. Конструкция образца показана на Рис.2.11:

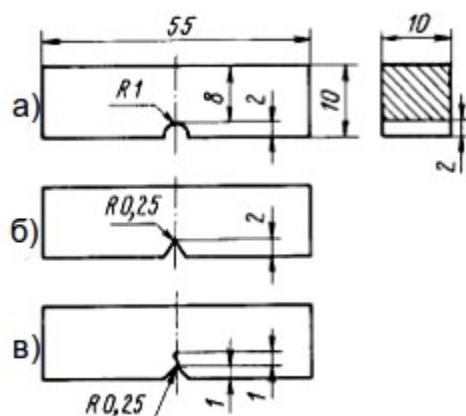


Рис.2.11 Конструкция образцов для испытаний на ударный изгиб, а) - с U-образным надрезом, б) - с V-образным надрезом, в) - с наведённой трещиной.

По шкале маятникового копра определяют работу K , затраченную на разрушение образца и рассчитывают основную характеристику, определяемую при испытаниях - ударную вязкость, (МДж/м²):

$$K_C = K/S_0$$

где S_0 - площадь поперечного сечения образца в месте нанесения удара, м.

В соответствии с ГОСТ 9454-78 предусмотрены испытания образцов с концентратором напряжений трёх видов: U-образным (радиус надреза 1мм), V-образным (радиус надреза 0,25мм) и с усталостной трещиной, созданной в основании V-образного надреза. Соответственно ударную вязкость обозначают K_{CU} , K_{CV} , K_{CT} .

Основным критерием ударной вязкости является K_{CU} . Она состоит из двух составляющих:

$$K_{CU} = K_{Cз} + K_{Cр}$$

где $K_{Cз}$ - работа зарождения трещины, МДж/м²

$$K_{Cр} = K_{CT} - \text{ работа распространения трещины МДж/м}^2.$$

Чем острее надрез, тем меньше $K_{Cз}$. Показатель K_{CT} оценивает стойкость материала к распространению трещины. Металлы при снижении температуры становятся склонны к хрупкому разрушению. Наиболее сильно это свойство проявляется при испытаниях на ударную вязкость. Испытания при пониженной температуре позволяют определить температуру или интервал температур, при которых в металле проявляется склонность к хрупкому разрушению. Эту температуру называют порог хладноломкости. Хладноломкость - свойство металла терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры. Это свойство проявляется у железа, стали, других металлов и сплавов с ОЦК или ГП кристаллической решёткой. Сплавы и металлы с ГЦК решёткой не склонны

к хладноломкости.

На переход в хрупкое состояние указывает резкое снижение ударной вязкости и изменение внешнего вида излома. Внешний вид излома изменяется от матового, волокнистого при вязком разрушении, до блестящего кристаллического при хрупком разрушении. Порог хладноломкости может обозначаться температурой t_{50} , при которой в изломе образца наблюдается 50% волокнистой, вязкой составляющей и KCT снижается на половину.

Для определения ударной вязкости хрупких материалов (чугунов, сталей с твердостью HRC 55 и выше) допускается применение призматических образцов с размерами 10x10x55 мм без надреза. Ударную вязкость, полученную при испытании таких образцов, обозначают символом KC без индекса.

4 Испытания на усталость

Многие конструкции, детали машин в процессе работы постоянно подвергаются знакопеременным нагрузкам, что со временем может привести к разрушению. Разрушение металлов под действием многократно повторяющихся нагрузок, меньших предела прочности на растяжение, называют усталостным. Способность металлов выдерживать большое число циклов нагружения напряжениями меньше предела прочности на растяжение, называют выносливостью. Циклы нагружения могут быть симметричными, когда наибольшее и наименьшее напряжения равны но противоположны по знаку, асимметричными, когда наибольшие и наименьшие напряжения различаются по величине, рис.2.12. Чем выше напряжения при испытании, тем меньшее число циклов способен выдержать образец, рис.2.13.

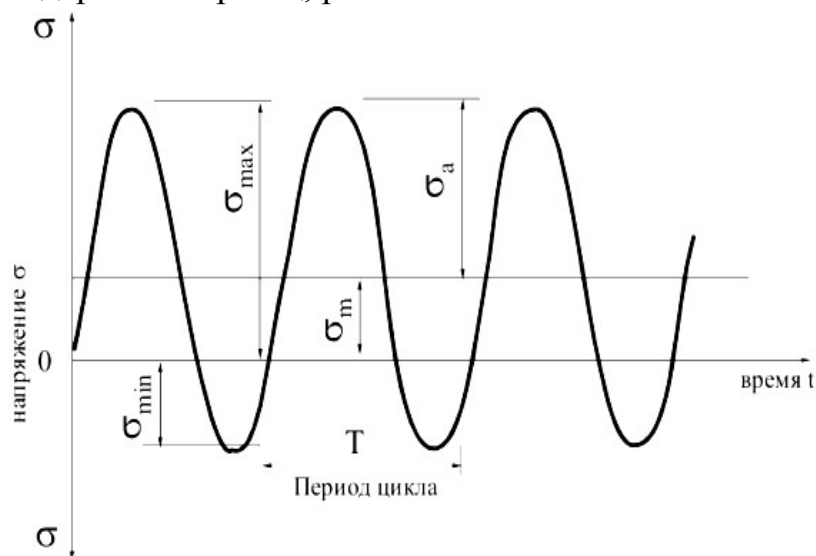


Рис 2.12 Основные параметры цикла при гармоническом циклическом нагружении.

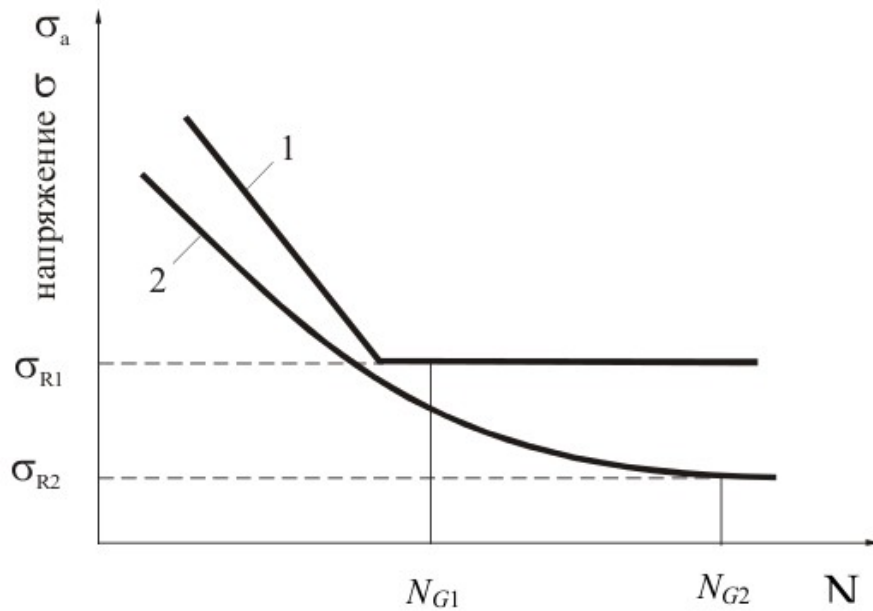


Рис 2.13 Кривая усталости (кривая Вёлера): 1- для материалов с физическим пределом выносливости, 2 - для материалов без физического предела выносливости.

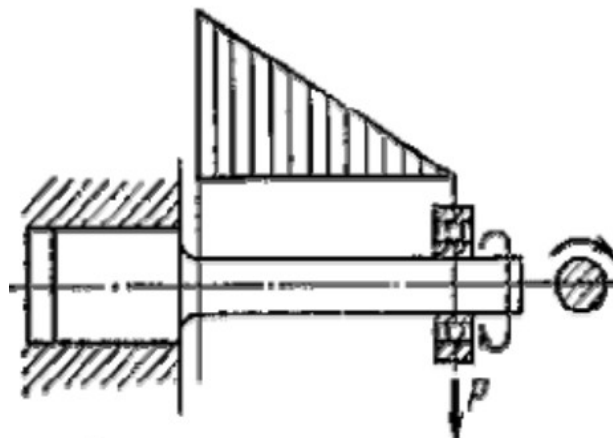


Рис.2.14 Схема испытаний на выносливость.

Испытания обычно проводят на специально изготовленных цилиндрических образцах, совмещая вращение образца и нагружение изгибающей нагрузкой (Рис2.14). Испытание прекращается при разрушении образца. В следствие усталостного разрушения получается характерный вид излома - наружная зона гладкая, возникшая при постепенном развитии усталостной трещины с поверхности в глубь образца, внутренняя поверхность излома шероховатая, со следами хрупкого разрушения на последней стадии испытаний, когда в силу уменьшения сечения напряжения достигают значений, сравнимых с пределом прочности материала, рис 2.15.

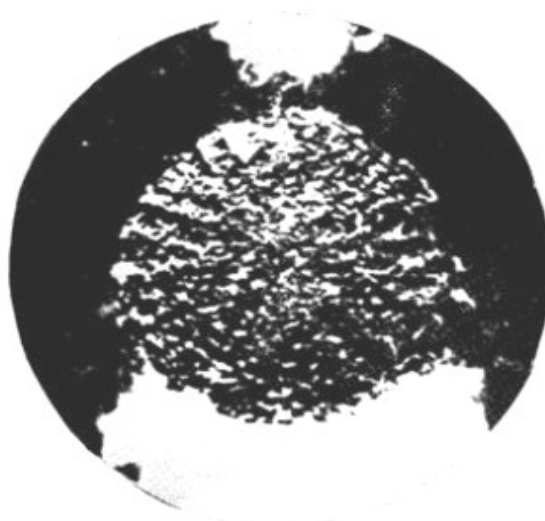


Рис 2.15 Внешний вид излома при усталостном разрушении.

Для металлов определяют предел выносливости σ_R , МПа -значение максимального по абсолютной величине напряжения цикла, соответствующее заданной долговечности, n , циклов. Для металлов имеющих физический предел выносливости (металлы с ОЦК кристаллической решёткой), принята база испытаний $n 10^7$ циклов, а для металлов не имеющих физического предела выносливости $n 10^8$ циклов. Такой тип кривой усталости характерен для

металлов с ГЦК кристаллической решёткой (сплавы меди, алюминия). В настоящее время принято различать многоцикловую усталость - при действии упругих деформаций и малоцикловую усталость - при действии упруго-пластических деформаций. В последнем случае базой для испытаний служит n 5×10^4 циклов.

5 Технологические испытания металлов

В процессе получения из металла различных изделий, исходные заготовки приходится подвергать некоторым специфическим видам деформации. Выявить пригодность партии исходных заготовок к обработке можно при помощи технологических испытаний, моделирующих рабочий процесс. Если в процессе испытаний на поверхности образцов не образуется трещин, разрывов, расслоений, то металл выдержал испытание.

Испытание на выдавливание-применяют для определения пригодности металла для холодной штамповки, вытяжки. При испытании образец помещают в специальный прибор, в котором пуансоном с шаровой поверхностью в образце выдавливают лунку, до появления трещины. При испытании оценивается глубина лунки.

Испытание на изгиб в холодном или горячем состоянии применяют для определения способности листового металла выдерживать без разрушения изгиб определенной величины. Испытания проводят на прессах.

Испытания на изгиб сварных швов проводят для определения вязкости сварного шва, выполненного в стык. Определяемой характеристикой является угол изгиба, при котором появляются первые трещины.

Испытание на осадку в холодном состоянии проводят для определения способности металла выдерживать определенную деформацию сжатия без разрушения. Испытаниям подвергают, например, сталь, предназначенную для холодной высадки (изготовления болтов, и т.п. изделий).

кроме того применяют проба на изгиб трубы, проба на сплющивание трубы, проба на сплющивание проволоки, проба навиванием проволоки ит.п.

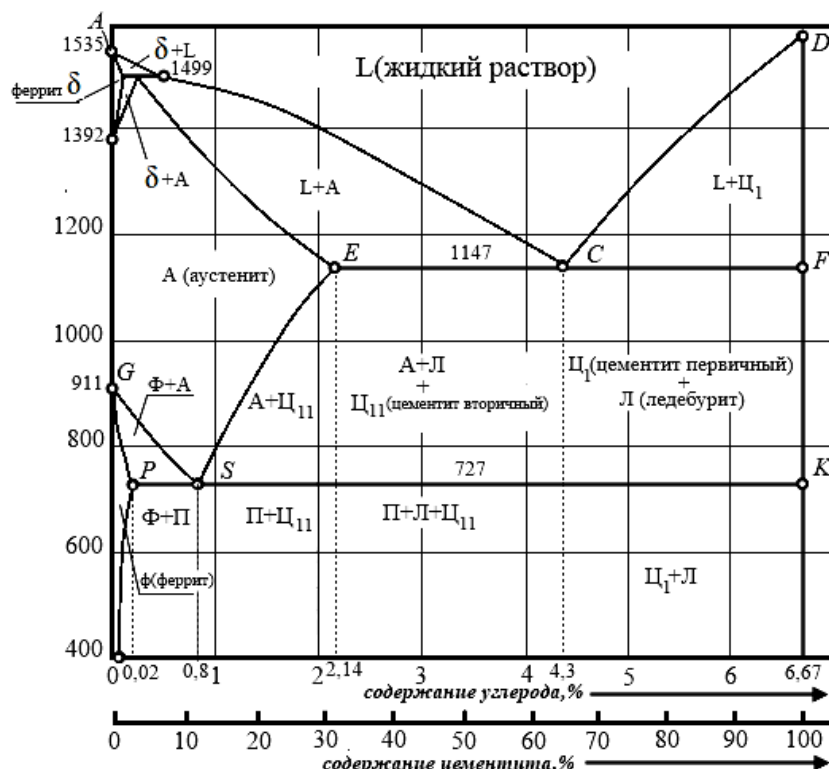
ЛЕКЦИЯ 3

1 Диаграмма состояния системы железо – углерод

Сплав железа и углерода называют *сталь* или *чугун*. Различаются стали и чугуны по содержанию углерода. В сплаве могут содержаться и другие компоненты, но основу составляют именно железо и углерод. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния системы железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов в равновесном состоянии.

Железо образует с углеродом химическое соединение цементит – Fe_3C . Цементит отличается высокой твердостью и хрупкостью, именно высокая хрупкость цементита делает его, а также любые сплавы железа и углерода с более высоким чем в цементите содержанием углерода непригодными для изготовления металлических конструкций. В следствие этого на практике используются сплавы с содержанием углерода до 5% (содержание углерода в цементите 6,67%) и рассматривается диаграмма состояния системы железо-углерод в пределах содержания углерода 0-6,67%.



2 Компоненты железоуглеродистых сплавов.

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

Железо – металл серебристо - серого цвета, температура плавления – 1539 °С. При изменении температуры в твёрдом состоянии железо испытывает полиморфные превращения (изменение кристаллической решётки).

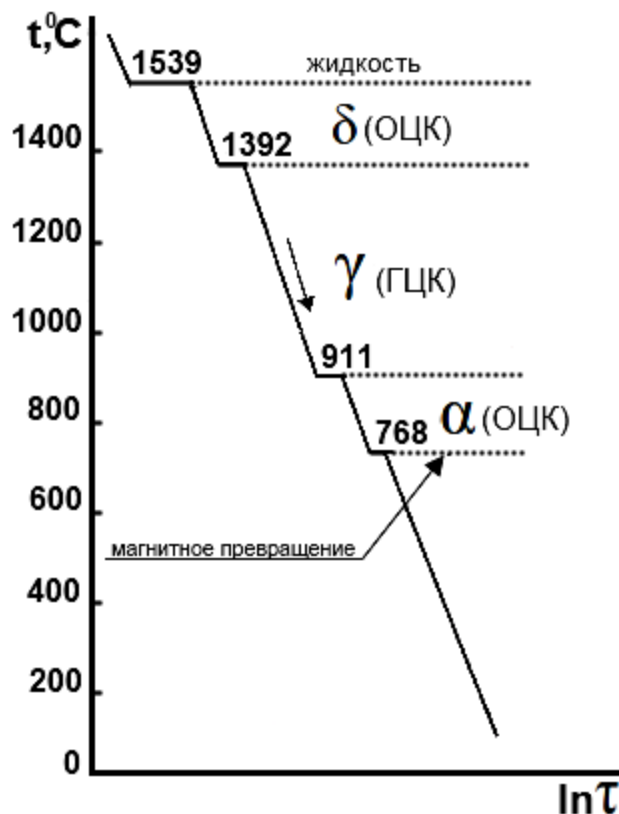


Рис 2. Превращения в железе при охлаждении.

Выше 1392 °С железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку (ОЦК) и называется δFe (дельта железо). В интервале температур 911...1392 °С устойчивым является γFe (гамма железо) с гранцентрированной кубической решеткой (ГЦК). При температуре ниже 911° С устойчиво αFe (альфа железо), имеющее объемно-центрированную кубическую решетку. Критическую температуру 911°С превращения обозначают точкой А3, а

температуру 1392° С превращения - точкой А4.

При температуре ниже 768° С железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. *Точка Кюри* железа 768° С обозначается А2. Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности $\sigma_{в}=250$ МПа, предел текучести $\sigma_{т}=120$ МПа) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение $\delta=50\%$, относительное сужение $\psi=80\%$).

Для железа свойствен высокий модуль упругости Е (211000 ... 217000 МПа).

Цементит (Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит – соединение неустойчивое и при длительной выдержке при повышенных температурах распадается с образованием свободного углерода в виде графита.

3. Фазы в системе железо-углерод

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

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

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α железо, имеет ОЦК решётку. Ферриту свойственна переменная предельная растворимость углерода: минимальная – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальная – 0,02 % при температуре 727° С (точка Р). Углерод в феррите располагается в дефектах кристаллической решетки.

При температуре выше 1392 °С существует высокотемпературный дельта феррит ($Fe\delta$), с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре

1499 °С (точка J).

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 НВ, предел прочности – 300 МПа) и пластичен (относительное удлинение – 30%), ферромагнитен ниже 768° С.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в гамма (γ) железе, имеет ГЦК кристаллическую решетку. Углерод в аустените занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727° С (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147° С (точка E диаграммы).

Аустенит имеет твердость 200...250 НВ, пластичен (относительное удлинение – 40-50%), парамагнитен.

Цементит, (Fe_3C) в железоуглеродистых сплавах представлен: цементитом первичным (ЦI), цементитом вторичным (ЦII), цементитом третичным (ЦIII). Различаются разновидности цементита по способу образования и месту, которое они занимают в микроструктуре сплава. Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. *Цементит первичный* выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов (правая часть диаграммы).

Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита).

Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

4 Процессы структурообразования в железоуглеродистых сплавах.

Линия ABCD – *ликвидус* системы. На участке АВ начинается кристаллизация феррита, на участке ВС начинается кристаллизация аустенита, на участке CD – кристаллизация цементита первичного.

Линия АНЕССF – линия *солидус*. На участке АН заканчивается кристаллизация феррита. На линии ННВ при постоянной температуре 1499°С идет *перитектическое превращение*, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита, в результате чего образуется аустенит.

На участке ЕСF заканчивается кристаллизация аустенита. На участке ЕСF при постоянной температуре 1147° С идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного.

Эвтектика системы железо – цементит называется *ледебуритом* (Л), по имени немецкого ученого Ледебура.

При температуре ниже 727° С происходит *перлитный распад* аустенита и в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный (ЛП).

По линии НН начинается превращение феррита (δ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии НН превращение феррита (δ) в аустенит заканчивается.

По линии GS происходит превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии РG превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии ЕС начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

По линии PSK при постоянной температуре 727° С происходит *эвтектоидное превращение*, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного.

По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется *перлитом* (П), содержит

0,8 % углерода. В процессе превращения при охлаждении в аустенитном зерне зарождаются и растут несколько зёрен перлита (перлитных колоний) (Рис 3.30).

Перлит, в зависимости от условий образования, может существовать в зернистой и пластинчатой форме (т.е. выделения цементита имеют пластинчатую или сфероидальную форму).

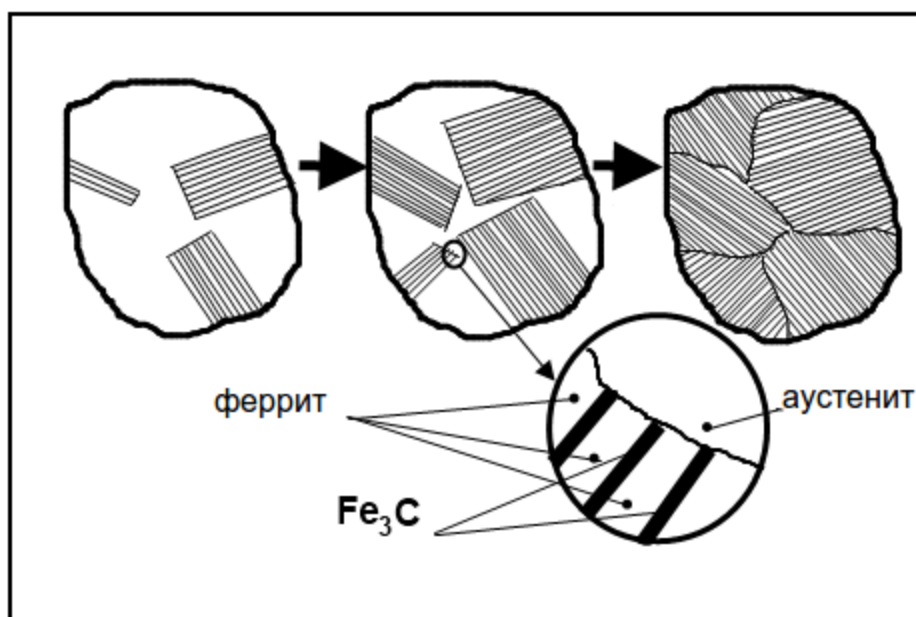


Рис 3.30. Схема перлитного распада аустенита при охлаждении.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, принято называть *критические точки*, они имеют условные обозначения:

Обозначаются буквой А (от французского *arrêt* – остановка):

A1 – линия PSK (727⁰C) – превращение П - А;

A2 – линия MO (768⁰C, т. Кюри) – магнитное превращение;

A3 – линия GOS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение Ф - А;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение A-Ф δ ;

Acm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A3).

Чем сильнее переохлаждение, тем выше скорость превращения и сильнее отличие получаемых микроструктур от равновесных. Чтобы отличить эти процессы от равновесных (медленных) вводятся дополнительные обозначения. При нагреве добавляют букву с, т.е. Ac1 , при охлаждении – букву r, т.е. Ar1.

5 Структуры железоуглеродистых сплавов.

Все сплавы системы железо – цементит по структурному признаку делят на две большие группы: **стали и чугуны**.

Сплавы с содержанием углерода менее 0,02% (точка P), называют *техническое железо*. Микроструктура технического железа после окончания кристаллизации состоит или из зерен феррита при содержании углерода менее 0,006 %, или из зерен феррита и кристаллов цементита третичного Ц_{III}, расположенных по границам зерен феррита, если содержание углерода от 0,006 до 0,02 %.

Стальями называют сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14 % углерода, заканчивающие кристаллизацию образованием аустенита. *То есть стали в нагретом до соответствующей температуры состоянии однофазны, их структура состоит из аустенита. Однофазные металлы обладают высокой пластичностью, что позволяет обрабатывать их давлением с максимальной эффективностью. Поэтому подавляющее число стальных изделий получают горячей обработкой давлением в аустенитном состоянии.*

Структура углеродистых сталей (т.е. содержащих преимущественно железо и углерод), формируется в результате превращения аустенита при охлаждении.

По содержанию углерода и по структуре стали подразделяются на *доэвтектоидные* 0,02-0,8%С, имеющие структуру из смеси зёрен феррита и

перлита (Ф+П); *эвтектоидные* 0,8%С , имеющие перлитную (П) структуру, перлит может иметь пластинчатое или зернистое строение; *заэвтектоидные* 0,8-2,14%С, структура которых включает перлит и цементит вторичный (П + Ц_{II}), выделения цементита вторичного располагаются в виде сетки вокруг зерен (колоний) перлита.

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14 % (до 6,67 %), заканчивающие кристаллизацию образованием эвтектики (ледебурита), называют *белыми чугунами*. Их отличает высокая твёрдость, хрупкость, серебристо-белый цвет излома, поскольку весь углерод содержится в виде цементита. Наличие легкоплавкого (1147 °С) ледебурита в структуре белых чугунов повышает их литейные свойства.

По количеству углерода и по структуре белые чугуны подразделяются на: *доэвтектические* 2,14-4,3%С, структура включает перлит, ледебурит, цементит вторичный;

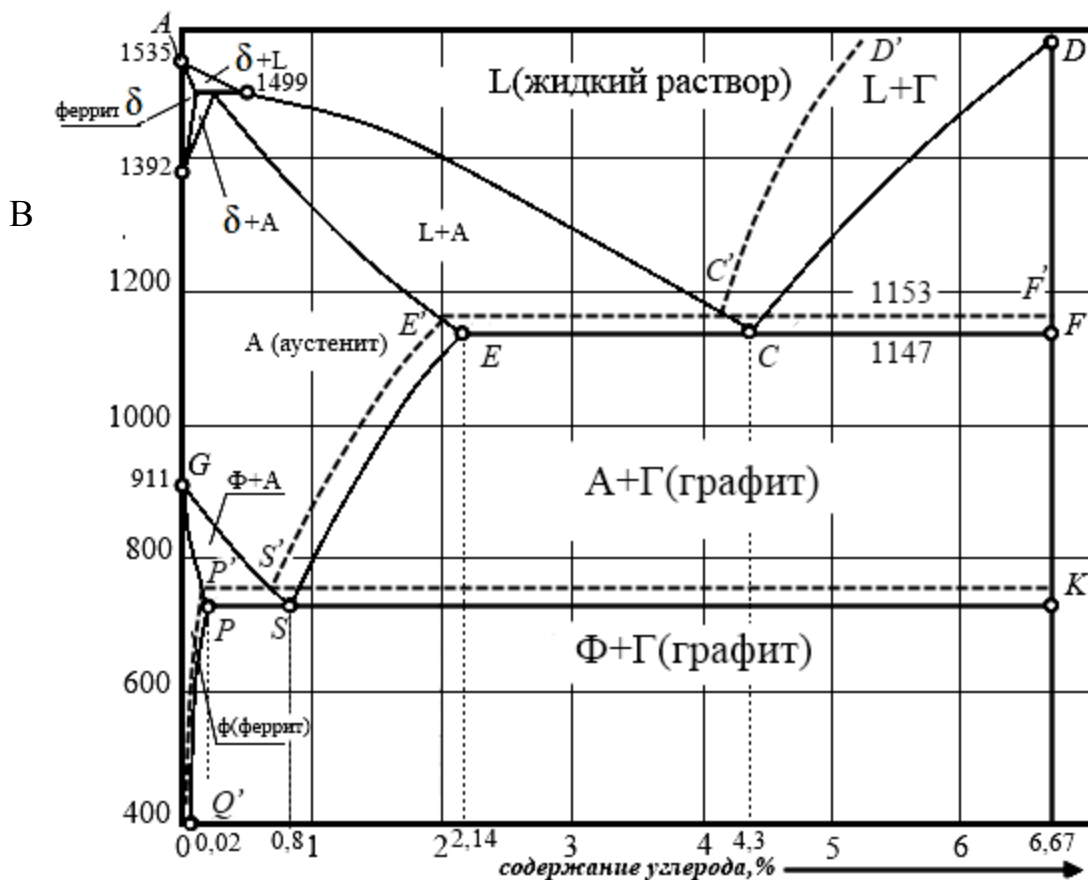
эвтектические 4,3%С , структура ледебурит (Л);

заэвтектические более 4,3%С, структура - ледебурит и цементит первичный.

В структуре доэвтектических белых чугунов присутствует цементит вторичный, который образуется в результате изменения состава аустенита при охлаждении (по линии ES). В структуре цементит вторичный сливается с цементитом, входящим в состав ледебурита.

Углерод в чугуне может находиться в виде графита или одновременно в виде цементита и графита. Образование стабильной фазы - графита в чугуне может происходить в результате непосредственного выделения его из жидкого расплава или вследствие распада предварительно образовавшегося цементита (при замедленном охлаждении расплавленного чугуна цементит может подвергнуться разложению $Fe_3C = Fe + 3C$ с образованием феррита и графита). *Процесс образования в чугуне (стали) графита называют графитизацией*. Фазовая диаграмма состояния системы Fe - C (стабильная) представлена на Рис 3.31 (штриховые линии соответствуют выделению графита, а сплошные -

цементита). Температуры плавления чугунов значительно ниже (на 300...400 °С), чем у стали.



6 Стали

Сплавы железа с углеродом при содержании углерода не более 2,14%, а так же другими элементами называют *сталь*. В зависимости от химического

состава выделяют углеродистые и легированные стали.

Углеродистые стали

Углеродистая сталь содержит в составе в качестве легирующего элемента углерод, определяющий механические свойства стали и примеси других элементов, попадающие в сплав в следствие несовершенства технологии выплавки. Большинство примесей ухудшают свойства сталей, наиболее вредными считаются сера и фосфор, вызывающие хрупкость сталей. По содержанию примесей углеродистые стали принято делить на стали обыкновенного качества и качественные.

Углеродистая сталь обыкновенного качества (ГОСТ 380-94), маркируется буквами Ст, далее следуют цифры от 0 до 6 - условный номер марки стали в зависимости от химического состава и механических свойств. С повышением номера стали возрастают пределы прочности (σ_B), текучести (σ_T) и уменьшается относительное удлинение (δ_5).

Марку Ст0 присваивают стали, отбракованной по каким-либо признакам, в частности при не соответствии химического состава стандартным значениям. Эту сталь допустимо использовать в неответственных конструкциях.

В зависимости от назначения сталь обыкновенного качества подразделяется на три группы:

группа А - поставляемая по механическим свойствам;

группа Б - поставляемая по химическому составу;

группа В - поставляемая по механическим свойствам и химическому составу.

Буквы Б и В указывают в обозначении стали (БСт4), группа А в обозначении не указывается (Ст3). По степени раскисления выделяют кипящие, спокойные, полуспокойные стали. Смысл различия в том, что при разливке готовой стали в жидкий металл добавляют раскислитель (например, ферромарганец) для восстановления частично окислившегося при плавке железа. Процесс раскисления сопровождается кипением стали — выделением

газообразных продуктов реакции. Если сталь разлита в изложницы и застыла до завершения процесса, получают слиток кипящей стали, при полном завершении — спокойной. В слитке кипящей стали присутствует большое количество газовых пузырей от нескольких миллиметров до десятков сантиметров размером.

Если сталь относится к кипящей, ставится индекс "кп", если к полуспокойной - "пс", к спокойной - "сп", например, СтЗсп.

Качественные углеродистые конструкционные стали обозначают словом «Сталь» с добавлением двузначной цифры. По ГОСТ 1050-74 цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, Сталь 10; Сталь 15; Сталь 20 означает, что сталь содержит в среднем 0,10%, 0,15%, 0,2% углерода соответственно.

Сталь по ГОСТ 1050-74 изготовляют двух групп: группа I - с нормальным содержанием марганца (0,25-0,8%), группа II - с повышенным содержанием марганца (0,7-1,2%). При повышенном содержании марганца в обозначение дополнительно вводится буква Г, указывающая, что сталь имеет повышенное содержание марганца (Сталь 65Г). при выплавке стали с пониженным содержанием вредных примесей, её относят к высококачественной и в конце обозначения ставят букву А (Сталь 35А, сталь40ГА). В маркировке так же может указываться степень раскисления: Сталь 08кпА.

Инструментальные углеродистые стали.(ГОСТ 1435-90) Углеродистые стали с содержанием углерода 0,7-1,3% относят к инструментальным, т.е. предназначенным для изготовления инструмента. Обозначают такие стали буквой У и цифрой, обозначающей содержание углерода в десятых долях процента (У7, У13 — 0,7 -1,3% углерода соответственно). Аналогично предыдущей группе сталей, выпускают стали с повышенным содержанием марганца, высококачественные: У10А, У7Г, У8ГА. Из углеродистых инструментальных сталей производят как правило ручной инструмент простой формы (стамески, молотки, напильники). Из сталей У7, У8 изготавливают деревообрабатывающий инструмент, молотки, У10 — простые штампы, У13 —

напильники. Более широкое применение углеродистых инструментальных сталей ограничивает относительно низкая твёрдость в закалённом состоянии и быстрая потеря свойств при нагреве в процессе эксплуатации.

Легированной стали

Легированные стали кроме примесей, попадающих в сплав в следствие технологии выплавки, содержат химические элементы специально вводимые в состав сплава в определенных количествах для обеспечения требуемых свойств. Эти элементы называются *легирующими*.

Легированные стали подразделяются в зависимости от содержания легирующих элементов на *низколегированные* (2,5% легирующих элементов), *среднелегированные* (от 2,5 до 10%) и *высоколегированные* (свыше 10%).

Легирующие добавки повышают прочность, коррозионную стойкость стали, ударную вязкость, жаропрочность и многие другие характеристики. Огромным преимуществом легированных сталей по сравнению с углеродистыми является возможность обеспечить гарантированно высокий уровень свойств стали даже при отклонении в режимах обработки в процессе изготовления готовых деталей, достаточно обычных в отечественной металлургии по причине технологической отсталости большей части металлургического производства.

В качестве легирующих добавок применяют хром, никель, медь, марганец, ванадий и др.

Маркировка легированных сталей состоит из цифр и букв. На первой позиции ставится две цифры - содержание углерода в сотых долях процента, затем следуют буквы, обозначающие легирующие элементы. Если после буквы, обозначающей легирующий элемент не стоит никакой цифры, то содержание элемента в стали составляет около 1%, наличие цифры говорит о содержании легирующего элемента в процентах.

Для обозначения легирующих элементов используют буквы: Г - марганец, С - кремний, Х - хром, Н - никель, Д - медь, А - азот, Ф - ванадий, Р - вольфрам, М — молибден, К - кобальт. Пример маркировки — 08Х18Н10Т,

соответственно данная сталь содержит 0,08% углерода, 18% хрома, 10% никеля, до 1% титана.

Классификация сталей по назначению

Существует несколько тысяч марок легированной и углеродистой стали. В зависимости от использованных легирующих элементов, их количества и соотношения, изменяются свойства стали и её отнесение к определённому классу.

Стали нержавеющей стандартные (ГОСТ 5632-72), маркируют буквами и цифрами по принципу, принятому для конструкционных легированных сталей (например, 08X18H10T или 16X18H12C4T).

Нержавеющая сталь - легированная сталь, устойчивая к коррозии на воздухе, в воде, а также в некоторых агрессивных средах. Наиболее распространены хромоникелевая (18% Cr, 10%Ni) и хромистая (13-27% Cr) нержавеющая сталь, часто с добавлением Mn, Ti и других элементов.

Добавка хрома повышает стойкость стали к окислению и коррозии. Такая сталь сохраняет прочность при высоких температурах. Хром входит также в состав износостойких сталей, из которых делают инструменты, шарикоподшипники, пружины.

Стали нержавеющей, нестандартные в Советском союзе обозначались буквами — индексами завода производителя и порядковыми номерами.

ЭИ, ЭП, ЭК — сталь выплавки завода «Электросталь»,

ЧС — сталь выплавки Челябинского завода «Мечел»,

ДИ — сталь выплавки завода «Днепрспецсталь».

Данный тип маркировки присваивался сплавам преимущественно военного назначения, в настоящее время реальные составы таких марок содержатся в открыто распространяемых каталогах.

Литейные конструкционные стали (ГОСТ 977-88), обозначаются как качественные и легированные, но в конце наименования ставят букву Л.

Стали подшипниковые (ГОСТ 801-78), обозначаются также как и

легированные, но с буквой Ш в наименовании (например, ШХ 15).

Стали инструментальные легированные (ГОСТ 5950-73), обозначаются также как и конструкционные легированные (например, 4Х2В5МФ и т. п.).

Стали быстрорежущие В своем обозначении имеют букву Р (с этого начинается обозначение стали), затем следует цифра, указывающая среднее содержание вольфрама (Р18 — 18% вольфрама), а затем могут следовать буквы и цифры, определяющие массовое содержание других элементов. Не указывают содержание хрома, т. к. оно составляет стабильно около 4% во всех быстрорежущих сталях и углерода, т. к. последнее всегда пропорционально содержанию ванадия. Если содержание ванадия превышает 2,5%, буква Ф и цифра указываются (например, стали Р6М5 и Р6М5Ф3). Все сложнолегированные режущие стали уступают по режущим качествам чисто вольфрамовой стали, но существенно дешевле её.

Стали строительные (ГОСТ 27772-88), обозначают буквой С и цифрами, соответствующими минимальному пределу текучести стали. Дополнительно применяют обозначения: Т — термоупрочненный прокат, К — повышенная коррозионная стойкость, (например, С 345 Т, С 390 К и т. п.).

В строительных конструкциях наиболее часто применяют стали, отвечающие нескольким требованиям: дешевизна, поскольку строительные стали используют в значительных объёмах; свариваемость, поскольку при соединении строительных конструкций часто применяется электросварка; достаточно высокие механические свойства, в том числе ударная вязкость при нормальной и пониженной температуре.

Обеспечить данные требования могут марки углеродистой стали обыкновенного качества, Ст1-Ст5 выпускаемые в соответствии с ГОСТ 380-94, ГОСТ 535-88, низколегированные стали по ГОСТ 19282-73 с применением легирования наиболее дешёвыми, не дефицитными легирующими элементами — кремнием, марганцем. В ряде случаев, для повышения коррозионной стойкости, в качестве легирующего используется медь. В обоснованных случаях используют стали легированные хромом, никелем, другими

элементами.

Из строительных сталей в соответствии с ГОСТ 27772-88 выпускают прокат в виде фасонных профилей (балок), листа. Допускается способом термического улучшения со специального нагрева изготавливать листовой прокат стали С390 с химическим составом стали С345, а также способом термического упрочнения с прокатного нагрева изготавливать фасонный прокат с толщиной полки до 12 мм включительно стали С345 и С375 с химическим составом стали С245 С255. К обозначению стали в этом случае добавляют букву Т, например: С390Т, С390ДТ, С345Т. Буква Д обозначает повышенное содержание меди.

Стандарт распространяется на горячекатаный фасонный (уголки, двутавры, швеллеры), листовой, широкополосный универсальный прокат и гнутые профили из углеродистой и низколегированной стали, предназначенные для строительных стальных конструкций со сварными и другими соединениями.

Чугуны

Чугун — сплав железа с углеродом с содержанием углерода более 2,14%. В чугуне содержатся постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а в некоторых случаях легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al).

Линии фазовой диаграммы состояния Fe — С (стабильной) располагаются несколько выше и левее линий диаграммы Fe — Fe₃C. Температуры плавления чугунов значительно ниже (на 300...400 °С), чем у стали, кроме того, чугуны в твёрдом состоянии в отличие от сталей сохраняют многофазную структуру во всём интервале температур. Поэтому чугуны не пригодны для обработки давлением и перерабатываются в изделия исключительно литьём.

Углерод в чугуне может находиться в виде цементита, графита или одновременно в виде цементита и графита. Образование стабильной фазы - графита в чугуне может происходить в результате непосредственного выделения его из жидкого раствора или вследствие распада предварительно образовавшегося цементита (при замедленном охлаждении расплавленного чугуна цементит может подвергнуться разложению $Fe_3C \rightarrow Fe + 3C$ с

образованием феррита и графита). Процесс образования в чугунах графита называют *графитизацией*.

белый чугун

По метастабильной диаграмме состояния системы железо — цементит, образуется *белый чугун* (БЧ). Весь углерод в БЧ связан в карбидах (цементите) входящем в состав Ледебурита и в виде самостоятельных выделений (рис.7.1).

Характерным свойством белых чугунов является высокая твёрдость (НВ~400), хрупкость, что определило их использование для изготовления деталей с высокой твёрдостью поверхности - прокатных валов, сукновальных валов, и т.п.

Структура *белого чугуна* состоит из перлита и ледебурита. При одинаковом содержании углерода образование такой структуры стимулируется, главным образом, наличием марганца и хрома. Образованию белого чугуна способствует также быстрое охлаждение. При отжиге (длительном выдерживании чугуна при повышенной температуре) происходит графитизация и белый чугун может переходить в другие виды чугунов .

Маркировка белого чугуна включает буквы БЧ и цифры, соответствующие пределу прочности.

Виды чугуна содержащие графит. Механические свойства чугуна обусловлены, главным образом, количеством и структурными особенностями графитной составляющей. Чем меньше графитных включений, чем они мельче и больше степень их изолированности, тем выше прочность чугуна при одной и той же металлической основе. Наиболее высокую прочность обеспечивает шаровидная форма графитной составляющей, а для хлопьевидной составляющей характерны относительно высокие пластические свойства. Чугун с пластинчатым графитом можно рассматривать как сталь, в который графит играет роль надрезов, ослабляющих металлическую основу. Графит повышает антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного смазочного действия и повышения прочности пленки смазочного материала. Чугуны с графитом, как мягкой и хрупкой составляющей, хорошо обрабатываются резанием.

Различают чугуны содержащие графит по форме графитовых включений.

Применяемые для отливок чугуны имеют в среднем состав: С — 2...4%, Si— 1.5...4%, Mn—0,6...1.25%, P—0,1...1,2%, S<0,06%. Чем выше содержание углерода, тем больше образуется графита и тем ниже механические свойства чугуна. Кремний оказывает большое влияние на структуру и свойства чугунов, так как величина температурного интервала, в котором в равновесии с жидким сплавом находятся аустенит и графит, зависит от его содержания. Чем больше содержание кремния, тем шире эвтектический интервал температур. Таким образом, кремний способствует процессу графитизации, действуя в том же направлении, что и замедление скорости охлаждения. Изменяя, с одной стороны, содержание в чугуне углерода и кремния, а с другой — скорость охлаждения, можно получить различную структуру металлической основы чугуна. Сера и марганец являются вредными технологическими примесями, содержание которых в чугунах ограничивают. Сера ухудшает механические и литейные свойства. И сера, и марганец препятствуют графитизации. Фосфор не влияет на графитизацию, а при повышенном (до 0,4...0,5%) содержании повышает износостойкость чугунов, так как образуются твердые включения фосфидной эвтектики.

Самым распространенным видом термообработки чугунов является отжиг отливок при 430...600 °С для уменьшения литейных напряжений, которые могут вызвать даже коробление фасонных изделий. Нормализация чугуна проводится для аустенитизации ферритной и ферритно-перлитной матриц и последующего перлитного превращения, что обеспечивает упрочнение. Закалку чугуна на мартенсит с нагревом до 850...930 °С и охлаждением в воде и масле применяют для повышения прочности и износостойкости.

После закалки проводят низкий отпуск (200 °С) для уменьшения закалочных напряжений или высокий отпуск (600...700 °С для получения микроструктур сорбита или зернистого перлита, обеспечивающих повышенную вязкость.

Серый чугун состоит из феррита, феррита с перлитом или перлита и

графита. Характерными для серого чугуна являются *пластинчатые* выделения графита. При одинаковом содержании углерода образованию графита способствуют большее содержание кремния, никеля и медленное охлаждение. Серый чугун хорошо обрабатывается, достаточно вязок, имеет твердость НВ 160—230 и обладает хорошими антифрикционными свойствами. Он пригоден для изготовления деталей машин. Маркировка серого чугуна определена ГОСТ 1412–85. Согласно стандарта, такой чугун маркируется буквами «СЧ» и двумя цифрами, которые показывают минимально допустимое временное сопротивление чугуна в кгс/мм². Например, обозначение чугуна СЧ 30 означает, что он относится к серым чугунам с пластинчатым графитом и его предел прочности 30 кгс/мм². Всего стандартом предусмотрен ряд марок чугунов – от СЧ 10 до СЧ 35.

Высокопрочный чугун (ВЧ) содержит 3,0 ...4,0 %С; 2,5 ...3,7 %Si, 0,2 ...0,7 %Mn; 0,02 ...0,08%Mg и перед отливкой модифицируется магнием для того, чтобы образовавшийся графит получил *шаровидную*, а не пластинчатую форму, характерную для серого чугуна. Изменение формы графитовых выделений позволяет существенно снизить концентрацию напряжений и за счёт этого обеспечить некоторую пластичность и повышенную ударную вязкость. Лучшие механические свойства позволяют использовать ВЧ при изготовлении ответственных деталей машин. Маркировка ВЧ в соответствии с ГОСТ 7293–85 включает предел прочности при растяжении (в кгс/мм²) и относительное удлинение (в %), например ВЧ 60-2.

Ковкий чугун (КЧ) получают длительным отжигом белого чугуна, в результате которого образуется графит *хлопьевидной* формы (Рис.7.2). Металлическая основа такого чугуна феррит или реже перлит. Режим отжига показан на рис.7.3. Ковкий чугун получил свое название из-за повышенной (по отношению к другим чугунам) пластичности и вязкости (хотя обработке давлением не подвергается).

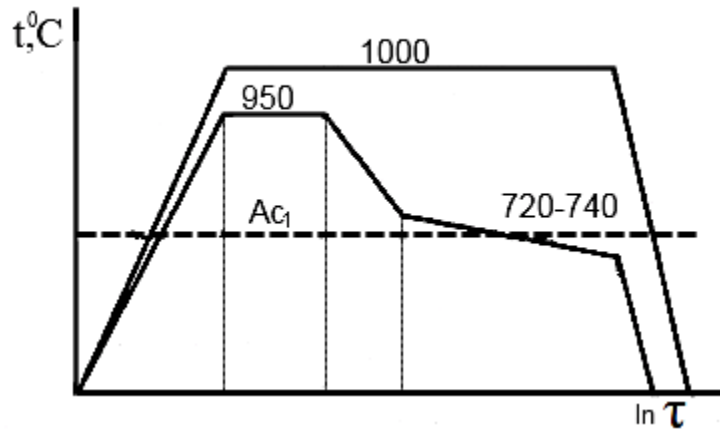


схема отжига белого чугуна на ковкий чугун перлитный и ферритный.

В зависимости от применяемого процесса получают *ковкий чугун* с белой (перлитный) или с черной сердцевиной (ферритный). Исходным материалом в том и другом случае служит чугун с химическим составом: 2,3 – 2,5% С; 0,5 – 1,2% Si; 0,5% Mn.

Нагревают отливки быстро до температуры 900 – 1000° С, при этой температуре их выдерживают в течение 15—24 ч, в зависимости от толщины, после чего медленно охлаждают (со скоростью около 10°С/в час) до температуры 650° С. Дальнейшее охлаждение может протекать быстрее. В зависимости от величины печи весь процесс длится от 3 до 6 дней.

Марки ковкого чугуна определены в ГОСТ 1215–79 Он обозначается буквами «КЧ» и двумя группами цифр, которые определяют минимальное временное сопротивление в кгс/мм² и относительное удлинение при растяжении в процентах. Например, КЧ 37–12 означает предел прочности 370 МПа (37 кгс/мм²) и относительное удлинение 12 %.

ЛЕКЦИЯ 4 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Медь и ее сплавы

Медь – металл светло-красного цвета, плотность 8940 кг/м^3 , температура плавления $1083 \text{ }^\circ\text{C}$. Медь обладает высокой электро и теплопроводностью, устойчива против атмосферной коррозии и коррозии в пресной и морской воде благодаря образованию на ее поверхности тонкой защитной пленки, состоящей из соединения $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$. Медь хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состояниях.

Кристаллическая решетка меди – ГЦК с параметром $a=3,61 \text{ \AA}$. Механические свойства чистой меди в отожженном состоянии: предел прочности $\sigma_{\text{в}}=220\text{...}240 \text{ МПа}$, относительное удлинение $\delta=50\%$, относительное сужение $\psi=75\%$, ударная вязкость $\text{КСУ}=1,6\text{...}1,8 \text{ МДж/м}^2$ и твердость по Бринелю $\text{НВ}=45 \text{ кгс/см}^2$.

Техническую медь в зависимости от чистоты разделяют на десять марок: М00 (99,99% Cu);М4 (99% Cu).

Примеси в меди элементов Bi, Pb, H₂, Sb затрудняют обработку давлением в горячем состоянии, а O₂ и S придают ей хладноломкость. Все примеси, особенно P, As, Sb снижают электропроводность.

Технически чистую медь широко применяют в электротехнической промышленности для изготовления проводов, токопроводящих частей, в машиностроении для изготовления теплообменников. В большом количестве медь используют для изготовления сплавов – латуней и бронз.

1 Латунь

Латунями называют сплавы меди с цинком. Кроме двухкомпонентных (простых) латуней, имеются многокомпонентные, которые содержат один или несколько легирующих металлов (Al, Ni, Fe, Mn и т.д.). Практическое значение имеют медно-цинковые сплавы, с содержанием цинка до 45%,

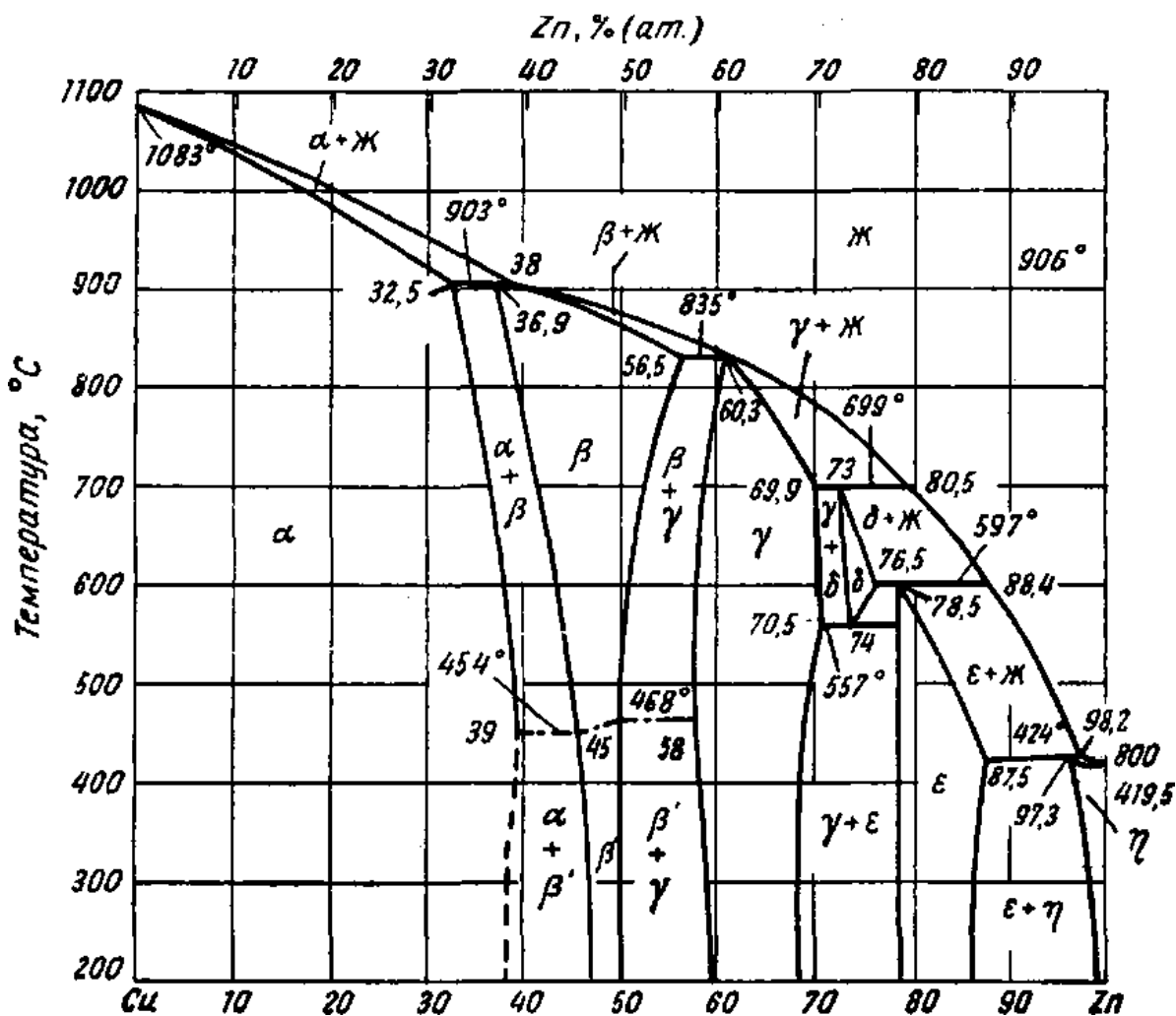


Диаграмма состояния системы медь – цинк

В твердом состоянии медноцинковые сплавы образуют:

твердый α -раствор цинка в меди (твердый раствор замещения) при содержании до 39% Zn. Такой сплав обладает высокой пластичностью и достаточно высокой прочностью;

твердый β -раствор на базе соединения электронного типа CuZn при содержании 45...49% Zn;

смесь $\alpha+\beta$ твердых растворов.

Латуни, имеющие в структуре однофазный твердый α раствор, хорошо поддаются обработке давлением в горячем и холодном состоянии, сварке, пайке и лужению.

Однофазный β раствор при температуре примерно 453 °С имеет упорядоченное

расположение атомов меди и цинка и обозначается β' . Эта фаза, в отличие от β -фазы, является твердой и хрупкой. Обработке давлением она подвергается только в горячем состоянии.

Латуни, имеющие двухфазную структуру $\alpha+\beta$ также обладают низкой пластичностью и обрабатываются давлением только в горячем состоянии.

Все латуни имеют хорошие антикоррозийные свойства в атмосферных условиях скорость коррозии составляет 0,0001...0,00075 мм/год.

Механические свойства латуней зависят от содержания цинка. При содержании цинка до 39% при комнатной температуре образуется α -фаза, однофазная латунь отличается высокой прочностью и пластичностью. При дальнейшем увеличении содержания цинка образуются две фазы $\alpha+\beta'$, что приводит к снижению пластичности с одновременным увеличением прочности. При переходе в однофазную область β' латунь становится весьма хрупкой, вследствие чего резко снижаются прочность и пластичность. Поэтому на практике используют латуни, содержащие не более 42% Zn, т.е. одно и двухфазные латуни.

Марку латуни обозначают буквой «Л», за которой следует цифра, указывающая среднее содержание (в процентах) меди в сплаве, например Л62, Л68, Л95. В зависимости от содержания меди изменяется внешний вид латуней, так при содержании меди 90-95% цвет сплава розоватый, хорошо имитирует красное золото, такая латунь имеет второе название томпак и используется для декоративных изделий, при 60-65% меди цвет сплава золотистый, дальнейшее уменьшение содержания меди приводит к появлению зеленовато серых тонов. Для улучшения механических и технологических свойств латуней в них вводят легирующие элементы. Обозначение легирующих элементов следующее:

А – алюминий;

Ж – железо;

Мц – марганец;

Н – никель;

О – олово;

К – кремний;

С – свинец.

Для обозначения легированных или специальных латуней после буквы «Л» ставят начальную букву легирующего элемента, его процентное содержание указывают числом, после числа, обозначающего содержание меди, например, ЛС59-1 (1% Pb), ЛАН59-3-2 (3% Al и 2% Ni), ЛМцОС58-2-2-2 (Mn, Sn, Pb, по 2%).

По технологическому признаку латуни разделяют на деформируемые и литейные.

К *деформируемым* латуням относят медноцинковые сплавы с содержанием 4-10% Zn (томпаки марок Л96 и Л90); 15-20% Zn (полутомпаки марок Л85 и Л80); 30-50% Zn (латуни марок Л70, Л68, Л63 и Л60), а так же специальные или многокомпонентные латуни, легированные алюминием, кремнием, оловом, никелем, свинцом и т.д. (с содержанием легирующих элементов примерно 2%), например, алюминиевая латунь ЛА77-2, алюминий-железистая латунь ЛАЖ60-1-1 и др.

К *литейным* латуням относят медноцинковые сплавы с содержанием 14-38% Zn, легированные алюминием, марганцем, кремнием, железом и свинцом (с содержанием легирующих элементов более 3%) К литейным латуням относят ЛА67-2,5; ЛКС80-3-3; ЛАЖМц66-6-3-2; ЛМцС58-2-2; ЛМцЖ55-3-1 и др.

2 Бронза

Бронзами называют сплавы меди с оловом (Рис 7.5), алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами, которые являются основными легирующими элементами.

Бронзы делят на две основные группы:

Оловянистые, в которых основным легирующим элементом является олово;

Специальные, в которых основными легирующими элементами являются алюминий, марганец, кремний, бериллий и т.д.

Название специальных бронз дается по основному легирующему элементу:

алюминиевые, марганцовистые, кремнистые и т.п.

Бронзы обозначают буквами «Бр» и первыми буквами основных легирующих элементов, за которыми следуют цифры, показывающие их процентное содержание. Например, БрОФ6,5-0,4 означает, что бронза оловянофосфористая с содержанием 6,5% Sn и 0,4% P, остальное медь; БрА7 – содержит 7% Al, остальное медь и т.д.

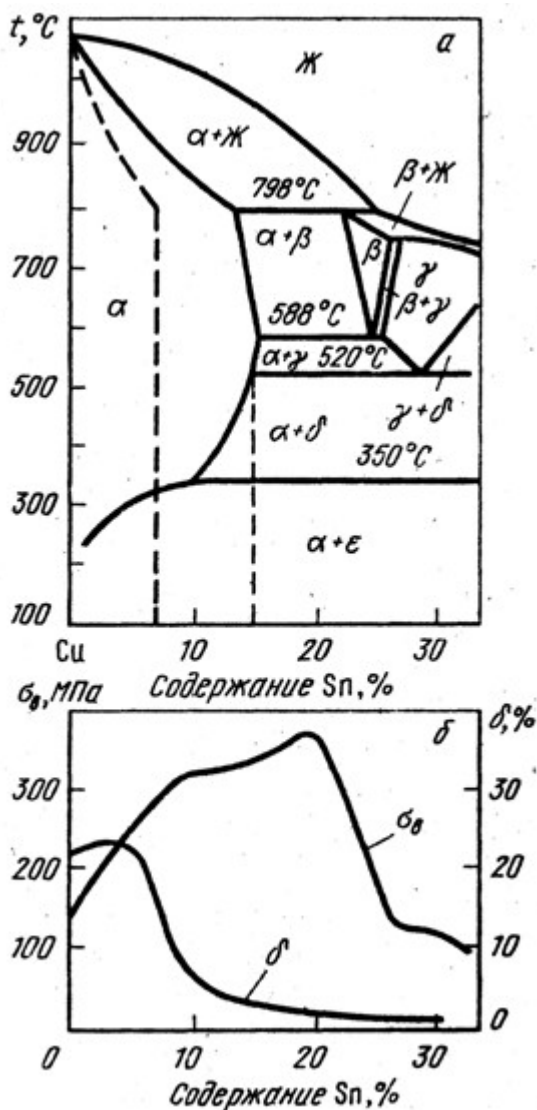


Диаграмма состояния системы медь – олово (а) и механические свойства литой бронзы в зависимости от содержания олова (б)

Весьма широкое применение получили оловянистые бронзы с содержанием 10...12% Sn и реже до 20...22% Sn. Из диаграммы состояния медь – олово рис 2 а) (левая часть полной диаграммы) видно, что медно оловянистые сплавы при $800...700^\circ\text{C}$ образуют:

твердый α -раствор олова в меди (при содержании до 13,5% Sn);

смесь двух фаз $\alpha+\beta$ (при содержании 13,5...22% Sn).

В отличие от латуней в бронзе β -фаза существует только при высоких температурах и на диаграмме имеется горизонтальная линия между $\alpha+\beta$ -фазой, β -фазой и $\alpha+\delta$ -фазой. Это означает что такие материалы можно подвергать закалке и старению.

При медленном охлаждении с 588 °С кристаллы β -фазы претерпевают эквивалентный распад с образованием смеси α -фазы и γ -фазы, а при 520 °С кристаллы твердого раствора γ -фазы распадаются на смесь фаз α и δ . В свою очередь при 350 °С δ -фаза распадается на твердый α -раствор и ϵ -фазу (соединение Cu_3Sn). В результате медленного охлаждения при комнатной температуре микроструктура оловянистой бронзы состоит из смеси фаз $\alpha+\epsilon$. При реальных условиях охлаждения последнее превращение не успевает произойти и бронза состоит из фаз $\alpha+\delta$ (соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$)

Оловянистые бронзы по технологическому признаку разделяют на литейные и деформируемые.

К *литейным оловянистым бронзам* относят бронзы марок БрО10, БрОФ10-1, БрОЦ10-2, Бр ОЦС5-5-5, БрОЦС6-6-3, БрОНС11-4-3 б и др. Эти бронзы, содержащие свыше 5-6% Sn, относят к двухфазным. Наличие в макроструктуре, кроме твердого α раствора, эвтектоида ($\alpha+\delta$) обуславливает их хрупкость.

К *деформируемым оловянистым бронзам* относят бронзы марок БрОФ4-0,25, БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-2,5 и др. Эти бронзы однофазные (твердый α -раствор); они обладают удовлетворительной пластичностью. Используются для получения лент, полос, прутков, проволоки, пружин, трубок, подшипниковых деталей.

Механические свойства бронзы в зависимости от содержания олова представлены на рис 7.5 б). Увеличение прочности с повышением до 18-20% Sn сопровождается снижением пластичности.

Кроме того, различают специальные, или безоловянистые, бронзы, к которым относят алюминивые, марганцовистые, кремнистые и другие, обладающие в

ряде случаев более высокими механическими и антикоррозийными свойствами, чем оловянистые, поэтому они нашли широкое применение в промышленности. В зависимости от назначения и механических свойств специальные бронзы делятся на деформируемые и литейные.

К *деформируемым специальным бронзам* относят однофазные бронзы с содержанием основного легирующего элемента 5-10%. Эти бронзы хорошо обрабатываются в горячем и в ряде случаев в холодном состоянии. Они обладают высокой коррозионной стойкостью и предназначены для производства листов, лент, труб, прутков и профилей, получаемых прессованием и прокаткой. Бронзу БрА5 широко применяют для изготовления монет. Примерами деформируемых специальных бронз являются: алюминиевые бронзы марок БрА7, БрА5, как говорилось выше, алюминевожелезомарганцевая БрАЖМц10-3-1,5, алюминевожелезоникелевая БрАЖН10-4-4, алюминевомарганцевую БрАМц9-2, кремнивомарганцевая БрКМц3 – 1, марганцевистая БрМц5 и др.

Литейные специальные бронзы используют для фасонного литья в авиа- и машиностроении при получении шестерен, втулок, седел клапанов, пружин, подшипников для различных массивных деталей, работающих в агрессивных средах и при больших давлениях, а также для антифрикционных деталей. К таким бронзам относят алюминевожелезную БрАЖ9-4, алюминевожелезомарганцевую БрАЖМц10-3-1,5, бериллиевую БрБ2, кремнистую БрКМц3-1, марганцовистую БрМц5 и др.

алюминий и его сплавы

Алюминий - металл серебристо-белого цвета, лёгкий,

плотность - $2,7 \text{ г/см}^3$,

температура плавления - 660°C ,

временное сопротивление разрыву чистого литого алюминия $\sigma_{\text{в}} = 100 \dots 120$ МПа, деформируемого $\sigma_{\text{в}} = 180 \dots 250$ МПа, сплавов на основе алюминия $\sigma_{\text{в}} = 380 \dots 420$ МПа.

Твёрдость по Бринеллю НВ $24 \dots 32 \text{ кгс/мм}^2$.

Для алюминия свойственна высокая пластичность: $\delta = 50\%$.

Модуль упругости $E = 70 \text{ ГПа}$.

Алюминий обладает высокой электропроводностью ($0,0265 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$) и теплопроводностью ($1,24 \cdot 10^3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), что составляет 65 % от электропроводности меди, обладает высокой светоотражательной способностью. Перечисленные свойства определяют область применения чистого алюминия - в электротехнике для изготовления проводов, как более дешёвая альтернатива меди, в теплотехнике для изготовления радиаторов, теплообменников, большая часть современных зеркал изготавливается из алюминия.

Алюминий образует сплавы почти со всеми металлами. Наиболее известны сплавы с медью и магнием (дюралюминий) и кремнием (силумин).

Содержание алюминия в земной коре по данным различных исследователей составляет от 7,45 до 8,14 % от массы земной коры.

В природе алюминий в связи с высокой химической активностью встречается почти исключительно в виде соединений. Наиболее важные:

Бокситы - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (с примесями SiO_2 , Fe_2O_3 , CaCO_3)

Нефелины - $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$

Глинозёмы (смеси каолинов с песком SiO_2 , известняком CaCO_3 , магнезитом MgCO_3).

1Алюминиевые сплавы

По способу производства изделий сплавы алюминия можно разделить на две основные группы: *деформируемые* (в т. ч. спечённые) для изготовления полуфабрикатов (листов, плит, профилей, труб, поковок, проволоки) путём деформации (прокатки,ковки, прессования) и *литейные* - для фасонных отливок.

Алюминиевые сплавы представляют собой двойные, тройные и более сложные системы с различной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Для упрощения маркировки в обозначении некоторых сплавов, кроме алюминия, с помощью букв отражается еще один элемент (основной компонент), а цифрами - его процентное содержание:

АМц - алюминиево-марганцевый сплав.

АМг — алюминиево-магниевый, например АМг9.

Однако большая часть алюминиевых сплавов маркируется условными обозначениями, состоящими из букв и цифр, означающих номер сплава по сортаменту:

АВ - алюминиево-кремниевый (авиаль).

Д — дуралюмин, например Д16.

В - высокопрочный сплав.

В маркировке сплавов после цифр могут быть еще буквы, которые обозначают состояние поставки проката или листа, то есть вид механической или термической обработки металла.

Деформируемые алюминиевые сплавы делят на неупрочняемые термической обработкой и упрочняемые термической обработкой.

Термически неупрочняемые алюминиевые сплавы относятся к системам Al-Mn, Al-Mg.

Алюминиево - марганцевый сплав маркируется АМц и содержит 1-1,6% марганца. Сплав имеет низкий предел прочности 110...170 МПа, хорошо сваривается. Как правило, используется для ограждающих конструкций.

Алюминиево - магниевый сплав АМг по стойкости против коррозии

занимает первое место после технически чистого алюминия. Хорошо сваривается. Применяется для листовых и для сварных стержневых конструкций.

Наибольшее распространение из алюминиево-магниевых сплавов получил в строительстве сплав АМг-6Т, который содержит около 6% магния и до 0,2% титана (что в марке сплава обозначено буквой Т). Предел прочности АМг-6Т - 320 МПа и относительное удлинение - 15%. Единственным способом несколько повысить прочность сплавов данной группы является наклеп (полунагартовка).

Термически упрочняемые алюминиевые сплавы основаны на двойных и тройных системах с переменной растворимостью компонент. В частности Al-Cu (Рис 7.6) служит основой для получения *дуралюминов*.

Из всех алюминиевых сплавов наибольшее распространение получили дуралюмины благодаря их высокой прочности. Это термически упрочняемые сплавы: Д1-Т, Д6-Т, Д-16-Т. Они характеризуются большим содержанием меди (4-5%). В меньших количествах в них входят магний и марганец. Техническими условиями проектирования конструкций из алюминиевых сплавов рекомендован к применению в строительстве высокопрочный сплав Д16-Т, как наиболее экономичный. Его предел прочности до 490 МПа, относительное удлинение 10%. Расчетные сопротивления Д16-Т превосходят характеристики стали 3 и близки к сталям повышенного качества.

Одним из недостатков дуралюминов является меньшая по сравнению с другими сплавами стойкость против коррозии. Поэтому конструкции, выполненные из дуралюмина защищают окрашиванием, а листы плакируют чистым алюминием.

Алюминиево-кремниевый сплав АВ-Т1 авиаль имеет в составе В состав сплава входят кремний, магний, марганец и медь - всего от 2 до 3%. В отличие от других компонентов кремний не образует соединения с алюминием. Здесь возникает соединение кремния с магнием, которое имеет высокую прочность и малую пластичность. Это соединение рассматривается на диаграмме состояний сплава как основной компонент. Растворимость соединения в алюминии

ограничена, поэтому возможно получение пересыщенного твердого раствора и, следовательно, возможна термическая обработка сплава.

Предел прочности сплава АВ-Т1 — 330 МПа. В этом отношении этот сплав приближается к стали. Рекомендуется применять его для ответственных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных условиях.

Высокопрочные сплавы В65, В95, В96

В состав этих сплавов входят медь, цинк и другие легирующие элементы. По прочности данные сплавы выше низколегированных сталей. Но пока высокопрочные сплавы дороги и в строительстве могут быть использованы лишь для специальных целей. В качестве недостатка этих сплавов отмечается понижение прочности металла при нагревании их до 150°. Сплав В65-Т применяется для изготовления заклепок.

Общими чертами всей группы термически обрабатываемых сплавов являются: высокая прочность, достигаемая в результате термического упрочнения, но в то же время нерациональность использования для них сварки в качестве соединения элементов, так как при сварке происходит отжиг околосшовной зоны и, как правило, образование трещин, а следовательно, понижение прочности сварной конструкции.

Механическая и термическая обработка алюминиевых сплавов

Возможно упрочнение сплавов *деформацией* заготовок в холодном состоянии. Благодаря наклепу металла увеличивается предел пропорциональности, при снижении запаса пластичности.

Возможны две степени механической обработки - полунагартовка и нагартовка. Полунагартованные листы могут применяться для конструкций, при изготовлении которых требуется гибка или сварка. Нагартованные листы подвергать этим видам обработки не рекомендуется, так как есть опасность появления трещин или разрывов.

Термической обработке подвергаются тройные сплавы системы алюминий

- медь - магний. При обычной температуре эти сплавы состоят из α твердого раствора, включений соединения меди с алюминием и тройной фазы алюминий - медь - магний.

Все эти составляющие на микрошлифе дают светлое поле, на котором выделяются темно-фиолетовые зерна соединений железа. В прессованном и отожженном металле не наблюдается какого-либо зернистого строения.

Термическая обработка этих сплавов с целью их упрочнения производится в две стадии:

1) *Закалка* заключается в нагревании металла до $495... 510^\circ$ и в быстром охлаждении. При этом структурные составляющие - соединения алюминия с медью и магнием - переходят в твердый однофазный раствор, который после быстрого охлаждения до нормальной температуры становится пересыщенным. Если сразу же после закалки испытать такой образец на разрыв, то повышения прочности отмечена не будет.

2) Упрочнение наблюдается спустя некоторое время после закалки, когда пройдет процесс старения. Этот процесс может происходить либо самопроизвольно при обычной температуре в течение 4-5 суток (особенно в первые сутки) - это естественное старение, либо ускоренно, за несколько часов, при температуре около 150° - искусственное старение.

Процесс *старения* заключается в том, что из твердого пересыщенного раствора выпадает новая кристаллическая фаза, соединение алюминия с медью $CuAl_2$. Происходит дисперсное упрочнение сплава частицами второй фазы. Мелкодисперсные частицы создают дополнительные барьеры движению дислокаций при пластической деформации.

Благодаря термической обработке предел прочности сплава увеличивается в 1,3...2 раза. Относительное удлинение при этом несколько уменьшается (на 10...20%).

Для обозначения вида обработки металла в состоянии поставки используют буквенные обозначения механической и термической обработки алюминиевых сплавов:

П - полунагартованные.

Н - нагартованные.

М - отожженные.

Т - закаленные и естественно состаренные.

ТІ - закаленные и искусственно состаренные.

Модуль упругости сплавов алюминия почти в три раза меньше, чем модуль упругости стали. Сплавы АМц, АМг, АВ имеют $E=71$ ГПа, модуль упругости дуралюмина в зависимости от марки находится в пределах 73...75ГПа.

Таким образом, деформации элементов, выполненных из алюминиевых сплавов, при равных напряжениях будут почти в три раза больше, чем деформации стальных элементов. Поэтому, применяя алюминиевые сплавы в несущих конструкциях, необходимо предусматривать мероприятия по увеличению жесткости, в случае совместного использования стали и алюминия в современных строительных сооружениях, из стали выполняют несущий каркас, а алюминий используется в системах остекления, навесных вентилируемых фасадах. Для согласования деформаций при эксплуатации применяют специальные скользящие крепления.

Достоинством термоупрочняемых алюминиевых сплавов является то, что при пониженных температурах они не только не ухудшают своих механических показателей, а даже становятся более прочными вследствие усиления процесса старения. Поэтому для строительства в северных широтах предпочтительнее изготавливать конструкции из алюминиевых сплавов, чем из стали.

ЛЕКЦИЯ 5 .Каменные природные материалы

.1 классификация горных пород

Источником каменных природных материалов служат *горные породы*, добываемые в естественном залегании. Горные породы принято классифицировать по происхождению, по минеральному составу, гранулометрическому составу.

По происхождению горные породы делят на магматические, осадочные и метаморфические.

Магматические горные породы образуются в ходе остывания и затвердевания магмы или накопления и слеживания вулканических выбросов. Минеральный состав пород зависит от химического состава магмы. Различают магмы кислые (содержание $\text{SiO}_2 > 65 \%$), средние (содержание $\text{SiO}_2 50 \dots 65 \%$) и основные (содержание $\text{SiO}_2 < 50 \%$). В горных породах, образовавшихся из кислой магмы - гранитах, базальтах, обязательно присутствует кварц. В большинстве практически значимых магматических горных породах присутствует полевой шпат различного состава.

К магматическим горным породам относятся:

Гранит - кислая магматическая горная порода очень широко распространенная в континентальной земной коре. Состоит из кварца (20...40 %), полевого шпата- плагиоклаза, ортоклаза(40...70 %) и слюд - биотита и/или мусковита (5...20 %). Плотность гранита - 2600...2700 кг/м³, прочность на сжатие до 300 МПа. Минеральный состав гранитов включает кварц, твёрдость по Моосу 7, полевой шпат, твёрдость по Моосу 6...6,5, слюды.

Цвет гранита преимущественно определяется входящими в него полевыми шпатами: *Ортоклаз* (от греч. orthos - прямой и klasis - ломка, раскалывание), породообразующий минерал из группы полевых шпатов, Химический состав:

$\text{K} \cdot (\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, придаёт породе красноватый цвет, *Плагиоклазы* (от греч. plagios - косою и klasis - ломка, раскалывание), распространённые породообразующие

минералы, входящие в группу каркасных алюмосиликатов - полевых шпатов. По химическому составу представляют собой непрерывный изоморфный ряд натриево-кальциевых алюмосиликатов - альбита $\text{Na} \cdot (\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ и анортита $\text{Ca} \cdot (\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ с неограниченной смешиваемостью. Альбит — белый минерал, образуется из кислой магмы и входит в состав гранитов. Анортит — грязно зеленовато серый, до чёрного щелочной полевой шпат входит в состав тёмноцветных пород, образовавшихся из магмы щелочного состава, не имеющих в своём составе кварц.

Диорит - темно серая мелкокристаллическая порода, состоящая в основном из полевых шпатов (около 75 %) и темноокрашенных минералов. Плотность - 2800...3000 кг/м³. Отличается повышенной ударной вязкостью.

Габбро - мелкокристаллическая порода, образовавшаяся из основной магмы, состоит из полевых шпатов (около 50 %) и темноокрашенных минералов (авгита, роговой обманки и т. п.). Плотность - 2900...3100 кг/м³; предел прочности при сжатии - 80...350 МПа.

Вулканические туфы - породы, образовавшиеся из вулканических пеплов, это пористая порода ($\Pi = 30...60\%$), имеющая низкую плотность 800...1800 кг/м³. Поры у туфа в большинстве своем замкнутые, что обуславливает его высокую морозостойкость. Прочность при сжатии зависит от пористости и составляет 2...20 МПа. Теплопроводность у туфа в 1,5...2 раза ниже, чем у кирпича.

Осадочные горные породы в зависимости от происхождения принято делить на:

- *механические осадки*, при образовании которых главную роль играли физико-механические процессы (воздействие воды, мороза, нагрева и охлаждения и т. п.);

- *органогенные осадки*, которые образовались из остатков (скелетной части) живых организмов, как правило, морской фауны (ракушки, кораллы и т. п.);

- *хемогенные осадки*, образовавшиеся в результате растворения

первичных пород и последующей кристаллизации из водных растворов.

Механические осадочные породы могут быть рыхлыми (*гравий, песок, глина*) и цементированными - те же рыхлые осадки, частицы которых склеены природным цементом (*брекчии, конгломераты, песчаники*).

Песок- природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород. Преобладающим минералом песка является кварц.

Гравий из горных пород - неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

Глина мелкозернистая осадочная горная порода, с размером частиц 0,005мм и менее. Рыхлые породы с более крупными частицами, но менее песка относят к лёссам. Глина состоит из одного или нескольких минералов группы *каолинита, монтмориллонита* или других *слоистых алюмосиликатов*, но может содержать и песчаные и карбонатные частицы. Как правило породообразующим минералом в глине является каолинит, его состав: 47 % оксида кремния (SiO_2), 39% оксида алюминия (Al_2O_3) и 14% воды.

Песчаники состоят из зерен кварцевого песка, цементированного природным цементом, например, карбонатом кальция, аморфным кремнеземом, гипсом и т. п.

Известняки плотные - широко распространенная горная порода, состоящая в основном из кальцита CaCO_3 с примесью магнезита MgCO_3 , глины и кремнезема SiO_2 . Цвет известняков в зависимости от примесей: белый, светло-серый, серовато-кремовый или желтоватый. Плотность известняков 2000...2300 кг/м³, прочность при сжатии составляет 5...15 МПа. Твердость 3...3,5 по шкале Мооса, что позволяет легко добывать и обрабатывать известняк при помощи стальных инструментов. Морозостойкость известняков существенно зависит от пористости, степени цементации, наличия примесей.

Известняки-ракушечники - пористая порода, с минеральным составом

аналогичным плотным известнякам, состоящая из раковин и панцирей моллюсков, сцементированных известковым цементом. Плотность ракушечника 900...2000 кг/м³, предел прочности при сжатии 0,5...5 МПа.

Доломит - порода, состоящая в основном из минерала доломита CaCO₃ · MgCO₃, с примесью кальцита, глин, оксидов железа и др. При содержании доломита 50...90% породу называют известковистым доломитом, при ещё меньшем содержании - доломитизированным известняком. По структуре и физическим свойствам доломит близок к плотным известнякам: плотность 2200...2800 кг/м³; предел прочности при сжатии 50...200 МПа, твёрдость по минералогической шкале 3,5...4 поэтому его применяют для производства строительного камня, щебня, а так же в металлургии.

Метаморфические горные породы образовались в результате процессов метаморфизма из магматических или осадочных пород, поэтому как правило наследуют минеральный состав исходной породы. Метаморфизм заключается в перекристаллизации минералов горных пород под действием горного давления и температуры в глубинах земной коры. Наиболее широко распространены карбонатные породы-мрамора и кварциты, образовавшиеся из песчаников.

Мрамор (лат. marmor - блестящий камень), кристаллическая горная порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации известняка или доломита в процессе метаморфизма. В строительной практике мрамором называют метаморфические породы средней твёрдости, принимающие полировку, к ним относятся: мрамор, мраморизованный известняк, плотный доломит, карбонатные брекчии и карбонатные конгломераты плотностью 2,65...2,90 г/см³, пределом прочности при сжатии 50...250 МПа, истираемостью 0,40...3,20 г/см² и водопоглощением 0,15...0,50%.

Кварцит природный камень, который относится к метаморфическим горным породам, состоящим в основном из кварца и слюды. Цветовая гамма: серо-зелёные и желто-коричневые природные оттенки, с серебристыми вкраплениями слюды. Высокая твёрдость кварцита (7 по минералогической

шкале), прочность аналогичная гранитам, позволяют использовать в производстве строительного камня, щебня.

Технические требования к материалам и изделиям

Важнейшими характеристиками природных каменных материалов являются средняя плотность, прочность при сжатии, истираемость, износ, морозостойкость, водостойкость, теплопроводность.

По средней плотности каменные материалы подразделяют на тяжелые, со средней плотностью 1800 кг/м³ и более, и легкие, со средней плотностью менее 1800 кг/м³. Тяжелые применяют в дорожном строительстве, для изготовления облицовочных материалов, полов, легкие - для изготовления стеновых материалов, в качестве легких заполнителей для бетонов.

По прочности при сжатии установлены марки 0,4; ...; 100, что соответствует пределу прочности породы при сжатии, в МПа, в сухом состоянии.

По морозостойкости каменные материалы делят на марки 10; ... 500, по водостойкости - на группы с коэффициентом размягчения КР не ниже 0,6; 0,75; 0,9 и 1,0. Для стеновых материалов важнейшей характеристикой является коэффициент теплопроводности. Он составляет для известняка-ракушечника и вулканического туфа 0,5-0,8 Вт/(м·°С).

Основные виды природных каменных материалов и изделий

В соответствии с ГОСТ 8736-2014 для строительных работ допустимо использовать смеси природных песков и песков из отсевов дробления с истинной плотностью зерен от 2,0 до 2,8 г/см³.

В зависимости от крупности и содержания пылевидных и глинистых частиц песок подразделяют на два класса - I и II.

В зависимости от крупности зерен (модуля крупности) песок классов I и II подразделяют на группы:

- песок класса I - повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;
- песок класса II - повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень

мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждую группу песка характеризуют значением модуля крупности M_k , (табл. 1.)

Таблица 1

Группа песка	Модуль крупности M_k
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5
Крупный	" 2,5 до 3,0
Средний	" 2,0 " 2,5
Мелкий	" 1,5 " 2,0
Очень мелкий	" 1,0 " 1,5
Тонкий	" 0,7 " 1,0
Очень тонкий	До 0,7

В песке нормируется содержание зерен крупностью св. 10; 5 и менее 0,16 мм.

Содержание в песке пылевидных частиц в зависимости от класса и модуля не должно превышать 2...5% и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать 0,25...0,5%.

Обогащенный песок характеризуют следующими показателями качества:

- модулем крупности;
- зерновым составом;
- содержанием пылевидных и глинистых частиц, в том числе глины в комках.

Фракционированный песок может выпускаться следующих фракций (или их смесей):

- св. 2,5 до 5 мм;

- св. 1,25 до 2,5 мм;
- св. 0,63 до 1,25 мм;
- св. 0,315 до 0,63 мм;
- св. 0,16 до 0,315 мм.

Пески не должны содержать посторонних засоряющих примесей, в том числе органических.

Пески различных месторождений оценивают по удельной эффективной активности естественных $A_{эфф}$ радионуклидов и в соответствии с оценкой выбирают допустимую область применения:

- до 370 Бк/кг - во вновь строящихся жилых и общественных зданиях;
- св. 370 до 740 Бк/кг - для дорожного строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных зданий и сооружений;
- св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.

ЩЕБЕНЬ И ГРАВИЙ ИЗ ПЛОТНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Щебень и гравий из горных пород со средней плотностью зерен от 2,0 до 3,0 г/см³, применяемые в качестве заполнителей для тяжелого бетона, а также для дорожных и других видов строительных работ.

Щебень из горных пород - неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый дроблением годных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд (черных, цветных и редких металлов металлургической промышленности) и неметаллических ископаемых других отраслей промышленности и последующим рассевом продуктов дробления.

Гравий из горных пород - неорганический зернистый сыпучий материал

с зернами крупностью свыше 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей. Внешне отличается от щебня преимущественно округлой, окатанной формой и наличием частиц различного минерального состава и происхождения.

Щебень и гравий выпускают в виде следующих основных *фракций*: от 5 (3) до 10 мм; св. 10 до 15 мм; св. 10 до 20 мм; св. 15 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80 (70) мм и смеси фракций от 5 (3) до 20 мм.

По согласованию изготовителя с потребителем выпускают щебень и гравий в виде других фракций, составленных из отдельных фракций, а также фракций от 80 (70) до 120 мм, св. 120 до 150 мм.

Форму зерен щебня и гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (*лещадной*) и игловатой формы.

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на пять групп: 1-до 10%; 2 — 10...15%; 3 — 15...25%; 4 — 25...35%; 5 — 35...50%.

Гравий не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой формы более 35 % по массе.

Прочность щебня и гравия характеризуют *маркой по дробимости при сжатии* (раздавливании) в цилиндре. Марка устанавливается по потере массы при испытании.

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород составляет от 200 до 1200, изверженных пород 600...1400, для гравия 400...1000.

По истираемости щебня и гравия установлены 4 марки: И1, И2, И3, И4, определяемые потерей массы (%) при испытании от 20...25% для И1 до 50...60% для И4.

Морозостойкость щебня и гравия характеризуют числом циклов замораживания и оттаивания, при котором потери в процентах по массе щебня и гравия не превышают 10% для F15; F25 и 5% для более высоких значений. Щебень и гравий по морозостойкости подразделяют на следующие марки: F15; F25; F50; F100; F150; F200; F300; F400.

Булыжный камень представляет собой зерна горной породы с овальными поверхностями размером до 300 мм.

Колотый камень должен иметь форму, близкую к многогранной призме или усеченной пирамиде с площадью лицевой поверхности не менее 100 см²

Камень брусчатый для дорожных покрытий имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Изготавливают его из гранита, базальта, диабазы и других горных пород с пределом прочности при сжатии 200...400 МПа. Применяют для мощения дорог.

Бутовый камень представляет собой штучный камень размером 150-500 мм и массой 20-40 кг. По форме его подразделяют на рваный, постелистый и плитняковый.

Камни стеновые из горных пород - материал в виде прямоугольного параллелепипеда размером 390x190x188, 490x240x188 и 390x190x288 мм. Изготавливают их из горных пород со средней плотностью до 2200 кг/м³ в основном из известняков и туфов. Применяют для кладки стен, перегородок и других частей зданий и сооружений.

Плиты облицовочные пиленые из природного камня получают распиливанием каменных блоков. Они имеют длину от 150 до 3500, ширину от 150 до 2000 и толщину от 8 до 30 мм. Применяют их для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений. Для облицовки стен изготавливают плиты из гранита, сиенита, диорита, лабродорита, базальта, мрамора, известняка, песчаника, туфа и других горных пород. Настилка полов выполняется плитами из гранита, лабродорита и реже мрамора.

Архитектурно-строительные изделия из природного камня получают из блоков или непосредственным выпиливанием из горных пород. Предназначены для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений, устройства

парапетов, ограждений лестниц. Изготавливают их из гранита, мрамора, плотного известняка, доломита, песчаника и других горных пород.

Кроме перечисленных выпускают сложнопрофильные архитектурные изделия: колонны, балясины, детали обрамления порталов, детали карниза, междуэтажные пояса, камни кардонные.

Технические характеристики

Бутовый камень характеризуется допустимыми крупностью кусков и содержанием глины в комках, формой кусков, маркой по прочности, морозостойкостью и петрографическим составом используемой горной породы.

Размер кусков бутового камня - от 150 до 500 мм, и лишь по соглашению сторон допускается поставка камня с размером кусков от 70 до 1000 мм.

Содержание в бутовом камне комков глины не должно превышать 2% по массе.

Кроме того, сам бутовый камень не должен иметь прослоек глин, мергеля и других видимых расслоений.

Прочность бутового камня характеризуют его маркой, соответствующей пределу прочности при сжатии исходной горной породы в насыщенном водой состоянии. Различают марки 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200 и 1400. Бутовый камень из метаморфических горных пород должен иметь марку не ниже 400, из изверженных - не ниже 600.

По морозостойкости бутовый камень подразделяется на марки F15, F25, F50, F100, F200 и F300.

Определение средней плотности, марок по прочности и морозостойкости производят путем испытания образцов правильной формы в виде цилиндров диаметром и высотой 40-50 мм или кубов с высотой ребра 40-50 мм.

Допускается прочность бутового камня определять испытанием на сжатие в цилиндре кусков щебня фр. 20-40 мм, полученного дроблением пяти кусков камня.

При определении морозостойкости по количеству циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии образцы должны выдерживать испытания без видимых следов разрушения и при потере массы не более 5%. Для предварительной оценки морозостойкости бутового камня технические условия допускают испытания щебня фр. 20-40 мм, полученного из пяти кусков бутового камня, в растворе сернокислого натрия по методике ГОСТ 8269.0 с оценкой его результатов по ГОСТ 8267.

Пиленые стеновые камни из горных пород, предназначенные для кладки стен, перегородок и других частей зданий и сооружений, производят по ГОСТ 4001-84.

Расслоения, прослойки глины и мергеля в лицевых и рядовых камнях не допускаются.

марка камня по прочности на сжатие - не менее 25;

коэффициент размягчения - не менее 0,7;

По виду обработки природные каменные материалы делят на следующие основные виды:

- грубо обработанные (бутовый камень, валунный камень, щебень, гравий и песок);

- изделия и профилированные детали из природного камня;

- штучный камень и блоки правильной формы (для кладки стен и др.);

- плиты с различно обработанной поверхностью (облицовочные для стен, чистого пола и др.);

- профилированные детали (ступени, подоконники, пояски, наличники, капители колонн и т.п.);

- изделия для дорожного строительства (бортовой камень, брусчатка, шашка для мощения).

По способу изготовления природные каменные материалы и изделия можно разделить на:

- пиленые (стенные камни и блоки, облицовочные плиты и плиты для пола);

- колотые (бортовые камни, камни тесаные, брусчатка, шашка для мощения и др.).

Используя ударную и абразивную обработку, природному камню придают ту или иную фактуру - различный характер поверхности.

Ударная обработка заключается в обкалывании поверхности камня с помощью камнетесаного инструмента со сменными наконечниками: для тески пользуются широким долотом-скарпелью, скалывание неровностей производят спицей - остроконечным долотом, для чистой обработки лицевой поверхности применяют бучарду со средней или мелкой насечкой.

Ударная обработка дает возможность получить следующие фактуры: фактуру скалы с буграми и впадинами, как при естественном расколе породы; рифленую с правильным чередованием гребней и впадин глубиной до 2 мм; бороздчатую - с параллельными прерывистыми бороздками глубиной 0,5-1 мм; точечную - шероховатую с точечными углублениями 0,5-2 мм.

По показателям плотности **природные камни** делятся на **легкие** и **тяжелые**. Легкие камни плотностью не более 1,8 г/см имеют пористое строение (вулканический туф, пемза, известняк-ракушечник) и поэтому применяются преимущественно в виде штучного камня и блоков для стен зданий и щебня для легких бетонов.

Тяжелые камни плотностью более 1,8 г/см (из гранита, сиенита, диорита и т.п.) служат облицовкой и используются в виде плит пола, материалов и изделий для гидротехнического и дорожного строительства.

Прочность. По пределу прочности при сжатии образцов в воздушно-сухом состоянии природные каменные материалы делят на марки (МПа): 0,4; 0,7; 1,5; 2,5; 3,5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 80 и 100. Марки с 0,4 до 20 свойственны легким камням различной пористости.

Морозостойкость. По числу циклов попеременного замораживания и оттаивания, выдержанных образцами в условиях стандартного испытания,

природные каменные материалы разделяют на марки по морозостойкости: 10; 15; 35; 100; 150; 200; 300 и 500.

Высокую морозостойкость имеют плотные камни с равномерно-зернистой структурой. Камни с неравномерным порфировым

Строением быстрее растрескиваются при резких изменениях температуры вследствие различия коэффициентов температурного расширения мелкокристаллической массы и крупных вкрапленников.

Свежедобытые известняки, доломиты, песчаники, туфы легко разрушаются от мороза вследствие того, что их поры заполнены "горной влагой" и коэффициент насыщения пор водой близок к 1.

После естественной просушки они оказываются достаточно морозостойкими и более прочными.

Водостойкость. Коэффициент размягчения камня, применяемого для гидротехнических сооружений и фундаментов, должен быть не менее 0,8, для наружных стен зданий - не менее 0,6.

Истираемость и износ. Эти свойства природного каменного материала имеют важное значение при устройстве дорожных покрытий, полов, лестниц и т.п.

Мелкокристаллические материалы при истирании становятся слишком скользкими, поэтому для лестниц, полов и дорожных покрытий следует применять средне-зернистые материалы, которые при истирании остаются немного шероховатыми.

При выкрашивании крупных зерен в процессе истирания в камне образуются выбоины.

Огнестойкость зависит от минерального состава камня.

Некоторые материалы при повышенной температуре разлагаются (гипс при 100 °С, известняк при 900 °С), другие (например, гранит, порфиры) растрескиваются при пожаре вследствие различного теплового расширения составляющих их минералов.

ЛЕКЦИЯ 6 Минеральные вяжущие вещества

Минеральные вяжущие это тонко измельчённые минеральные порошки, образующие при смешивании с водой пластичную массу, способную с течением времени под влиянием физико-химических процессов переходить в камневидное состояние. Это свойство вяжущих используют для получения искусственных каменных материалов.

Воздушные вяжущие вещества

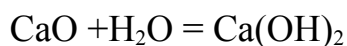
Воздушные минеральные вяжущие вещества после смешивания с водой способны схватываться, твердеть, сохранять и повышать свою прочность только на воздухе, в воде они размокают из-за высокой растворимости компонентов искусственного камня. К воздушным вяжущим веществам относятся известь строительная, гипс, магнезиальные вяжущие, жидкое стекло.

Строительная (воздушная) известь (ГОСТ 9179-77) — неорганическое минеральное вяжущее вещество, получаемое в результате обжига при температуре 900...1200 °С кальциево-магниевого горных пород - известняков, доломитов, мраморов, содержащих не более 6% глинистых примесей, до возможно полного удаления углекислоты.

В результате обжига происходит реакция:



Полученный при обжиге продукт, состоящий в основном из оксида кальция, называют *негашёной известью*. Негашёная известь может быть *комовой*, т. е. иметь форму кусков исходного материала или *молотой*. Помол осуществляется до получения удельной поверхности 3500...5000 см²/г. Это обеспечивает необходимую активность извести. Полученный продукт используется сразу для производства растворов и бетонов. Длительное хранение приводит к гидратации за счёт поглощения влаги из воздуха и снижению вяжущих свойств. При добавлении воды образуется гидроксид кальция, полученный продукт называют *гашёной известью*:



При этом комовая известь превращается в порошкообразную *пушёнку*, либо при увеличении количества воды в *известковое тесто* или *известковое молоко*.

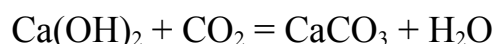
Известь в зависимости от условий твердения подразделяется на *воздушную*, обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов и сохранение ими прочности в воздушно-сухих условиях, и *гидравлическую*, обеспечивающую твердение строительных растворов и бетонов как на воздухе, так и в воде.

По содержанию MgO воздушную негашеную известь подразделяют на кальциевую (MgO < 5%), магниальную (MgO 5...20%) и доломитовую (MgO 20...40%).

Строительную негашеную известь по времени гашения подразделяют на *быстрогосящуюся* — не более 8 мин, *среднегсящуюся* — не более 25 мин, *медленногсящуюся* — более 25 мин.

В зависимости от пластичности получаемого продукта, зависящей от содержания глинистых и песчаных примесей, различают известь *жирную* и *тощую*.

Строительная известь применяется в виде растворов, в смеси с песком и другими наполнителями. Твердение строительных известковых растворов происходит только на воздухе, первично за счёт образования и роста сростков кристаллов гидроксида кальция при высыхании раствора. Одновременно может протекать процесс карбонизации, т. е. взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом воздуха:



Образование CaCO₃ в обычных условиях протекает очень медленно, карбонизация захватывает только поверхностные слои, что объясняется малой концентрацией CO₂ в воздухе (0,03%) и большой плотностью пленки образующегося карбоната кальция, затрудняющей проникновение углекислоты во внутренние слои раствора.

Предел прочности при сжатии растворов на гашеной извести через 28 суток твердения на воздухе составляет 0,4...1,0 МПа. При использовании негашёной извести 28 суточная прочность может достигать 4 МПа. При длительном твердении (десятки и даже сотни лет) прочность растворов возрастает до 5...7 МПа и более. Это объясняется дальнейшей карбонизацией и накоплением с течением времени гидросиликатов кальция, которые образуются, хотя и крайне медленно, при взаимодействии гидроксида кальция с диоксидом кремния кварцевого песка входящего в известковый раствор. Поскольку прочность известковых растворов мала, сорт извести устанавливают не по прочности а по характеристикам состава. Важным свойством воздушной извести, особенно гашеной, является высокая пластичность, которая связана с ее высокой водоудерживающей способностью. Вода, адсорбционно удерживаясь на поверхности тонкодисперсных частиц гидроксида кальция, создает своеобразную смазку, уменьшающую трение между ними.

Строительная известь применяется так же для изготовления искусственных каменных материалов — силикатного кирпича, силикатных бетонов, прочность которых возможно существенно повысить за счёт тепловлажностной (автоклавной) обработки.

Гипс строительный (ГОСТ 125-79) — воздушное минеральное вяжущее, получают из природного двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, безводного ангидрида CaSO_4 и побочных продуктов промышленности (фосфогипс, сульфат кальция, образующийся при очистке дымовых газов от оксидов серы с использованием известняка).

Строительный гипс (алебастр) получают путем обжига исходного, предварительно размолотого сырья в варочных котлах при температуре 110...160°C. При этом он теряет часть химически связанной воды, превращаясь в полуводный сульфат кальция (β -полугидрат):



Основные свойства гипсового вяжущего — прочность при сжатии (марка), сроки схватывания, водопотребность, тонкость помола, нормируются

ГОСТ 125-79.

Прочностные характеристики гипсового вяжущего — 2...25 МПа - предел прочности при сжатии, 1,2...8 МПа предел прочности при изгибе. При намокании прочность гипсового вяжущего снижается, по этому в состав вводят гидрофобизирующие добавки.

В зависимости от срока схватывания выпускают гипсовые вяжущие с индексом сроков твердения: А-началом схватывания 2мин, окончанием 15мин, Б начало схватывания 6, окончание 30 мин, В - начало схватывания 30 мин.

По тонкости помола установлены три степени (индекс степени помола): I — грубая, II — средняя, и III - тонкая соответственно.

В зависимости от температуры обжига сырья различают:

-низко обжиговый гипс — при температуре 110...160°C, сюда относят строительный гипс (алебастр), формовочный гипс.

-высоко обжиговый гипс — при температуре 600...900 °С. Такое гипсовое вяжущее медленно твердеет, но получаемая прочность 10...20 МПа позволяет использовать в качестве кладочных растворов, основы для изготовления различных строительных изделий. К высоко обжиговым относят ангидритовый цемент.

В зависимости от предела прочности на сжатие устанавливают марки гипсового вяжущего Г-2...Г-25, кроме прочности маркировка гипса может включать дополнительные характеристики, например, Г-10-А-11 : быстротвердеющее гипсовое вяжущее, среднего помола, предел прочности 10МПа.

Для твердения строительного (полуводного) гипса (процесс гидратации) требуется 20% воды от массы гипса, а для получения пластичного гипсового теста, позволяющего изготавливать различные изделия - 50...60%.

Соответственно, после затвердевания такого раствора в нем остается 30...40% (от массы гипса) свободной воды. Этот объем воды образует поры, временно занятые водой и при сушке материал приобретает пористость, снижающую прочность, морозостойкость полученных изделий. Таким образом гипсовые

растворы, бетоны и изделия на их основе без дополнительной обработки пригодны для эксплуатации только внутри помещений.

Магнезиальные вяжущие вещества по (ГОСТ 1216-87) получают в результате улавливания пыли, образующейся при производстве спеченного периклазового порошка - *каустический магнезитовый порошок* и делят на марки ПМК90...ПМК75 в зависимости от содержания MgO, или получают путем обжига магнезита ($MgCO_3$) или доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) при температуре 800...850 °С. Продукт обжига соответственно называется *каустическим магнезитом* или *каустическим доломитом*. Магнезиальные вяжущие хорошо сцепляются с древесными, асбестовыми и другими волокнами и применяются для получения теплоизоляционных материалов (фибrolит), устройства теплых полов (ксилолит). Магнезиальные вяжущие затворяются не водой, а растворами солей хлористого или сернокислого магния. Начало затвердевания этого материала не ранее 20 мин и не позднее 6 ч.

При затворении хлористым магнием соотношение между компонентами принимается следующим: 62...67% MgO и 33...38% $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. При затворении сернокислым магнием MgO берется 80...84%, и 16...20% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Каустический магнезит — вяжущее вещество с насыпной плотностью 700...850 кг/м³, с началом схватывания 20 мин и концом — не позже 6 ч, быстротвердеющее, с прочностью, на сжатие в возрасте 28 суток — 40...60 МПа (может достигать 80...100 МПа).

Каустический доломит имеет насыпную плотность 1050...1100 кг/м³, начало схватывания — 3...10, конец — 8...20 ч, предел прочности при сжатии — 10...30 МПа.

Недостатком материала является малая водостойкость, поэтому он используется только в сухих условиях.

Жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или силиката калия (ГОСТ 130-78-71), имеющий плотность 1300...1500 кг/м³ и содержащий 50...70% воды. Жидкое стекло получают

растворением силикат глыбы (продукт спекания кварцевого песка и щёлочи) в воде при повышенной температуре и давлении 0,5...0,7 МПа.

Состав жидкого стекла выражается формулой $R_2O \cdot mSiO_2$. Где R — калий или натрий, m — модуль жидкого стекла, обычно составляет 2,5...4. чем выше модуль, тем выше качество жидкого стекла. Жидкое стекло применяют при получении жаропрочных, кислотоупорных бетонов, силикатных красок, а так же для укрепления слабых грунтов. Для ускорения твердения к жидкому стеклу добавляют кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 .

Гидравлические вяжущие вещества

Гидравлические вяжущие вещества отличаются от воздушных способностью твердеть и сохранять прочность не только на воздухе но и в воде. По химическому составу гидравлические вяжущие представляют собой систему оксидов CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃.

Существует три основные группы гидравлических вяжущих:

- *силикатные цементы*, состоящие в среднем на 75% из силиката кальция, сюда относится и портландцемент, являющийся основным минеральным гидравлическим вяжущим в современном строительстве.

- *алюминатные цементы*, основой которых служит глинозёмистый цемент.

- *гидравлическая известь и романцемент*.

Отношение доли CaO к сумме остальных оксидов (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃), называют *гидравлическим модулем* m, минерального гидравлического вяжущего. Например, для гидравлической извести значение модуля составляет 1,7...9. При значении гидравлического модуля 1,7...4,5 известь считается *сильногидравлической*, 4,5...9 — *слабогидравлической*, т. е. Увеличение модуля означает снижение способности к гидравлическому твердению.

Гидравлическая известь - неорганическое вяжущее вещество, получаемое в результате обжига не до спекания при температуре 800...1100 °С мергелистых известняков, содержащих 6...20% глинистых примесей.

Гидравлические свойства обусловлены наличием в составе низкоосновных силикатов кальция $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, алюминатов кальция $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, ферритов кальция $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Аналогично воздушной, гидравлическая известь может применяться негашёной и гашёной. Способность к гидравлическому твердению извести снижается по мере увеличения доли CaO (увеличение гидравлического модуля). Твердение гидравлической извести начинается на воздухе, первые 7 суток и продолжается до 28 суток во влажной среде, при этом для растворов на слабогидравлической извести достигается прочность не менее 1,7 МПа, сильно гидравлической не менее 5 МПа.

Гидравлическая известь медленно твердеет, начало схватывания 0,5...2ч, окончание схватывания 8...16 ч. бетоны и растворы на гидравлической извести имеют удовлетворительную долговечность, что позволяет использовать их в неотчетственных конструкциях как недорогую замену бетонам и растворам на портландцементе.

Романцемент — гидравлическое минеральное вяжущее, получаемое обжигом не до спекания при 900°C мергелистых известняков с содержанием глины 25% и более. Гидравлические свойства обеспечивают низкоосновные силикаты и алюминаты, использование аналогично гидравлической извести.

Портландцемент минеральное гидравлическое вяжущее, получаемое при тонком помоле клинкера с добавкой 5% гипса. *Клинкер* — продукт обжига мергеля, смеси известняка и глины или других материалов сходного состава при температуре 1450°C . При частичном плавлении исходного сырья, образуются гранулы клинкера. Добавка гипса уменьшает скорость схватывания цемента.

Клинкер имеет примерный химический состав: 70...80% CaO , 20% SiO_2 , 5% Al_2O_3 , 3% Fe_2O_3 и обычно содержит четыре главные *фазы*, называемые алит, белит, алюминатная фаза и ферритная фаза. Допускается введение в портландцемент при помоле клинкера пластифицирующих, гидрофобизирующих, поверхностно-активных добавок в количестве не более 0,3% по массе цемента.

Алит является наиболее важной составляющей всех обычных цементных клинкеров, содержание его составляет 50...70%. Это трехкальциевый силикат, Ca_3SiO_5 , состав и структура которого модифицированы за счет размещения в решетке ионов Mg^{2+} , Al^{3+} и Fe^{3+} . Алит в нормальных цементах обеспечивает развитие *28 суточной прочности*. Вклад в прочность этой фазы особенно важен.

Белит содержится в нормальных цементных клинкерах в количестве 15...30%. Это двукальциевый силикат Ca_2SiO_4 , модифицированный введением в структуру инородных ионов и обычно полностью или большей частью присутствующий в виде β -модификации. Белит медленно реагирует с водой, слабо влияя на прочность в течение первых 28 суток, но существенно увеличивает прочность в более поздние сроки. Через год прочности чистого алита и чистого белита в сравнимых условиях примерно одинаковы.

Алюминатная фаза составляет 5...10% для большинства нормальных цементных клинкеров. Это трехкальциевый алюминат $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, существенно измененный по составу, за счет инородных ионов, особенно Si^{4+} , Fe^{3+} , Na^+ и K^+ . Алюминатная фаза быстро реагирует с водой и может вызвать нежелательно быстрое схватывание, если не добавлен регулирующий скорость схватывания агент, обычно гипс.

Ферритная фаза составляет 5...15% обычного цементного клинкера. Это — четырехкальциевый алюмоферрит $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$, состав которого значительно меняется при изменении отношения Al/Fe и размещении в структуре инородных ионов. Скорость, с которой ферритная фаза реагирует с водой, может изменяться из-за различий в составе но, как правило, она высока в начальный период и является промежуточной между скоростями для алита и белита в поздние сроки.

По химическому составу портландцемент выпускают трёх марок — Д0 — без добавок, Д5 — до 5% минеральных добавок, Д20 — до 20% добавок, в том числе до 10% активных минеральных добавок осадочного происхождения или до 20% гранулированных доменных шлаков и прочих активных

минеральных добавок.

Истинная плотность портландцемента, без минеральных добавок 3050...3150 кг/м³. Насыпная плотность составляет в среднем 1300 кг/м³.

Портландцемент отличается высокой твердостью после первоначального твердения и высокой конечной прочностью. Поскольку при твердении выделяется теплота, бетонирование возможно в зимний период.

По прочности цемент делится на *марки*, которые определяются главным образом пределом прочности при сжатии половинок образцов-призм размером 40х40х160 мм, изготовленных из раствора цемента состава 1 к 3 с кварцевым песком, испытанных в возрасте 28 суток. Марки выражаются в числах М100...М600 (как правило с шагом 100) обозначающим прочность при сжатии соответственно в 100...600 кг/см² (10...60 МПа).

К *потребительским* свойствам портландцемента относят водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объема и тепловыделение при твердении.

Водопотребность это количество воды в процентах от массы цемента, необходимое для получения цементного теста нормальной густоты.

Схватывание должно начинаться не ранее 45 мин и заканчиваться не позднее 10ч. Неравномерность изменения объема связана с расширением свободного СаО и MgO. Тепловыделение при гидратации цемента в массивных конструкциях может приводить к возникновению термических напряжений и растрескиванию бетонов.

К специальным видам портландцемента относят высокопрочный, быстротвердеющий, особо быстро твердеющий (ГОСТ969-91), сульфатостойкие (ГОСТ22266-94), белые, цветные, безусадочные и т.п.

Быстротвердеющие цементы БТЦ, способны набирать высокую прочность в срок до 3 суток.

Белый портландцемент изготавливают из клинкера полученного обжигом смеси чистого известняка и каолиновых глин, *цветные цементы* получают добавкой в белый цемент минеральных красителей — газовой сажи,

охры, оксида хрома и т.п.

Шлакопортландцемент — гидравлическое минеральное вяжущее, получаемое при совместном помоле цементного клинкера, гипса и доменного шлака. Содержание доменного шлака составляет 20...80% от массы готового продукта.

По прочности для шлакопортландцемента установлены марки М300, М400, М500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент в 3х суточном возрасте должен иметь прочность на сжатие не менее 20МПа, на изгиб 3,5 МПа. Из за отсутствия в составе шлакопортландцемента свободного гидрата окиси кальция, водостойкость выше, чем у обычного портландцемента, поэтому он в основном применяется при строительстве гидротехнических сооружений. Морозостойкость и воздухоустойкость несколько ниже, что ограничивает использование в конструкциях подверженных замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию.

Глинозёмистый цемент — быстротвердеющее гидравлическое минеральное вяжущее, получаемое при тонком измельчении обожжённой до спекания смеси извести и бокситов. Главная составная часть глинозёмистого цемента это однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Глинозёмистый цемент характеризуется нормальной скоростью схватывания и более быстрым набором прочности чем обычный цемент. Бетоны на глинозёмистом цементе жаропрочны до 1200...1400 °С, морозостойки, водо и воздухо стойки. Выпускаются марки М400, М500, М600.

Минеральные вяжущие автоклавного твердения. Твердение минеральных вяжущих этой группы основано на образовании гидросиликатов кальция при нагреве до 175...200 °С в атмосфере насыщенного водяного пара с соответствующим давлением 0,9...1,3 МПа. Такие характеристики среды достигаются в специально изготовленном сосуде высокого давления — *автоклаве*.

Известково силикатное вяжущее автоклавного твердения представляет собой продукт совместного тонкого помола до удельной поверхности

1500...3000 см²/г. извести (CaO) и кварцевого песка или аморфного кремнезёма (SiO₂). Аналогичными свойствами обладают смеси с золой-уносом тепловых электростанций вместо песка, смеси с использованием портландцемента.

С применением вяжущих автоклавного твердения производят силикатный кирпич, газосиликатные блоки. Очевидным преимуществом вяжущих автоклавного твердения является высокая скорость твердения, достигаемая за счёт интенсификации процессов и составляющая несколько часов в зависимости от химического состава и размера изделий против 28 суток обычного твердения.

Искусственные каменные изделия на основе минеральных вяжущих

Искусственные каменные изделия получают в процессе формования и последующего твердения бетонов и растворов на основе минеральных вяжущих. В качестве заполнителя используют песок, шлак, золу, древесные опилки, бумагу, различные волокна, в том числе асбест, полипропилен, природные органические волокна, перлит. По виду минерального вяжущего различают цементные, гипсовые и гипсобетонные, на магнезиальном вяжущем, силикатные изделия.

Бетоном называют искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рационально подобранной смеси вяжущего, воды и заполнителей, а также при необходимости специальных добавок. Это один из основных строительных материалов для изготовления сборных железобетонных и бетонных конструкций.

В виду широкого использования бетонов, существует весьма сложная классификация, учитывающая множество показателей, табл 8.1:

Таблица 8.1

Классификация бетонов в соответствии с ГОСТ 25192-2012

Классификационный признак	Основные виды бетонов
Вид вяжущего	Цементные, гипсовые, известковые, шлакощелочные, полимерные, полимерцементные

Плотность	Тяжелые, особо тяжелые, легкие, особо легкие
Вид заполнителя	Плотные, пористые, неорганические, органические
Крупность заполнителя	Крупнозернистые, мелкозернистые, песчаные
Удобоукладываемость бетонных смесей	Из сверхжестких, жестких, подвижных, литых смесей
Степень поризации	Плотные, поризованные, крупнопористые, ячеистые
Способ уплотнения	Вибрированные, трамбованные, прессованные, вибропрессованные, вибровакуумированные, центрифугированные, литые
Характерные свойства	Высокопрочные, быстротвердеющие, сульфатостойкие, кислотостойкие, низкотермичные, декоративные
Назначение	Конструктивные, дорожные, гидротехнические, теплоизоляционные, радиационно-защитные, отделочные

Для бетонных и железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованиями СП 52-101-2003 в зависимости от назначения железобетонных конструкций и условий их эксплуатации устанавливают показатели качества бетона. Важнейшим из них является класс бетона по прочности на осевое сжатие **В**.

*Классом бетона по прочности на осевое сжатие **В*** называется наименьшее контролируемое значение временного сопротивления сжатию бетонных кубов с размером ребра 150 мм, испытанных после 28 суток твердения при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха более 60%, которое принимается с доверительной вероятностью 0,95.

Для бетонных и железобетонных конструкций по прочности на сжатие предусмотрены классы тяжёлого бетона: (В3,5; В5; В7,5; В10... В120) с шагом 5 единиц. Число после буквы «В» соответствует гарантированной прочности бетона на осевое сжатие, в МПа, с обеспеченностью 95%. Например, классу бетона В20 соответствует гарантированная прочность бетона 20 МПа.

Классы бетона по прочности на осевое растяжение (Вt0,4; Вt0,8; Вt1,2... Вt6), устанавливаются для конструкций, работающих преимущественно на растяжение (например, стенок резервуаров и водонапорных труб).

При необходимости для более полной характеристики качеств бетона могут устанавливаться марки бетона по морозостойкости F, по водонепроницаемости W и по средней плотности D:

- марка по морозостойкости (F15, F20, ...F1000), характеризуются числом циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии, которые выдерживает бетон без снижения прочности более чем на 15%;

- марка по водонепроницаемости (W2, W4, ... W20), величина давления воды в МПа, при котором еще не наблюдается просачивания ее через испытываемый стандартный образец толщиной 15 см;

Марка бетона по средней плотности D соответствует среднему значению объемной массы бетона (кг/м³).

Марка напрягающего бетона по самонапряжению представляет собой значение предварительного напряжения в бетоне, МПа, создаваемого в результате его расширения при коэффициенте продольного армирования $\mu = 0,01$.

При необходимости устанавливают дополнительные показатели качества бетона, связанные с теплопроводностью, температуростойкостью, огнестойкостью, коррозионной стойкостью (как самого бетона, так и находящейся в нем арматуры), биологической защитой и с другими требованиями, предъявляемыми к конструкции.

Тяжелый бетон, получение, свойства, применение

Тяжёлый бетон, общее название большой группы бетонов с плотностью 1800...2500 кг/м³. Вяжущим является портландцемент или его разновидности, заполнители — дроблёные плотные горные породы (известняки, граниты, базальты и др.). Высокие физико-механические показатели и распространённость природных каменных материалов, используемых в качестве крупных и мелких заполнителей, обусловили широкое применение в современном строительстве.

Строительными нормами и правилами установлены следующие *марки тяжёлых бетонов* — М100...М 600, означающие предел прочности на сжатие в кгс/см², марке соответствует класс В3,5...В60. Соотношение между марками и классами тяжелого бетона по прочности устанавливается при коэффициенте вариации 13,5 %, так классу В20 соответствует марка М250.

Существуют различные виды тяжелого бетона:

Бетон для сборных железобетонных конструкций, для ускорения твердения при изготовлении сборных железобетонных конструкций применяют *тепловую обработку в автоклаве*. Состав бетона: вода 140 л, цемент 280 кг, щебень 1415 кг, песок 590 кг. Рост прочности бетона при тепловой обработке определяется не только активностью, но также минералогическим составом цемента, составом бетона, консистенцией бетонной смеси, режимом тепловой обработки. Для получения требуемой отпускной прочности применяют следующий режим тепловой обработки, предварительная выдержка - 1...2 ч, подъем температуры - 2...3 ч, изотермическая выдержка - 6...12 ч при 80°C, остывание - 3...4 ч.

Высокопрочный бетон прочностью 60...100 МПа получают на основе цемента высоких марок, промытого песка и щебня прочностью не ниже 100 МПа. Высокопрочный бетон готовят с низким водоцементным отношением $V/C = 0,3... 0,35$ и ниже (смеси жесткие или малоподвижные) в бетоносмесителях принудительного действия. Для укладки смесей и формирования изделий используют интенсивное уплотнение вибрированием. Для приготовления высокопрочного бетона применяют различные способы повышения активности цемента и качества бетонной смеси (домол и виброактивация цемента, виброперемешивание, применение суперпластификаторов) и принимают высокий расход цемента. В качестве крупного заполнителя применяют фракционированный щебень из плотных пород с пределом прочности при сжатии - у изверженных не менее 100 МПа и у осадочных 80 МПа. Песок для высокопрочных бетонов должен иметь пустотность менее 40%. Марки высокопрочных бетонов М 500...1000.

Быстротвердеющий бетон с относительно высокой прочностью в раннем возрасте (1...3 сут.) при твердении в нормальных условиях достигается применением *алюминатного цемента марки М500*, а также различными способами ускорения твердения цемента (применение жесткой бетонной смеси с низким В/Ц, использование *добавок-ускорителей твердения* (хлористый

кальций, хлористый водород), с применением комплексных специальных добавок.

Бетон для гидротехнических сооружений должен обеспечивать длительную службу конструкций, постоянно или периодически омываемых водой. Поэтому в зависимости от условий службы к гидротехническому бетону помимо требований прочности предъявляют также требования по водонепроницаемости и морозостойкости. Гидротехнический бетон по прочности на сжатие в возрасте 180 суток делят на классы В5, В7, В 10, В 15, В20, В25, В30, В40.

По водонепроницаемости в 180-суточном возрасте на четыре марки: W2, W4, W6, W8.

По морозостойкости гидротехнический бетон делят на пять марок: F50, F100, F150, F200, F300. Максимальные допустимые значения В/Ц = 0,5...0,7.

Бетоны для дорожных и аэродромных покрытий основными расчетными напряжениями имеют напряжения изгиба. Прочность дорожного бетона устанавливают: при изгибе - М 20...55; при сжатии - М 100..М 500. Марки бетона по морозостойкости назначают в соответствии с климатическими условиями района строительства: F50, F100, F150, F200.

Чтобы обеспечить достаточную морозостойкость, В/Ц должно быть не более: для сурового климата - 0,5, умеренного - 0,53, мягкого - 0,55. Для оснований бетонных дорог допускается использовать портландцемент не ниже М300. В качестве крупного заполнителя используют щебень из прочных пород - изверженных прочностью не менее 120 МПа и осадочных пород не менее 80 МПа.

Малощебеночной бетон с пониженным содержанием щебня или гравия. При уменьшении содержания щебня в обычном бетоне повышается водопотребность бетонной смеси (так как возрастает удельная поверхность заполнителя), увеличивается воздухоовлечение в бетонную смесь и вследствие этого несколько уменьшаются прочность бетона и модуль деформации, возрастают усадка и ползучесть. Используют когда для железобетонных

конструкций приходится применять дорогостоящий привозной щебень.

Оптимальная плотность малощебеночного бетона составляет - 2380 кг/куб, м.

Оптимальный состав бетона на один куб : В = 150л, Ц = 280кг, Щ = 700кг, П = 1175кг.

Бетон с поверхностно-активными добавками (ПАВ), вводимые в состав бетона для улучшения его свойств и экономии цемента ПАВ подразделяются на две группы:

1 - пластифицирующие добавки пептизирующего действия, способствующие диспергированию коллоидной системы цементного теста и тем самым улучшающие его текучесть, к ним относятся концентраты сульфитно-спиртовой барды (ССБ) и их производные,

2 - гидрофобизирующие добавки, вызывающие вовлечение в бетонную смесь мельчайших пузырьков воздуха, что также улучшает подвижность бетонной смеси и, кроме того, повышает морозостойкость бетона и улучшает некоторые другие его свойства, к ним относятся омыленный древесный пек, мылонафт, омыленная абиетиновая смола (абиетат натрия), препарат ГК (пенообразователь на основе гидролизованной крови), микропенообразователь БС, получаемый из растительного сырья. Оптимальное содержание добавки ССБ 0,15...0,25%, абиената натрия 0,01...0,25% от веса цемента.

Лёгкие бетоны на пористых заполнителях

Лёгкие бетоны — группа бетонов с объёмной массой менее 1800 кг/м³. К ней относятся *бетоны на пористых заполнителях* (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон), *бетоны на лёгких органических заполнителях* (арболит, костробетон, полистиролбетон) и ячеистые бетоны (пенобетон, газобетон). В качестве вяжущих могут быть использованы цемент, гипс, известковые, магнезиальные вяжущие.

В легком бетоне в качестве заполнителей используют щебень из пемзы, пористых металлургических шлаков, керамзит, перлита, вермикулита и др. К заполнителям, получаемым в результате специальной переработки природных каменных материалов и отходов промышленности, относят вспученные при

обжиге глин керамзит и аглопорит, вспученные перлит и вермикулит, гранулированные шлаки, зольный гравий и др.

Керамзит изготавливают из глинистого сырья, с повышенным содержанием железистых соединений или с добавками, выделяющими газообразные продукты и способного вспучиваться в процессе обжига. Из приготовленной глинистой массы формуют гранулы, которые перед обжигом просушивают. Просушенные гранулы обжигают во вращающихся печах при температуре до 1200°C. В процессе обжига происходит вспучивание гранул с увеличением их объема в 17 раз.

Перлит — искусственный пористый материал, получаемый из изверженных полиминеральных горных пород, которые при нагревании до 1100...1300 °C вспучиваются и образуют пористый щебень.

Вермикулит — продукт выветривания биотитовой слюды, который при быстром нагревании до 700...900°C вспучивается, увеличиваясь в объеме в 40 раз.

Аглопорит — материал в виде щебня и песка, получаемый спеканием глинистой породы и отходов от добычи, переработки и сжигания ископаемых углей.

По величине насыпной плотности в сухом состоянии (в кг/м³) пористые заполнители делят на марки: 100, 150, 200, 250, 350, 400, 500, 600, 800, 1000 и 1200.

По структуре лёгкие бетоны разделяют на следующие основные виды: *обыкновенные легкие бетоны*, изготавливаемые из вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей при полном заполнении раствором пустот между зернами крупного заполнителя. Количество вовлеченного в бетонную смесь воздуха не превышает 6% объема;

крупнопористые (беспесчаные) легкие бетоны, в которых зерна крупного заполнителя покрыты тонким слоем цементного теста, а межзерновые пустоты остаются свободными. Крупнопористая структура содержит более 25% пустот, заполненных воздухом;

поризованные легкие бетоны на основе вяжущего вещества, лёгкого заполнителя и порообразователя, в структуре которых возникают дополнительно воздушные ячейки. К поризованным легким бетонам относят бетоны, содержащие более 800 л/м³ легкого крупного заполнителя, у которых объем воздушных пор составляет 5...25%. Поризацию таких бетонов осуществляют либо предварительно приготовленной пеной, либо за счет введения газообразующих или воздухововлекающих добавок.

По назначению легкие бетоны на пористых заполнителях разделяют на следующие виды:

теплоизоляционные легкие бетоны — средней плотностью в воздушно-сухом состоянии менее 500 кг/м³, коэффициентом теплопроводности не более 0,25 Вт/(м·°С), применяемые для изготовления теплоизоляционных изделий;

конструктивно-теплоизоляционные легкие бетоны со средней плотностью 500...1400 кг/м³, прочностью не ниже М35, коэффициентом теплопроводности не более 0,6 Вт/(м·°С), используемые в несущих и самонесущих ограждающих конструкциях;

конструкционные легкие бетоны — средней плотностью 1400...1800 кг/см³, прочностью не ниже М50, морозостойкостью F15 и выше, применяемые в несущих конструкциях.

Ячеистый бетон — это легкий бетон с большим количеством (до 85% от общего объема бетона) мелких и средних воздушных ячеек размером до 1... 3 мм.

Ячеистые бетоны должны иметь следующие классы по прочности на сжатие: В0,35; В0,5; В0,75; В1,0; В1,5; В2,0; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В17,5; В20.

По средней плотности марки ячеистого бетона регламентируются как D200; D250; D300; D350; D400; D450; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200.

Коэффициент теплопроводности ячеистого бетона λ_0 , Вт/(м·°С) в сухом состоянии составляет 0,05...0,28, для D200 ...D1200 соответственно,

коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па) в зависимости от марки по средней плотности 0,1...0,3.

В зависимости от назначения ячеистые бетоны подразделяются на:

— *теплоизоляционный*: класса по прочности на сжатие не ниже В0,35, марки по средней плотности — не выше D400;

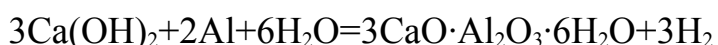
— *конструктивно-теплоизоляционный*: класса по прочности на сжатие не ниже В1,5, марки по средней плотности — не выше D700;

— *конструкционный*: класса по прочности на сжатие не ниже В3,5, марки по средней плотности — D700 и выше.

Различают пенобетон и газобетон, отличающиеся по способу получения ячеистой структуры.

Газобетон — это один из видов ячеистых бетонов, представляющий собой искусственный камень с равномерно распределёнными по всему объёму сферическими порами диаметром 1-3 мм.

Основными компонентами этого материала являются цемент, кварцевый песок, также возможно добавление гипса и извести. Крупный заполнитель в нем отсутствует. В качестве газообразователя вводится тонкодисперсный алюминиевый порошок. Вступая в химическую реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, алюминий способствует выделению молекул водорода:



Выделяющийся водород вспучивает цементное тесто. Ячеистое цементное тесто затвердевает. Для ускорения процесса вспучивания к портландцементу добавляют примерно 10% извести-пушонки от его массы. Процесс газообразования продолжается примерно 15...20 мин. После первичного затвердевания разрезается на блоки, плиты и панели. После этого изделия подвергаются автоклавной обработке при температуре 170...190°C и давлении до 10 МПа.

Пенобетон готовят смешиванием цементного теста или раствора с использованием цемента не ниже М400, с отдельно приготовленной устойчивой пеной. После затвердения пенобетонной смеси образуется бетон ячеистой

структуры. Пену готовят путем перемешивания пенообразователя с водой. В качестве пенообразователя применяют жидкие смеси канифольного мыла и животного клея или водного раствора сапонины (вытяжки из растительного мыльного корня), а также препарат ГК (гидролизованная кровь с боен). Полученная пена смешивается с цементным тестом или раствором и разливается в металлические формы. После окончания твердения пенобетон разрезается на блоки.

В силикатном бетоне автоклавного твердения в качестве вяжущих применяют:

- известково кремнеземистые, состоящие из тонкомолотых извести и песка;
- шлаковые, состоящие из металлургического, фосфорного или топливного шлака и извести;
- известково-золевые, состоящие из тонкомолотых извести и топливных зол;
- известково-аглопоритовые и др., состоящие из извести и отходов производства искусственных пористых заполнителей;
- известково-белитовые, состоящие из тонкомолотых продуктов низкотемпературного обжига известково-кремнеземистой шихты и песка или белитового (нефелинового) шлака и песка.

Твердение силикатных бетонов происходит в процессе автоклавной обработки в результате химического взаимодействия компонентов вяжущего с образованием силикатов кальция.

В качестве мелкого заполнителя силикатного бетона применяют природные и дробленые пески, средней насыпной плотностью не менее 1300 кг/м³;

содержание зерен размером 5...10 мм не более 25%;

содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц размером менее 0,05 мм не более 3%;

В качестве крупного заполнителя применяют щебень из плотных горных пород, щебень из гравия или доменного, фосфорного и других видов шлака

размером зерен не более 20 мм, искусственный безобжиговый силикатный гравий, а также пористые заполнители.

Для регулирования свойств вяжущего, бетонной смеси и бетона применяют следующие добавки: гипсовый камень триэтанолламин кремнийорганические жидкости

Для армирования сборных деталей из плотного силикатного бетона применяют арматуру и закладные детали в соответствии с СНиП 11 .203.01 и ГОСТ 10922. 152

Железобетон — строительный композиционный материал, представляющий собой залитую бетоном стальную арматуру. Патентован в 1867 году Жозефом Монье как материал для изготовления кадок для растений. Монолитные железобетонные конструкции, выполняемые непосредственно на строительных площадках, обычно применяются в зданиях и сооружениях, трудно поддающихся членению, при нестандартности и малой повторяемости элементов и при особенно больших нагрузках (фундаменты, каркасы и перекрытия многоэтажных промышленных зданий, гидротехнические, мелиоративные, транспортные. сооружения). В ряде случаев они целесообразны при выполнении работ индустриальными методами с использованием инвентарных опалубок — скользящей, переставной и передвижной .

Сборные железобетонные конструкции и изделия — основной вид конструкций и изделий, применяемых в различных отраслях строительства: жилищно-гражданском, промышленном. Сборные конструкции имеют существенные преимущества перед монолитными, они создают широкие возможности для индустриализации строительства: применение крупноразмерных железобетонных элементов позволяет основную часть работ по возведению зданий и сооружений перенести со строительной площадки на завод с высокоорганизованным технологическим процессом производства. Это значительно сокращает сроки строительства, обеспечивает более высокое качество изделий при наименьшей их стоимости и затратах труда; использование сборных железобетонных конструкций позволяет широко

применять новые эффективные материалы (лёгкие и ячеистые бетоны, пластмассы и др.), уменьшает расход лесоматериалов и стали, необходимых в др. отраслях народного хозяйства. Сборные конструкции и изделия должны быть технологичны и транспортабельны; они особенно выгодны при минимальном количестве типоразмеров элементов, повторяющихся много раз.

Армирование включает подготовку арматуры, предварительное изготовление арматурных каркасов и установку арматуры в конструкцию. Основой для выполнения работ и расчетов является арматурный чертеж. Он включает, как правило, изображение арматуры в конструкции, план изгибов или выборку стали и спецификацию арматуры. Для изображения арматуры выбирается упрощенная форма. Арматурный чертеж, кроме того, дает сведения о классе прочности бетона, сорте стали, количестве и диаметре, а также форме и положении арматурной стали, минимальных размерах изгибных роликов, поддержке верхней арматуры и о защитном слое бетона стальных закладных деталей. Чертежи арматуры контролируются и проверяются инженерами-контролерами. Поэтому такой арматурный чертеж должен быть на строительной площадке все время при проведении арматурных работ.

Асфальтовый бетон (асфальтобетон) — искусственный строительный материал, получаемый в результате отвердевания уплотненной асфальтобетонной массы, состоящей из рационально подобранных по качеству и количеству и тщательно перемешанных компонентов: щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Асфальтобетон без крупного заполнителя (щебня) называют песчаным асфальтом или асфальтовым раствором.

Асфальтобетоны и растворы являются разновидностями искусственных строительных конгломератов, относятся к группе безобжиговых материалов, получаемых на основе органических вяжущих веществ. Они являются важнейшими материалами для устройства дорожных и аэродромных покрытий, ирригационных каналов, плоских кровель, гидротехнических сооружений, штучных изделий.

Асфальтобетоны классифицируют: -по виду крупного заполнителя; -по вязкости битумов; -по размеру зерен щебня или гравия; -по структурным параметрам; -по назначению.

В зависимости от вида крупного заполнителя асфальтобетоны разделяют на *щебеночные*, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума; *гравийные*, в состав которых входят гравий, песок или гравийно-песчаный материал, минеральный порошок и битум; *песчаные* асфальтобетоны, в которых отсутствует крупный заполнитель (щебень или гравий).

По вязкости применяемого битума и по температуре укладки асфальтобетонной массы в конструктивный слой они подразделяются на *горячие* укладываемые при температуре не ниже 120°C; *теплые*, получаемые на основе вязких, но более мягких битумов или жидких битумов. Их укладывают в дорожные покрытия при температуре не ниже 70°C; *холодные*, приготавливаемые на жидких битумах марок МГ, СГ или битумных эмульсиях и укладываемые при температуре окружающего воздуха, но не ниже 5°C.

По наибольшему размеру зерен щебня или гравия горячие и теплые асфальтобетоны разделяют на *крупнозернистые*, наибольший размер зерен до 40 мм; *мелкозернистые*, до 20 мм; *песчаные*, с наибольшим размером зерен до 5 мм. Холодные асфальтобетоны могут быть только мелкозернистыми или песчаными. Горячие и теплые асфальтобетоны в зависимости от использования их в дорожной конструкции разделяют на *плотные*, для верхних слоев покрытия дорог с остаточной пористостью от 2 до 7%, *пористые*, для нижнего слоя и оснований дорожных покрытий, с остаточной пористостью от 7 до 12% по массе, *высокопористые*, с пористостью 12 ... 18%.

Плотные дорожные асфальтобетоны {горячие и холодные) в зависимости от количественного содержания в них крупного или мелкого заполнителя подразделяют на пять типов: А, Б, В, Г, Д. Так, например, тип А содержит 50 ... 65% щебня; тип Б 35 ... 50% щебня или гравия; тип В 20 ... 35% щебня или гравия. Кроме того, плотные горячие и теплые асфальтобетоны подразделяют на три марки — I, II, III в зависимости от качественных показателей.

По производственному назначению различают асфальтобетоны *дорожные, аэродромные, гидротехнические, для плоской кровли и полов*. По технологическим признакам асфальтобетонной массы в процессе ее укладки и уплотнения асфальтобетоны и растворы разделяют на *жесткие, пластичные и литые*. Для уплотнения жестких и пластичных масс применяют тяжелые и средние катки. Литую асфальтобетонную массу часто уплотняют специальными валками, легким катком или вовсе не уплотняют.

По виду смолы *полимербетоны* разделяют на фурановые, эпоксидные, полиэфирные, феноло-формальдегидные. Кроме того, известны полимербетоны, получаемые на основе карбамидных, полиуретановых и других смол. В современной практике для получения полимербетонов применяются и комбинированные полимерные связующие, состоящие из двух или нескольких видов смол, с добавлением пластификаторов и других модифицирующих

веществ.

Для приготовления полимербетонов используют синтетические смолы (ненасыщенную полиэфирную смолу ПН-1, фурано-эпоксидную смолу ФАЭД), отвердители синтетических смол (гипериз ГП, полиэтиленполиамин ПЭПА), крупный заполнитель (кислотостойкие щебень или гравий), в качестве мелких заполнителей кварцевые пески, в качестве наполнителя андезитовую муку, кварцевую муку. Наполнители и заполнители должны быть сухими с остаточной влажностью не более 1 %. В среднем полимербетон включает: щебень гранитный 50%, песок кварцевый 20...25%, наполнитель 10...15%, синтетическая смола 10...13%, отвердитель 0,5...1% по массе.

Полимербетон позволяет *имитировать различные натуральные камни*, создавать всевозможные цветовые и фактурные композиции. Изделия из полимербетона отличаются красивым внешним видом, относительной химической и атмосферной стойкостью, низкой теплопроводностью и относительной долговечностью, определяемой скоростью старения полимерного вяжущего. Достаточно легко создаются изделия с любой геометрией.

ЛЕКЦИЯ 7 Полимерные материалы

Получение полимеров

Термин *полимеры* (*polymeros*) впервые использован Берцелиусом в 1833 г.

Полимер - вещество молекулы которого состоят из отдельных звеньев — мономеров, представляющих собой повторяющиеся группы атомов. *Мономеры* в составе полимеров могут быть одинаковые, различные, закономерно чередующиеся. Соответственно, полимеры будут называться *гомополимерами*, *сополимерами*, *блокосополимерами*.

Полимеры могут быть получены несколькими способами в зависимости от их природы, химического состава:

Полимеризация — процесс соединения молекул мономеров без выделения побочных продуктов реакции, изменения химического состава вещества. В процессе полимеризации вещество может переходить из газообразного или жидкого состояния в состояние весьма густой жидкости или твердое. Полимеризация соединений с двойными связями (этилен $\text{CH}_2=\text{CH}_2$), как правило, протекает по цепному механизму, при этом отдельные звенья — мономеры последовательно присоединяются к цепочке увеличивая длину молекулы полимера. Для начала цепной реакции необходимо наличие первичных активных центров полимеризации — свободных радикалов или ионов.

Радикалы - это части молекулы, образующиеся при разрыве электронной пары и содержащие неспаренный электрон (например, метил $\text{CH}_3\cdot$, фенил $\text{C}_6\text{H}_5\cdot$, этил $\text{C}_2\text{H}_5\cdot$ и т. д.). Образование первоначальных радикалов и ионов может происходить под действием теплоты, света, различных ионизирующих излучений, специально вводимых катализаторов.

Поликонденсация — соединение одинаковых или различных молекул мономеров с выделением побочных, низкомолекулярных продуктов реакции, например, воды. Элементный состав полимера, образовавшегося в результате поликонденсации отличается от исходного.

Химические превращения формируют в полимерах новые структуры,

придающие полимеру новые свойства. Химические превращения протекают в термореактивных полимерах при их твердении, образование химических связей между отдельными молекулами полимера приводит к изменению его свойств.

классификация полимеров

Полимеры могут быть разделены на группы по большому числу признаков:
По молекулярной массе (ММ) и степени полимеризации n.

Количество химических звеньев в макромолекуле полимера определяет ее протяженность и называется степенью полимеризации n. Например, молекула полиэтилена $(-CH_2-CH_2-)_n$ состоит из n химических звеньев этилена $CH_2=CH_2$. Произведение молекулярной массы М мономера на степень полимеризации представляет собой молекулярную массу ММ макромолекулы. В зависимости от значений М и n молекулярная масса полимеров может изменяться в весьма широких пределах от $3 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^6$ единиц.

В зависимости от величины молекулярной массы макромолекул полимера условно различают: *олигомеры* - полимеры с $ММ < 540$, представляют собой низкомолекулярный продукт полимеризации или поликонденсации. Свойства олигомеров существенно зависят от молекулярной массы и, следовательно, от степени полимеризации.

Собственно полимеры имеют молекулярную массу $5 \cdot 10^3 < ММ < 5 \cdot 10^5$. К этой группе принадлежит абсолютное большинство разновидностей полимеров. Свойства полимеров от числа мономерных звеньев в цепи зависят значительно меньше, чем у олигомеров.

По происхождению полимеры делят на природные и синтетические, к природным относятся графит, каучук, асбест, целлюлоза, к синтетическим полиэтилен, полиамид.

По химическому составу полимеры делят на неорганические, органические, элементоорганические.

К *неорганическим* полимерам относят вещества, образованные углеродом

— графит, фуллерены; оксидами металлов - керамика, силикатное стекло, слюда, асбест. Для них характерна высокая плотность, теплостойкость, хрупкость. Физические, химические свойства неорганических полимеров, способы их получения существенно отличны от органических полимеров, поэтому рассматриваются отдельно.

Наибольшее значение имеют *органические* полимеры, молекулярная цепочка которых образована атомами углерода с присоединёнными атомами водорода. При введении в основную цепь атомов других химических элементов изменяются свойства полимера — кислород увеличивает гибкость, фтор — химическую стойкость, хлор — огнестойкость. В качестве боковых групп к углеродной цепочке присоединяются радикальные группы различного происхождения и в зависимости от этого существенно изменяются свойства полимера, его классификация.

В состав цепи *элементоорганических* полимеров входят неорганические атомы кремния, титана, алюминия, других элементов. К атомам основной цепочки присоединяются боковые радикальные группы. К этому классу относят полимеры более теплостойкие чем органические, но менее эластичные и упругие.

По *структуре молекул* полимеры делят на линейные или цепевидные, разветвлённые, ленточные или лестничные, сетчатые или пространственные

По *фазовому составу* полимеры делят на аморфные и кристаллические.

В *аморфных* полимерах макромолекулы образуют пачки, в которых возможно проскальзывание молекул друг относительно друга. При относительно малых механических нагрузках происходит вытягивание молекул по направлению деформации, что проявляется как упругость полимера, повышение нагрузки вызывает проскальзывание молекул и необратимую деформацию. Аморфные полимеры эластичны но менее прочны.

Кристаллические полимеры отличаются регулярностью расположения молекул, что может приводить к образованию пространственных решёток, характерных для кристаллов, повышается твёрдость прочность, но

одновременно проявляется хрупкость.

В полимерах обычно присутствует как аморфная так и кристаллическая фаза, увеличение доли кристаллической фазы приводит к повышению прочности, теплостойкости. Отношение объёма, занимаемого кристаллической фазой к объёму полимера называют *степенью кристалличности* и измеряют в процентах.

По поведению при нагреве полимеры делят на *термопластичные* (термопласты) и *терморезистивные* (реактопласты). Термопластичные полимеры при нагреве постепенно переходят в пластичное и вязкотекучее состояние, а при охлаждении происходит обратный процесс. Это позволяет, в частности, вторично использовать такие полимеры.

Терморезистивные полимеры при нагреве, либо при добавлении веществ, катализаторов реакции, необратимо затвердевают благодаря сшивке макромолекул химическими связями и образованию сетчатой структуры полимера.

В зависимости от температуры полимеры могут находиться в стеклообразном, высокоэластичном, вязкотекучем состоянии.

Стеклообразное состояние характеризуется колебательными движениями атомов, входящих в состав полимера, макромолекулы полимера не соприкасаются друг с другом. Это состояние свойственно всем полимерам, а полимеры с пространственной (сетчатой) структурой могут находиться только в этом состоянии. Для стеклообразного состояния полимера характерна только упругая деформация. Переход из высокоэластического состояния в стеклообразное происходит в некотором диапазоне температур, центр которого называют температурой стеклования T_g . В зависимости от метода определения температура стеклования может значительно изменяться. При повышении температуры стеклования повышается температура эксплуатации аморфного материала.

Высокоэластичное состояние характеризуется возможностью деформации за счёт изгибов макромолекул полимера. Полимер в высокоэластичном

состоянии способен к большим обратимым деформациям, достигающим сотен и более процентов. При повышении температуры полимер переходит из высокоэластичного состояния в вязкотекучее. Температура такого перехода называется температурой текучести T_T . Выше температуры текучести в полимере проявляются необратимые деформации вязкого течения. Такое состояние возможно для линейных, разветвлённых, редкосетчатых (резины) полимеров.

Вязкотекучее состояние (жидкое) наблюдается при нагревании термопластичных полимеров. При нагревании аморфного материала обычно визуально наблюдается нефазовый переход, напоминающий процесс плавления для кристаллизующихся термопластов. Температуру такого перехода условно называют температурой плавления аморфного материала. При нагревании кристаллическая фаза плавится. Температура этого фазового перехода называется температурой плавления $T_{пл}$. Свойства кристаллизующихся полимеров зависят от содержания кристаллической фазы и от того, в каком физическом состоянии (стеклообразном или высокоэластическом) находится при температуре эксплуатации аморфная фаза.

К положительным свойствам полимеров относят низкую плотность, прозрачность, коррозионную стойкость, химическую стойкость, диэлектрические свойства, теплостойкость, эластичность, термостойкость, прочность, декоративность и т.п., характерные полимерам различных групп.

Существенным недостатком полимеров, в первую очередь органических, является склонность к *старению* — процессу необратимого разрушения макромолекул полимера под действием внешних факторов среды. При старении часть полимеров размягчается, часть увеличивает твёрдость и хрупкость, в объёме полимера возникают микротрещины. Основными факторами вызывающими старение являются воздействие повышенных температур, воздействие излучений, в первую очередь ультрафиолетового излучения солнца, воздействие озона, в малых концентрациях практически всегда присутствующего в воздухе. Вторым отрицательным свойством полимеров

является различие в восприятии кратковременных и длительных нагрузок. Длительное воздействие относительно малых нагрузок может приводить к необратимым деформациям (хладотекучесть, ползучесть) и разрушению.

Как правило, полимер в изделиях не используется в чистом виде, а содержит различные добавки — пластификаторы, красители, различные наполнители, служащие для модификации свойств исходного полимера, повышения прочности, устойчивости к старению, удешевлению и т.п.; создаются полимерные композиции, состоящие из нескольких полимеров, служащие основой клеев, пластмасс, композиционных материалов.

Термопластичные полимеры

К термопластичным полимерам или термопластам относятся полимеры, которые при нагревании в процессе переработки переходят из твердого агрегатного состояния в жидкое: высокоэластическое или вязкотекучее. При охлаждении материала происходит обратный переход в твердое состояние. Эта способность делает их весьма технологичными при производстве различных материалов и изделий; при монтаже изделий возможно соединение деталей за счёт частичного плавления (сварка). В зависимости от степени кристалличности свойства термопластов могут существенно различаться — материалы с высокой степенью кристалличности отличаются твёрдостью и упругостью, в то же время среди термопластов выделяют особую группу термопластичных *эластомеров* или *термоэластопластов* (ТРЕ), которые по технологическим свойствам являются обычными термопластами, а по эксплуатационным подобны каучукам и резинам, т.е. способны к большим обратимым деформациям, в частности к эластомерам относят полиуретаны. Свойства некоторых распространённых термопластов приведены в табл. 9.1.

Полиамиды (плотность 1,12...1,16 г/см³) — полимеры известные под торговыми названиями нейлон, капрон и др. Эти полимеры отличаются высокой механической прочностью (50...100 МПа), для волокон из полиамидов за счёт ориентированного расположения молекул прочность достигает 600 МПа.

Полиамиды устойчивы к спиртам, бензину, щелочам, рабочая температура составляет 60...110 °С. Полиамиды отличает высокая ударная вязкость, демпфирующие свойства, низкий коэффициент трения. Недостатком является гигроскопичность, старение за счёт окисления. Применяются для изготовления деталей машин-зубчатых колёс, подшипников, трубопроводов, волокон, канатов, для антикоррозионных и антифрикционных покрытий металлов.

Поливинилхлорид $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$ (плотность 1,4 г/см³) имеет прочность 40-60 МПа, отличается хорошей химической стойкостью, трудносгораемостью, устойчивостью в атмосферных условиях. Известны разновидности -*Винипласт*-материал для производства труб, ёмкостей для хранения и переработки агрессивных жидкостей, используется в качестве защитного покрытия металлов. Пластмассы на основе *жёсткого поливинилхлорида* с различными наполнителями(оксиды титана, цинка, кадмия и т.п.), используются как материал для изготовления ограждающих конструкций — оконных рам, декоративных стеновых материалов (виниловый сайдинг). *Пластикат*, разновидность поливинилхлорида, получают пластификацией смеси компонентов, в состав которой входят пластификатор, термостабилизаторы и светостабилизаторы, антиоксиданты, смазки. Также могут добавляться пигменты, а иногда наполнители. Пластикат характеризуется атмосферостойкостью, влагонепроницаемостью, бензостойкостью, маслостойкостью, огнестойкостью. Материал химически стоек к действию кислот и щелочей. Его температурный диапазон эксплуатации от -15 °С до +70 °С. Материал применяется для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей, изготовления эластичных профилей, лент, трубок, шлангов, втулок, мембран. Листовые пластикаты применяют для химической защиты полов, стен химических объектов, для антикоррозийной защиты металлических конструкций. Из армированного синтетической тканью пластиката изготавливают тентовые материалы находящие широкое применение в пневматических и каркасно тентовых конструкциях в строительстве. используется в производстве плёнок, линолеума, труб, прокладок, ёмкостей

различного назначения. Недостатком поливинилхлорида является низкая длительная прочность (под длительным механическим воздействием происходит необратимая деформация и разрушение), низкая длительная термостойкость. Кроме того, в процессе эксплуатации изделий наблюдается выделение винила (мономер) что ограничивает возможности использования, например для пищевой упаковки, а при термическом разложении возможно образование диоксинов.

Полипропилен (плотность 0,9...0,92 г/см³). Обладает достаточно высокой механической прочностью, 25 МПа, температурный диапазон эксплуатации от -15 до +150 °С. Отличается химической стойкостью. Из полипропилена изготавливают плёнки, волокна, в том числе для армирования бетонов, ткани, трубы, ёмкости, конструкционные детали.

Полиэтилен в зависимости от метода изготовления получают *низкой плотности* (0,918...0,93 г/см³), степень кристалличности 55...65%, либо *высокой плотности* (0,949...0,96), степень кристалличности 75...95%. предел прочности полиэтилена составляет 8,5...45 МПа. Температурный интервал эксплуатации -70 +100°С. Повышение степени кристалличности увеличивает теплостойкость и механическую прочность. Химически стоек. Простота получения и химическая стойкость позволяют наиболее широко использовать в производстве плёнок, изоляции проводов и кабелей, покрытий металлов, труб, ёмкостей, деталей конструкций. Введение в состав полиэтилена 2...3% сажи повышает устойчивость к старению, что позволяет повысить срок эксплуатации труб до 30...50 лет. Служит основой для современных композитных строительных материалов — армированных стекловолокном труб, строительных конструкций из пластика наполненного древесной мукой (50%), например «верандная доска», кровельных плиток с различными армирующими наполнителями.

Полистирол [-CH₂-CH(C₆H₅)-] n (плотность 1,05...1,1 г/см³), твёрдый, жёсткий, прозрачный, аморфный полимер продукт полимеризации стирола

(винилбензола). Предел прочности при растяжении 35...40 МПа, может эксплуатироваться в интервале температур -20+70°C. Стоек к слабым кислотам, щелочам, спиртам, не растворяется в маслах и бензине. Растворим в бензоле. Высокая прочность, прозрачность, технологичность, привели к широкому использованию полистирола для изготовления мелких деталей, изделий, в том числе для пищевой посуды (ручки, стаканы, корпуса приборов, детали автомобилей).

Ударопрочным полистиролом называют сополимер стирола, в который для снижения хрупкости введено до 8% каучука. Он имеет высокую ударную вязкость. Тройной сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола известен как АБС-пластик. Он отличается высокой ударной вязкостью, термостабилен, практически водонепроницаем, легко перерабатывается в готовые изделия. Из полистирола изготавливают предметы бытовой техники и домашнего обихода, упаковки, пленки. Из ударопрочного полистирола и АБС-пластика изготавливают корпуса и отдельные детали бытовой техники, автомобилей, мебель, трубы.

Полиэфир (Лавсан) полимер плотностью 1,12 г/см³, кристаллический полимер, при быстром охлаждении может стать аморфным. Предел прочности относительно мал, 17,5МПа, химически стоек, сохраняет работоспособность до -70°C. Используется для изготовления плёнок, волокон, тканей, а так же мелких деталей машин.

Фторопласт 4 (плотность 2,15...2,35 г/см³), содержит аморфную и кристаллическую фазы, предел прочности 15...35 МПа. Главное свойство — исключительно высокая термостойкость -269 +250°C. Фторопласт химически стоек, имеет низкий коэффициент трения, не смачивается водой, что определяет область применения — химически стойкие детали, покрытия, подшипники. Недостатками, ограничивающими применение являются трудность переработки, хладотекучесть (изменение формы под нагрузкой), выделение фтора при повышении температуры.

Поликарбонат - линейные полиэфиры угольной кислоты и

двухатомных фенолов общей формулы $(-O-R-O-CO-)n$. Обладают высокой жесткостью и прочностью в сочетании с очень высокой стойкостью к ударным воздействиям в том числе при повышенной и пониженной температуре. Поликарбонаты оптически прозрачны, морозостойки, интервал температур длительной эксплуатации: от -100 до 115°C . Поликарбонаты самозатухают, растворяются в большинстве органических растворителей, устойчивы к действию кислот, растворов солей, окислителей. Не стойки к действию УФ-излучения (падает ударная прочность, относительное удлинение, прозрачность), к длительному воздействию горячей воды. Сочетание высокой механической прочности, ударной вязкости, прозрачности, привели к широкому использованию в светопрозрачных строительных конструкциях, в том числе в сельском хозяйстве в культивационных сооружениях. Ограничением служит потеря прозрачности под действием УФ излучения в течение 5...7 лет.

Полиуретаны — класс синтетических эластомеров; полиуретаны широко применяются в промышленности как эффективные заменители резины, превосходя последнюю по прочности и набору своих характеристик в 5...7 раз. Полиуретаны предназначены для изготовления деталей, работающих в агрессивных средах- воды, бензина, масел, кислот, в условиях больших знакопеременных нагрузок. Рабочая температура для большинства полиуретанов от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Допустим кратковременный нагрев до 120°C сравнительные свойства полиуретанов резин приведены в табл 9.2.

Терморреактивные полимеры.

Терморреактивные полимеры или *реактопласты* (РП) - пластические массы на основе жидких или твердых, способных при нагревании переходить в вязко текучее состояние олигомеров (смола), превращающихся в процессе отверждения при повышенной температуре и (или) в присутствии отвердителей в сетчатые стеклообразные полимеры, необратимо теряющие способность переходить в вязко текучее состояние. Это делает свойства данной группы

полимеров более стабильными в процессе эксплуатации. РП служат основой различных композиций, в зависимости от преобладающих компонент, назначения, называемых пластмассами, композитными материалами, полимербетонами, такими материалами на основе смол и древесины как ДСП, ДВП, фанера. Некоторая часть термореактивных смол используется в качестве клеевых композиций, позволяющих надёжно соединять самые различные материалы, такие как металл, камень, стекло, или используется для устройства наливных полов.

Существует несколько групп реактопластов, свойства которых в пределах группы могут весьма сильно варьировать в зависимости от компонентов использованных при синтезе, условий синтеза, использования модифицирующих добавок. В качестве наиболее распространённых можно выделить фенолформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические.

Фенолформальдегидные смолы - являются жидкими или твёрдыми олигомерными продуктами поликонденсации фенола с формальдегидом в щелочной или кислой среде. Возможна частичная замена фенола другими веществами (анилин и др.) и частичная или полная замена формальдегида другими альдегидами (фурфурол и др). Получаются смолы двух типов - новолачные и резольные.

Новолачные смолы сохраняют способность плавиться и растворяться после многократного нагревания до температуры, принятой при прессовании изделий из фенопластов (т. е. относятся к термопластам).

Резольные смолы при повышенной температуре, а при длительном хранении даже при обычной температуре переходят в неплавкое и нерастворимое состояние.

При отвержении фенолформальдегидных смол происходит сшивка олигомерных фрагментов смолы с участием содержащегося в ней свободного фенола, при этом содержание фенола, в фенопласте, снижается до следовых

количеств. Используются в производстве наиболее распространённых пластмасс - текстолит, гетинакс, порошковые пластики, служит связующим в производстве плитных материалов на основе древесины, служит основой лаков (бакелит), клеев.

Эпоксидные смолы, олигомеры, содержащие в молекуле одну или более

глицидиловых  либо эпоксидных  групп; способны под

действием отвердителя превращаться в сшитые (сетчатые) полимеры.

Эпоксидные смолы стойки к действию галогенов, некоторых кислот (к сильным кислотам, особенно к кислотам-окислителям, имеют слабую устойчивость), щелочей, обладают высокой адгезией к металлам. Отвердителем может быть полифункциональный амин (полиэтилен полиамин - ПЭПА) или ангидрид, иногда кислоты. Эпоксидные смолы применяют в качестве основы пластмасс, клеевых композиций, лаков. Ограничивает применение относительная дороговизна, токсичность собственно смолы и сохранение частично не прореагировавших токсичных компонент после отверждения.

Полиэфирные смолы - сложные полиэфиры, способные в результате отверждения превращаться в неплавкие и нерастворимые полимеры.

Распространены полиэфирные смолы на основе этиленгликоль-кольмалеинатов и полиалкиленгликольфумаратов и ненасыщенных мономеров-стирола, метилметакрилата. Отверждение полиэфиров происходит в присутствии 0,5-3% пероксидных инициаторов полимеризации при 80-160 °С, в сочетании с 0,05-8% ускорителей (диэтиланилин, тиомочевина) реакция протекает при комнатной температуре.

Отвержденные полиэфирные смолы-прочные, химически стойкие, не устойчивы к щелочам. Обладают хорошей адгезией к различным материалам. Широко применяются в изготовлении пластмасс, композитных материалов, по прочности и термостойкости уступают эпоксидным, однако более технологичны, что привело к их более широкому использованию.

Кремнийорганические смолы - силиконы имеют строение в виде основной

неорганической кремний-кислородной (силоксановой) цепи (...-Si-O-Si-O-Si-O-...) с присоединёнными к атомам кремния боковыми органическими группами. В некоторых случаях боковые органические группы могут соединять вместе две или более кремнийорганических цепей. Варьируя длину основной кремнийорганической цепи, боковые группы и перекрёстные связи, синтезируют силиконы с разными свойствами.

Силиконы делятся на три группы, в зависимости от молекулярного веса, степени сшивки, вида и количества органических групп у атомов кремния:

1.«Силиконовые жидкости» — менее 3000 силоксановых звеньев.

2.«Силиконовые эластомеры» — от 3000 до 10000 силоксановых звеньев.

3.«Силиконовые смолы» — более 10000 силоксановых звеньев и высокая степень сшивки.

При отверждении смол получается сетчатый полимер, существенно превосходящий прочие термореактивные полимеры по термостойкости.

Пластмассы.

Пластмасса, пластик — материал, основой в котором служит полимер или композиция из нескольких полимеров. К полимеру добавляется целый ряд веществ, материалов: наполнитель, пластификатор, стабилизатор, пигмент и т. п. Свойства пластмасс могут варьировать в широких пределах в зависимости от использованного полимера — основы, количества и состава модифицирующих добавок, типа, количества, распределения в объёме материала наполнителя. Могут быть получены эластомеры, проявляющие эластичность и упругость, сверхпрочные материалы, конкурирующие по прочности со сталью, сохраняющие прочность в широком диапазоне температур.

Ненаполненные РП сравнительно редко используют как самостоятельные материалы из-за высоких объемных усадок при отверждении смол и возникающих вследствие этого больших усадочных напряжений. Из ненаполненных РП наибольшее распространение получили *Газонаполненные*

Пластики — Пенопласты — пластмассы, вспененные при помощи порообразователей. Наполнителем в таких пластиках является газ. Газонаполненные пластики условно делятся на пенопласты и поропласты. Первые содержат преимущественно замкнутые, вторые — сообщающиеся поры, при этом в реальных газонаполненных пластиках всегда имеются и сообщающиеся, и замкнутые ячейки. Особый вид газонаполненных пластиков - синтактические пены и интегральные пены, которые представляют собой многослойный материал с монолитными наружными слоями и ячеистым внутренним слоем. Свойства некоторых пенопластов показаны в табл 9.4.

Таблица 9.4

Свойства газонаполненных пластиков - пенопластов

Пластмассы	Плотность кг/м ³	Нормативное сопротивление растяжению R _{нр} , кг/см ²	Нормативное сопротивление сжатию R _{нс} , кг/см ²	Модуль упругости E, кг/мм ²
Полистирольный ПСБ (ТУ 50-64)	20	0.7	0.7	70
Полистирольный ПСБ (ТУ 50-64)	40	1.5	1.5	120
Полихлорвиниловы й марки ПХВ-1 (СТУ 9-90-61)	100	16	7.5	600
Фенольные пенопласты марок ФРП-1, ФЛ-1	60	1.2	1.6	100

Механические свойства пенопластов зависят от химической природы полимеров, составляющих их основу, плотности, от ячеистой структуры и способа изготовления. Чем выше прочность исходного полимера, тем более высокие показатели имеет пенопласт. С повышением плотности прочность и жесткость пенопластов, как правило, возрастает. Однородность, регулярность ячеистой структуры, свободной от случайных пустот и пор, является

необходимым условием для получения конструкционных пенопластов. Степень замкнутости ячеистой структуры обуславливает показатели деформативности, влаго- и водопоглощения и теплоизоляционные характеристики пенопластов. Пенопласты на основе полистирола и поливинилхлорида имеют закрыто ячеистую структуру. Для фенольных пенопластов характерна открыто ячеистая структура. Для всех видов пенопластов характерно значительное изменение прочностных и деформационных свойств в зависимости от времени.

По свойствам к пенопластам приближаются *сотопласты*, в которых наполнитель из бумаги, картона имеет вид пчелиных сот с расстоянием между параллельными сторонами шестигранника ячейки сот, равным 12 мм. Объемный вес и прочностные характеристики сотопластов, а также другие их свойства зависят от материала сот, размеров ячейки, вида и количества пропитывающей смолы.

Свойства пластиков, содержащих значительные количества наполнителей, существенно зависят от вида и количества наполнителя. По виду наполнитель может быть — нольмерный (порошки), одномерный (волокна), двумерный (листовые материалы) и служит основой классификации пластмасс наряду с видом полимера. Наполнитель выполняет множество функций - удешевляет, изменяет эксплуатационные свойства, активный наполнитель (газовая сажа) снижает склонность полимеров к старению. Пластификатор облегчает переработку материала, стабилизатор снижает склонность к изменению свойств во времени. Свойства основных видов пластмасс приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5.

Механические свойства некоторых пластмасс

Материал	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Максимальная температура эксплуатации, °С
Порошковая пластмасса	30-60	1-3	0,5-5	100-200
Волокнит	30-90	1-3	10-20	120-140
Гетинакс	60-70	-	4-5	120

Текстолит	65-100	1-3	20-35	90-105
Стеклотекстолит	200-600	1-3	50-200	200-400

В *порошковых пластмассах* (плотность 1,4...1,5 г/см³), наполнителями служат органические порошки (древесная мука, целлюлоза, акрил) и неорганические порошки (графит, тальк, молотый кварц оксиды металлов и др.). Дешевизна наполнителя позволяет получать изделия с удовлетворительной прочностью, теплостойкостью, но довольно хрупкие, в случае использования термореактивных смол (наиболее часто фенол формальдегидной) что ограничивает возможности применения в основном не ответственными изделиями самого различного назначения. В то же время на основе термопластов получают армированные порошками материалы для строительных конструкций — жёсткий поливинилхлорид, пластики на основе полиэтилена.

Волокниты — пластмассы, армированные волокнами различного происхождения. При использовании льняного, хлопкового очёса, по своим свойствам мало отличаются от порошковых пластмасс, пригодны для изготовления мелких, неответственных деталей. *Асбестоволокниты* (плотность 1,95 г/см³), армируются волокнами асбеста, что повышает теплостойкость волокнита до 200°С, фрикционные свойства, химическую стойкость. Это позволяет использовать данный материал для изготовления тормозных колодок различных механизмов и машин. *Стекловолокниты* (плотность 1,7...1,9 г/см³) — материал на основе высокопрочных стеклянных волокон и полимерного связующего -эпоксидных, полиэфирных, фенол формальдегидных смол и их композиций, отличаются высокой прочностью — предел прочности на разрыв 80...500 МПа (при армировании короткими волокнами, марки АГ-4В, ДСВ), способны длительно выдерживать нагрев до 280°С, кратковременно до 800°С.

При использовании длинных волокон получают волокниты АГ-4С, ВМ-1, и др. отличительная особенность которых — повышение прочности в направлении волокон свыше 1000 МПа. Это позволяет применять

стекловолокниты для изготовления деталей машин, использовать в электротехнике.

В последнее время развивается производство пултрузионных профилей на основе волокнитов. *Пултрузия* — процесс получения профилей из волокна пропитанного термореактивной смолой, путём вытягивания через нагретую до 100...150°C матрицу, отверстие в которой повторяет форму профиля. Так получают композитную арматуру, допущенную для армирования бетона в малоэтажном и дорожном строительстве. Возможно получение труб, балок, оконных профилей, по теплотехническим свойствам близких к деревянным, мачт уличного освещения, отличающихся от стальных, железобетонных, нечувствительностью к солевой коррозии, низким коэффициентом теплопроводности, благодаря чему в строительных конструкциях не образуются «мостики холода». В процессе изготовления профилей используют стекловолокно (стеклопластик), базальтовое волокно, углеродное высокомодульное волокно (углепластик). В таблице 9.6 приведены свойства композитной арматуры в зависимости от использованного наполнителя.

Таблица 9.6

Свойства пластиковой арматуры

Технические характеристики	Арматура		
	Углепластиковая	Стеклопластиковая	Базальтовая
Прочность на растяжение, МПа	2000-3000	1000	1200
Плотность, кг/м ³	1600	2200	2200
Модуль упругости, ГПа	до 350	до 45	до 50
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×С)	от 1,0	до 1,0	до 1,0

Гетинаксы - слоистые пластики (1,3...1,45 г/см³) с наполнителем из листов бумаги и фенол формальдегидным связующим. Выпускаются электротехнические и декоративные гетинаксы. Предел прочности 80...100 МПа, теплостойкость до 150°C. Электротехнические используются как основа

для электрического монтажа, декоративные преимущественно служат для отделки современной дешевой корпусной мебели (более 90%), имитируя рисунок и фактуру природных материалов.

Текстолиты (1,3...1,4 г/см³) марок ПТК, ПТ, выпускаются на основе фенолформальдегидных смол с наполнителем из хлопчатобумажной ткани. Предел прочности 65...100МПа. Используются в электротехнике в качестве изолирующего материала, для изготовления зубчатых колёс, шкивов, вкладышей подшипников и др.

Стеклотекстолиты (плотность 1,4...1,9 г/см³) выпускаются на основе полиэфирных, эпоксидных смол, эпоксидно-фенольных и т.п. композиций с наполнителем из стеклянного холста. Высокие механические свойства (600 МПа). Способность длительно работать при температуре 200...300°С. Долговечность 30...50 лет, позволяет изготавливать силовые элементы различных конструкций, в том числе автомобилей, лодок, самолётов. Широко применяется в электротехнике как электроизолирующий материал.

Резиновые материалы

Резина - эластичный материал, образующийся в результате вулканизации натурального или синтетических каучуков. Представляет собой сетчатый эластомер-продукт поперечного сшивания молекул каучуков химическими связями. Свойства определяются как применяемым каучуком, так и ингредиентами резиновой смеси. *Вулканизация* заключается в нагреве подготовленной смеси компонентов до 100...160 °С и выдержки. Среднее время вулканизации составляет около 7 мин при 155°С. Вулканизирующие вещества (агенты) участвуют в образовании пространственно-сетчатой структуры резины. Обычно в качестве таких веществ применяют серу и селен, для некоторых каучуков используют перекиси. Для резины электротехнического назначения вместо элементарной серы (которая взаимодействует с медью) применяют органические сернистые соединения — тиурам (тиурамовые резины).

Главной особенностью резин является эластичность — способность к большим (500 ...800%), обратимым деформациям. Для резин характерен очень низкий модуль упругости $E=1-10$ МПа, что на 4...5 порядков ниже, чем для стали, поэтому резины легко деформируются при сравнительно малых напряжениях. Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) близок к 0,5. предел прочности резин до 60 МПа, трещины в резинах распространяются медленно, сопротивление раздиру (ГОСТ 262-93) изменяется от 20 до 150 кН/м. Свойства некоторых резин показаны в таблице 9.7.

Таблица 9.7

Механические свойства резин

Название резины	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Сопротивление раздиру, кН/м
Натуральная	20...30	300...1000	20...70
Изопреновая	20...30	300...800	20...150
Бутадиеновая	2...8	300...800	20...70
Бутадиен-стирольная	2...6	250...800	15...70
Бутиловая	3...20	200...800	20...80
Хлоропреновая	10...30	100...800	20...80
Этиленпропиленовая	2...7	100...800	20...60
Полиуретановая	20...50	200...800	30...130
Фторкаучуковая	3...7	100...450	15...60
Кремнийорганическая	1	100...800	10...45

По сравнению с каучуком резина прочнее, не растворяется в растворителях, а только набухает, не склонна к необратимым деформациям.

Упрочнение резин при растяжении обусловлено выпрямлением молекул каучука, ограничивающим возможность дальнейшей деформации, а так же кристаллизацией. При кристаллизации снижается эластичность резин, наиболее склонны к кристаллизации резины на основе натурального каучука, изопренового, хлоропренового каучуков. Резина общего назначения сохраняет свойства в диапазоне температур $-50 +150^{\circ}\text{C}$, для эксплуатации при более высоких или низких температурах используют специальные резины.

Твердость резин определяется количеством серы (или другого агента),

используемого при вулканизации. Когда количество серы в резиновой смеси превышает 5%, в результате вулканизации получается твердая резина. Резиновая смесь может содержать до 47 % серы, при этом получается твердый и жесткий продукт, называемый эбонитом, поскольку похож на эбеновое (черное) дерево.

Состав резин

Основу резин составляет *каучук* - натуральный (НК) — высокомолекулярный углеводород $(C_5H_8)_n$, цис- полимер изопрена или синтетические каучуки (СК) — большая группа полимерных материалов разнообразного строения и назначения. Каучуки относятся к эластомерам — высокомолекулярным соединениям, обладающим в определенном температурном интервале способностью к большим обратимым деформациям.

Ускорители и активаторы. Вещества, называемые ускорителями, при использовании вместе с серой уменьшают время вулканизации и улучшают физические свойства каучука. Ускорители могут быть неорганическими - свинцовые белила, свинцовый глет, известь и органическими. Они вводятся в смесь в количестве 0,5 - 1,0 % массы каучука. Большинство ускорителей проявляет свою эффективность в присутствии активаторов - окись цинка и стеариновая кислота.

Пластификаторы обычно используются для сокращения времени приготовления резиновой смеси и понижения температуры процесса. Типичными являются масла, воски, олеиновая и стеариновая кислоты, каменноугольная смола, битумы и дибутилфталат. Количество пластификаторов составляет 8...30 % массы каучука.

Наполнители - вещества добавляемые к каучуку для изменения эксплуатационных свойств резин. Для удешевления получаемых продуктов добавляют инертные наполнители. Вещества увеличивающие прочность и сопротивляемость износу, называются упрочняющими наполнителями (или активными, усиливающими наполнителями). Углеродная (газовая) сажа в тонко измельченной форме – наиболее распространенный активный наполнитель.

Например, протекторная резина автомобильной шины содержит приблизительно 45 % углеродной сажи от массы каучука. Широко используемыми наполнителями являются окись цинка, карбонат магния, кремнезем, карбонат кальция и некоторые глины. Часто в состав резиновой смеси вводят *регенерат* — продукт переработки старых резиновых изделий и отходов резинового производства, количество вводимого регенерата может достигать 30%.

Антиоксиданты. — сложные органические соединения, которые при концентрации 1...2 % препятствуют росту жесткости и хрупкости резины в результате старения. Действие антиоксидантов заключается в том, что они задерживают окисление каучука посредством окисления их самих или за счет разрушения образующихся перекисей каучука.

Пигменты. придают цвет резиновым изделиям. Оксиды цинка и титана применяются в качестве белых пигментов. Желтый хром, железистоокисный пигмент, сульфид сурьмы, ультрамарин и ламповая сажа используются для придания изделиям различных цветовых оттенков.

Главным отрицательным свойством резин является склонность к старению — разрушению с потерей свойств под действием озона воздуха, ультрафиолетового излучения солнца. В зависимости от склонности к старению выделяют группы:

стойкие резины — на основе этиленпропиленовых, кремнийорганических, фторкаучуков. Они нечувствительны к озону даже при увеличении концентрации до 0,1...1%. эффект старения проявляется через несколько лет эксплуатации изделий.

Умеренно стойкие резины на основе хлоропренового, бутилового каучуков старение наблюдается через несколько месяцев после изготовления.

Нестойкие резины — общего назначения, на основе природного каучука, изопреновых, бутадиенстирольных и ряда других каучуков. Трещины в таких резинах возникают после непродолжительного растяжения, изгиба, кручения. Повышение концентрации озона до 10^{-2} ... 10^{-4} % при 20...25°C вызывает

растрескивание уже через 1 час выдержки.

Важным свойством резин, определяющих область их применения, является газо-водо непроницаемость, химическая стойкость, в том числе стойкость к маслам, бензину.

Композиционный материал

Композиционный материал, композит (КМ)— искусственно созданный материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними. В большинстве композитов (за исключением слоистых) компоненты можно разделить на *матрицу* и включенные в нее *армирующие элементы*. В композитах конструкционного назначения армирующие элементы обычно обеспечивают необходимые механические характеристики материала (прочность, жесткость, твердость и т.д.), а матрица (или связующее) обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических, химических повреждений. Объединение компонентов в единый материал позволяет получить свойства недостижимые для компонентов по отдельности. Под определение КМ подпадает множество хорошо известных под собственными названиями материалов — железобетон, пластмассы. Некоторые КМ известны по меньшей мере несколько тысяч лет — булатная сталь, фанера, из которой делали щиты ещё в древнем Риме. Соответственно, название «КМ» при использовании носит скорее маркетинговый характер, подчёркивает «инновационность» материала и требует существенного уточнения по использованным компонентам.

Свойства композиции зависят от свойств армирующих элементов и матрицы, количественного соотношения компонентов, а также прочности связи между ними.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композиции, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми исходные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между

армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, в композициях, в отличие от однородных металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению ударной вязкости.

Для создания композиций используются различные армирующие элементы (наполнители) и матрицы. В обоснованных случаях возможно использование нескольких типов армирующих элементов в одном КМ.

При изготовлении КМ часто материал и конструкция создаются одновременно. Это позволяет распределить армирующие элементы для выполнения конкретных задач, соответственно возможно задать характеристики значительно превосходящие характеристики традиционных материалов.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

1- с нуль-мерными наполнителями, размеры частиц которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок;

2 - с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;

3 - с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов:

1 - с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон,

нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу;

2 - с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя;

3- с трехосным (объемным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе матрицы и армирующих элементов композиционные материалы можно разделить на группы:

- композиционные материалы, содержащие органические соединения — полимеры;

- композиционные материалы, содержащие металлы или сплавы;

- композиционные материалы, содержащие оксиды, карбиды, нитриды и др.;

- композиционные материалы, содержащие углерод, бор и др. элементы.

Наиболее широко распространены КМ на основе матрицы из органических полимеров, это, в первую очередь различные виды пластмасс. В зависимости от вида и природы армирующих элементов пластмассы могут иметь собственные устоявшиеся названия - гетинакс, стеклотекстолит, углепластик и др. К этой же группе КМ можно отнести плитные материалы на основе древесины — ДСП, МДФ и др., а так же полимербетоны, состоящие из нескольких процентов термореактивного полимера и наполнителя из крошки природного камня. Перечисленные группы материалов являются наиболее доступными и широко используются в технике, строительных конструкциях.

Формирование полимерных КМ осуществляется прессованием, литьем под давлением, экструзией, напылением.

В машиностроении находят применение смешанные полимерные композиционные материалы, куда входят металлические и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Например, подшипники, работающие в условиях сухого трения, изготавливают из комбинации фторопласта и бронзы, что обеспечивает самосмазываемость и отсутствие ползучести.

Созданы материалы на основе полиэтилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон, обладающие высокими прочностью и жесткостью.

Композиции на основе металлической матрицы наиболее часто армируются равномерно распределенными дисперсными частицами. Такие материалы отличаются изотропностью свойств. В таких материалах матрица воспринимает механическую нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя препятствуют развитию пластической деформации, придают материалу повышенную твёрдость. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц наполнителя.

Армирующими наполнителями служат частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов.

Дисперсионно упрочненные композиционные материалы получают методами порошковой металлургии или вводят частицы армирующего порошка в жидкий расплав металла или сплава.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала для создания КМ в виде порошков, из которых прессованием формируются изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления армирующего компонента. Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются

1. возможность изготовления деталей из тугоплавких компонент, при температурах ниже температуры плавления наиболее тугоплавкого компонента;
2. минимальный объём последующей механической обработки деталей (отходы составляют не более 1...3 %);
3. возможность получения КМ из металлов с весьма различной плотностью и свойствами.

Методом порошковой металлургии изготавливают специальные стали, в том числе быстрорежущие, твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники,

конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные частицами оксида алюминия (Al_2O_3). Их получают прессованием алюминиевого порошка с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше $300^\circ C$, когда обычные алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно упрочненные алюминиевые сплавы сохраняют эффект упрочнения до $0,8 T_{пл}$ (температуры плавления сплава) - матрицы.

Для изготовления рабочей части инструментов используются получаемые методами порошковой металлургии *твердые сплавы (металлокерамика)*, которые состоят из металлической матрицы и дисперсных частиц карбидов металлов. Характерной особенностью твердых сплавов является очень высокая твердость $87...92$ HRC при достаточно высокой прочности. Твердость и прочность зависят от количества связующего металла (кобальта) и величины зерен карбидов. Чем крупнее зерна карбидов, тем выше прочность. Твердые сплавы отличаются большой износостойкостью и теплостойкостью. Наиболее распространены сплавы ВК, содержащие карбид вольфрама (WC), маркировка таких сплавов ВК3, ВК6, ВК8, ВК20 включает число, соответствующее содержанию кобальта в процентах, если сплав используется для производства волок, добавляется дополнительная буква «в» в конце маркировки: ВК8в. Дороговизна вольфрама привела к разработке альтернативных композиций включающих дисперсные карбиды титана ТК ($WC + TiC$), титана и тантала ТТК ($WC + TiC + TaC$). В маркировке таких сплавов, например, Т15К6 число после Т показывает содержание карбида титана, число после К — содержание кобальта, остальное карбид вольфрама. Сплавы этой группы лучше противостоят изнашиванию, обладают большей твердостью, тепло- и жаростойкостью, стойкостью к коррозии, но меньшей теплопроводностью и большей хрупкостью. Используются для обработки металлов резанием. Износостойкость инструментов из твердых сплавов превышает

износостойкость инструментов из быстрорежущих сталей в 10...20 раз и сохраняется до температур 800...1000 °С.

Для целей обработки более твёрдых материалов — стекла, керамики, камня, методами порошковой металлургии изготавливают рабочие части пил, буровых коронок на основе матрицы из медного или никелевого сплава, армированной дисперсными частицами карбида бора (BC), алмаза.

Реже изготавливаются КМ на основе других компонентов — углерод-углеродные, для особо лёгких конструкций; керамические, на основе волокон оксидной керамики с керамической матрицей, обладающие высокой теплоизолирующей способностью при температурах выше 1000°С.

Для целей строительства производится ряд материалов, изделий, не вполне соответствующих приведённому выше определению КМ, это слоистые материалы и изделия, получаемые склеиванием при помощи полимерной композиции (клея) нескольких слоёв разнородных материалов. Алюминиевый КМ, представляет собой два предварительно окрашенных алюминиевых листа толщиной от 0,2 до 0,5 мм с прослойкой из низкоплотного полиэтилена. Специальное покрытие предохраняет металл от коррозии и абразивного износа. Материал производится в виде листа толщиной 3...6 мм. Данный КМ устойчив в диапазоне температур от -50°С до +80°С. Важными свойствами материала являются - жесткость, устойчивость к ударам, механическим повреждениям, давлению. При равной жесткости КМ в 3.4 раза легче стального и в 1.6 раза сплошного алюминиевого листа и может эффективно применяться при устройстве вентилируемых фасадов современных зданий.

В случае использования в слоистом КМ стального листа и прослойки из пенополистирола, минеральной ваты, имеющих низкий (0,04) коэффициент теплопроводности, изготавливают композитные панели для самонесущих ограждающих конструкций современных быстровозводимых зданий.

Лакокрасочные материалы

Основным назначением лакокрасочных материалов является защита

конструкций из различных материалов от разрушения под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды. Кроме того, краски выполняют декоративную функцию, изменяя эстетическое восприятие объектов.

Соответственно, чисто техническим требованием к лакокрасочным материалам является способность образовывать на поверхности защищаемого предмета сплошной слой с хорошей адгезией, устойчивый к механическим воздействиям, повреждающим факторам среды — ультрафиолетовому излучению солнца, озона воздуха, воздействию воды, химических реагентов, повышенных и пониженных температур.

Основные свойства лакокрасочных материалов определяются типом использованного связующего (основы). В силу наличия конструкций из материалов с самыми различными физическими, химическими, механическими свойствами, обеспечить хорошую адгезию, прочность и защитные свойства защитного покрытия возможно при использовании весьма различных веществ. Часто составы делят на грунтовые (грунтовки) и собственно краски. Грунтовки обладают повышенной адгезией к материалу, краски обеспечивают декоративный эффект.

Наполнителями служат инертные материалы например, тальк, молотый кварц, оксиды металлов (цинка, свинца, железа, титана, кадмия, олова), порошки полимеров(акрил, полиуретан). Введением наполнителя уменьшается потребность в связующем (лаковая основа) и пигменте.

В качестве пигментов могут использоваться химические соединения металлов - оксиды, сульфиды, природного или искусственного происхождения. Так, соединения железа обеспечивают жёлто — бурую окраску, оксиды титана, цинка - белую, свинец от белой до оранжевой, кадмий — жёлтую, ярко красную, хром — зелёную. Другая группа пигментов – синтетические органические красители, например, анилиновые.

Различают следующие виды лако красочных материалов:

Масляные краски маркируются буквами МА (МА1, МА15) и содержат в составе олифы, минеральные пигменты и наполнители. Отличаются довольно

низкой атмосферостойкостью и быстрым старением красочного слоя.

Натуральная олифа (ГОСТ 7931-76) — на 97% состоит из натурального растительного масла (высыхающего или полувывсыхающего- льняного, реже — подсолнечного, соевого, конопляного) и сиккатива — вещества, ускоряющего высыхание масла. В процессе изготовления олифы масло подвергается фильтрации и термической обработке. В качестве сиккативов используются соединения металлов, таких как свинец, марганец, железо, литий, стронций. Их наличие ускоряет окисление масла за счёт того, что сиккатив активно поглощает кислород воздуха, который и идёт на окисление масла. Состав сиккатива существенно влияет на скорость высыхания олифы, так, например, полиметаллические сиккативы дают скорость высыхания, в несколько раз большую монометаллических.

Олифа оксоль, представляет собой раствор оксидированного растительного масла и сиккативов в уайт-спирите, скипидаре (ГОСТ 190-78). В зависимости от используемых компонентов выпускается оксоль марки В и ПВ. Содержание растворителя в готовом растворе оксоль — не более 40%, 5% — массовая доля сиккатива. В отличие от натуральной олифы оксоль высыхает быстрее, с выделением растворителей. Возможна частичная замена на нефтяные масла, в этом случае часто наблюдается не полное высыхание (покрытие остаётся липким).

Олифы используют для защиты деревянных конструкций в чистом виде, пропитки оснований перед окраской, а так же в производстве масляных красок.

Краски и эмали на основе алкидных смол в значительной мере по свойствам и применению являются аналогами масляных, однако превосходят их по прочности, долговечности, технологичности. В состав входит синтетическая смола, модифицирующие добавки, наполнители и пигменты минеральные или синтетические.

Алкидные (полиэфирные) смолы являются продуктом взаимодействия многоатомных спиртов и одноосновных высших жирных кислот в присутствии карбоновых кислот (ангидридов). В зависимости от спирта,

взаимодействующего с фталевым ангидридом, алкидные смолы подразделяются на глифталевые смолы, пентафталевые смолы и этрифталевые смолы.

Глифталевые смолы являются наиболее распространенными разновидностями полиэфирных (алкидных) смол и представляют собой продукты поликонденсации глицерина $\text{HOCH}_2\text{—CHON—CH}_2\text{OH}$ с фталевым ангидридом $\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$. В чистом виде полимеризуются только при повышенных температурах. Для производства красок используют в модифицированном виде. В качестве модифицирующих добавок широко применяются ненасыщенные жирные кислоты, это позволяет добиться отверждения лаковой пленки при 20°C . Глифталевые смолы нашли широкое применение при изготовлении глифталевых лаков и эмалевых красок холодной и горячей сушки, а также в качестве добавки при изготовлении нитролаков и нитрокрасок. Пленки, полученные из лаков на глифталевых смолах, обладают хорошей твердостью, эластичностью и не размягчаются. При маркировке упаковок лакокрасочных материалов на основе глифталевой смолы применяется буквенное обозначение ГФ (ГФ 21).

Пентафталевые смолы имеют более высокий молекулярный вес и более разветвленную структуру, нежели аналогичные им по составу глифталевые смолы. Широкое применение в промышленности нашли пентафталевые смолы, модифицированные маслами. Лакокрасочные материалы на пентафталевых смолах высыхают медленнее, чем глифталевые, но обладают несколько лучшей атмосферостойкостью. Сушка пентафталевых эмалей производится как при повышенной ($80\text{...}150^\circ\text{C}$), так и при нормальной ($18\text{...}23^\circ\text{C}$) температуре. Маркируются буквами ПФ (ПФ115).

Нитрокраски, нитролаки получают на основе нитратов целлюлозы-целлюлозных эфиров азотной кислоты. В состав нитрокрасок и нитролаков входят нитроклетчатка, наполнитель, растворитель и пластификатор. Нитролак, приготовленный на одной нитроцеллюлозе, образует твердую, но очень тонкую пленку, поэтому для получения покрытия требуется наносить несколько, иногда более 10 слоёв. Добавки глифталевых смол увеличивают толщину лаковой

пленки, усиливают ее блеск и атмосферостойкость. Глифталевая смола в нитролаке участвует в пленкообразовании и одновременно служит пластификатором. Пластификаторами для нитролаков служат касторовое масло, дибутилфталат, трикрезилфосфат. В качестве растворителей в нитролаках используются кетоны (ацетон), сложные эфиры (ацетаты), спирты, а также их смеси с ароматическими углеводородами - толуолом, ксилолом. При нанесении на поверхность нитролаков при комнатной температуре в результате улетучивания растворителя, в течение 15...30 минут получают покрытия. Сделанные при помощи нитролаков покрытия являются растворимыми (обратимыми), они бесцветны (окрашенные пленки образуются посредством нитролаков, в которых содержатся растворимые органические красители). Такие покрытия устойчивы к процессу горения, к бензину и маслам минерального происхождения. Они ограниченно водостойки, неустойчивы по отношению к щелочам, концентрированной серной кислоте, нагреванию, ультрафиолетовому излучению. Совмещая нитроцеллюлозную основу с высыхающими алкидными смолами и некоторыми другими плёнкообразующими добавками, возможно получение высыхающих в течение 1,5...3 часов при комнатной температуре нерастворимых (необратимых) пленок. Такие пленки превосходят обратимые по своим защитным свойствам. Краски и лаки на основе нитроцеллюлозы маркируются буквами НЦ (НЦ 222).

Акриловые краски — водно дисперсионные краски на основе полиакрилатов, преимущественно полимеров метил-, этил- и бутилакрилатов, а также их сополимеров в качестве пленкообразователей. Акрилаты — сложные эфиры или соли акриловой кислоты: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOR}$. Раньше эти краски назывались «эмульсионными» и их маркировка начиналась с буквы Э (например, Э-ВА-17, Э-ВА-27). Современное название - «водно-дисперсионные», маркируются буквами ВД (ВД-АК- П1, ВД-ВА-17). Используются в строительстве для внутренних и наружных работ и в живописи. Акриловые краски могут быть разбавлены водой, при разбавлении могут колероваться водными пигментными пастами, но после высыхания становятся

стойкими к воздействию воды.

Силикатные краски — это суспензии щелочестойких пигментов и наполнителей (обычно мела или краски марки А) и бората кальция (марки Б) в водном растворе жидкого стекла. Эти краски образуют атмосферостойкую прочную пленку, предназначены для окрашивания оштукатуренных, кирпичных, бетонных наружных поверхностей (реже внутренних), древесины, хорошо защищают древесину от возгорания.

Лаки и краски на основе полимеров.

На основе композиций термопластичных и термореактивных полимеров, производятся лаки и краски, свойства которых определяются использованным полимером и существенно превосходят традиционные. Существует два вида материалов: 1 — жидкие одно и двухкомпонентные составы на основе полиуретана, эпоксидных, алкидных смол, акрилов. Технология их использования не отличается от традиционной, покрытия превосходят по твёрдости, износостойкости, долговечности. 2 — порошковые краски, представляющие собой дисперсные порошки термопластичных или термореактивных полимеров, например, поливинилхлорида. Таким образом, свойства покрытия определяются использованным полимером. Подготовка поверхности и нанесение полимера в заводских условиях на специализированном оборудовании, обеспечивает высокую адгезию, равномерность покрытия. Окрашивание порошковыми красками обеспечивает защиту металла от коррозии и сохранение декоративности в течении нескольких лет и превосходит по этому показателю все прочие краски. Известны полимерные композиции сохраняющие свойства более 10 лет. Широко применяется в производстве строительных ограждающих конструкций — металлочерепицы, профилированного листа и композитных панелей на его основе.

ЛЕКЦИЯ 8 Лесные материалы

Общие сведения, породы, свойства

Древесина является природным полимером и состоит преимущественно из органических веществ (99% общей массы). Элементный химический состав древесины разных пород практически одинаков. Абсолютно сухая древесина в среднем содержит 49% углерода, 44% кислорода, 6% водорода, 0,1-0,3% азота. При сжигании древесины остаётся её неорганическая часть - зола. В состав золы входят кальций, калий, натрий, магний и другие элементы.

Перечисленные химические элементы образуют основные органические вещества: целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы.

Целлюлоза - природный полимер, полисахарид с длинной цепной молекулой. Формула целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n - степень полимеризации, равная 6000...14000. Это вещество нерастворимо в воде и обычных органических растворителях (спирте, эфире и др.), белого цвета. Пучки макромолекул целлюлозы образуют целлюлозный каркас стенки клетки древесины, между ними находится лигнин, гемицеллюлозы, а также вода.

Лигнин - полимер ароматической природы (полифенол) сложного строения, содержит больше углерода и меньше кислорода, чем целлюлоза. С лигнином связан процесс одревеснения клеточной стенки.

Гемицеллюлозы - группа полисахаридов, в которую входят пентозаны $(C_5H_8O_4)_n$ и гексозаны $(C_6H_{10}O_5)_n$. Гексозаны отличаются от целлюлозы, степенью полимеризации 60...200. Это свидетельствует о меньшей стойкости этих веществ по сравнению с целлюлозой.

Кроме основных органических веществ, в древесине содержится сравнительно небольшое количество *экстрактивных веществ* (танинов, смол, камедей, пектинов, жиров и др.), растворимых в воде, спирте или эфире.

1. Влажность древесины и свойства, связанные с её изменением

Влажность древесины - выраженное в процентах отношение массы воды к массе сухой древесины:

$$W = (m - m_0) / m_0 \cdot 100\%$$

где: m - начальная масса образца древесины, г,

m_0 - масса образца абсолютно сухой древесины, г.

Измерение влажности осуществляется прямыми или косвенными методами.

Прямые методы основаны на выделении тем или иным способом воды из древесины, например высушиванием.

Косвенные методы, основаны на измерении показателей других физических свойств, зависящих от влажности древесины. Наибольшее распространение получили *кондуктометрические электровлагомеры*, измеряющие электропроводность древесины. Этот способ даёт надёжные показания в диапазоне от 7 до 30% и лишь только в месте введения игольчатых контактов.

Различают две формы воды, содержащейся в древесине: *связанную и свободную*. Связанная вода находится в клеточных стенках, а свободная содержится в полостях клеток и межклеточных пространствах. Связанная вода удерживается в основном физико-химическими связями, изменение её содержания существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная вода, удерживается только механически, удаляется легче, чем связанная вода, и оказывает меньшее влияние на свойства древесины.

Испытания с целью определения показателей физико-механических свойств древесины приводят при влажности $W = 12\%$, называемой *стандартной*.

По степени влажности различают древесину:

-*мокрую*, $W > 100\%$, длительное время находившуюся в воде;

-*свежесрубленную*, $W = 50...100\%$, сохранившую влажность растущего дерева;

-*воздушно-сухую*, $W = 15...20\%$, выдержанную на открытом воздухе;

-*комнатно-сухую*, $W = 8...12\%$, долгое время находившуюся в отапливаемом помещении;

абсолютно-сухую, $W = 0$, высушенную при температуре $t=103\pm 2^\circ\text{C}$.

Усушка - уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении из неё связанной воды. Удаление свободной воды не вызывает усушки. Чем больше клеточных стенок в единице объёма древесины, тем больше в ней связанной воды и выше усушка.

Усушка древесины не одинакова в разных направлениях: в тангенциальном направлении в 1,5 ... 2 раза больше, чем в радиальном.

Под полной или максимальной усушкой V_{\max} понимают уменьшение линейных размеров и объёма древесины при удалении всего количества связанной воды.

$$V_{\max} = (a_{\max} - a_{\min}) / a_{\max} \cdot 100\%$$

где: a_{\max} - размер (объём) образца при влажности равной или выше предела насыщения клеточных стенок, мм (мм^3);

a_{\min} размер (объём) образца и в абсолютно-сухом состоянии, мм (мм^3).

Полная линейная усушка древесины наиболее распространённых пород в тангенциальном направлении составляет 8...10 %, в радиальном 3...7 %, вдоль волокон 0,1...0,3 %. Полная объёмная усушка находится в пределах 11...17 %.

Усушка древесины учитывается при распиловке брёвен на доски (припуски на усадку), при сушке пиломатериалов.

При насыщении древесины влагой происходит *разбухание* — увеличение линейных размеров и объёма древесины. Разбухание происходит при выдерживании древесины во влажном воздухе или воде. Так же как и усушка, наибольшее разбухание древесины наблюдается в тангенциальном направлении поперёк волокон, а наименьшее - вдоль волокон.

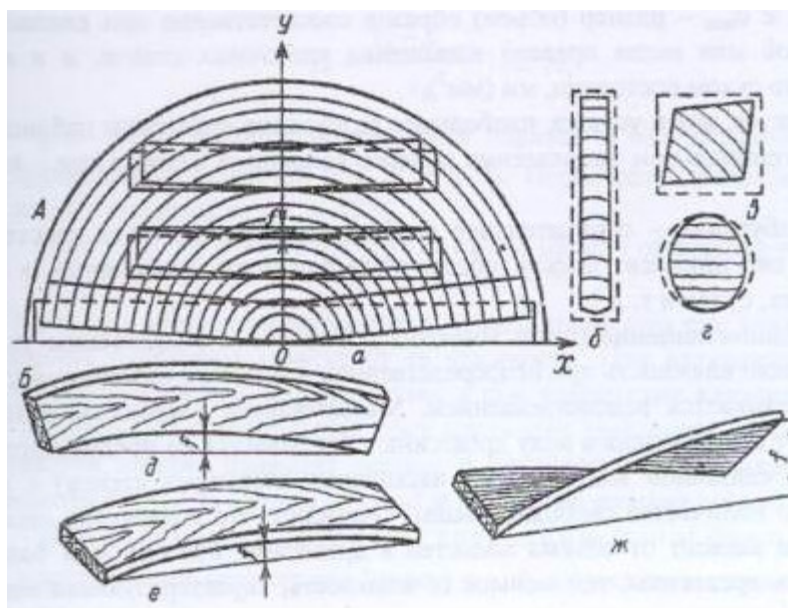
В результате различия изменений размеров по разным направлениям при изменении влажности и в процессе роста дерева, в древесине возникают внутренние напряжения.

Полные сушильные напряжения включают - влажностные и остаточные напряжения.

В поверхностных слоях древесины, высыхающих быстрее, возникают

растягивающие напряжения, а внутри - сжимающие. Если растягивающие напряжения достигают предела прочности древесины на растяжение поперёк волокон, появляются поверхностные трещины, при неравномерном разбухании появляются внутренние трещины. *Остаточные напряжения* в древесине возникают из-за неоднородных остаточных деформаций, обусловленных неоднородностью строения. Остаточные напряжения в отличие от влажностных не исчезают при выравнивании влажности в доске и наблюдаются как во время сушки, так и после её полного завершения.

Коробление - изменение формы пиломатериалов и заготовок при сушке, а также выпилке и неправильном хранении. Чаще всего коробление происходит из-за различия усушки по разным направлениям. Различают *поперечную и продольную покоробленность*,



Виды покоробленности, поперечная а - желобчатая, б - трапецевидная, в - ромбовидная, г - овальная; - продольная: д - по кромке, е - по пласти, ж - крыловатость.

Влагопоглощение - способность древесины поглощать влагу (пары воды) из окружающего воздуха. Влагопоглощение практически не зависит от породы.

Водопоглощение - способность древесины увеличивать свою влажность при непосредственном контакте с капельножидкой водой. Максимальная влажность, которой достигает погруженная в воду древесина, складывается из предельного количества связанной воды и наибольшего количества свободной

воды.

Проницаемость характеризует способность древесины пропускать жидкости или газы под давлением.

Водопроницаемость древесины вдоль волокон значительно больше, чем поперёк волокон, при этом у древесины лиственных пород она в несколько раз больше, чем у хвойных.

2 Плотность древесины

Поскольку древесина имеет достаточно сложное строение, её свойства, в том числе плотность, могут существенно изменяться. Соответственно, применяется несколько параметров оценки плотности:

Плотность древесинного вещества т.е. плотность материала клеточных стенок, равна для всех пород $1,53 \text{ г/см}^3$, поскольку одинаков химический состав клеточных стенок древесины.

Плотность абсолютно сухой древесины ρ_0 равна:

$$\rho_0 = m_0 / v_0,$$

где m_0 , v_0 - соответственно масса и объём древесины при влажности $W=0\%$.

Плотность древесины меньше плотности древесинного вещества, так как она включает пустоты (полости клеток и межклеточные пространства, заполненные воздухом).

Плотность древесины зависит от её влажности. При влажности меньше предела насыщения $W < W_{\text{пн}}$ плотность изменяется незначительно, а при увеличении влажности выше $W_{\text{пн}}$ наблюдается значительный рост плотности древесины.

По плотности древесины при 12% влажности породы делят на 3 группы: с малой ($P_{12} < 540 \text{ кг/м}^3$), средней ($550 \text{ кг/м}^3 < P_{12} < 740 \text{ кг/м}^3$) и высокой ($P_{12} > 740 \text{ кг/м}^3$) плотностью древесины.

3 Механические свойства древесины.

Различают следующие свойства древесины, проявляющиеся под воздействием механических нагрузок: *прочность* - способность сопротивляться разрушению, *деформативность* - способность сопротивляться изменению размеров и формы, а так же *технологические и эксплуатационные свойства*.

Показатели механических свойств древесины определяют обычно при следующих видах испытаний: растяжении, сжатии, изгибе и сдвиге. Поскольку древесина - анизотропный материал, т.е. материал с различными свойствами в разных направлениях, указывают направление действия нагрузок: вдоль или поперек волокон (в радиальном или тангенциальном направлении).

Предел прочности σ_b определяют на малых, чистых и не имеющих пороков образцах сечением 20 x 20 мм, включающим не менее 4...5 годичных слоёв.

В среднем при влажности древесины 12% предел прочности σ_b на сжатие вдоль волокон составляет около 50 МПа, при сжатии поперёк волокон в качестве показателя прочности используют предел пропорциональности, т.е. величину напряжений, до которых наблюдают линейную зависимость между напряжениями и деформациями. В среднем для всех пород он составляет 1/10 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

В среднем для всех пород предел прочности σ_b при растяжении вдоль волокон равен 130 МПа, а предел прочности при растяжении поперёк волокон в 20 раз ниже.

В среднем предел прочности при статическом изгибе составляет 100 МПа.

Поскольку древесина состоит в основном из полимеров с длинными гибкими цепными молекулами, её *деформативность* зависит от продолжительности воздействия нагрузок. При кратковременных нагрузках в древесине возникают преимущественно упругие деформации, при длительном воздействии происходит частичный переход упругих деформаций в пластические, этому способствует повышение влажности и температуры древесины.

Модуль упругости вдоль волокон $E = 12...16$ ГПа, в 20 раз больше, чем поперёк волокон. Чем больше модуль упругости, тем более жесткая древесина.

С увеличением содержания связанной воды и температуры древесины, её жесткость снижается.

При использовании древесины в строительных конструкциях при длительных постоянных нагрузках при расчётах используется *Предел длительного сопротивления* $\sigma_{дс}$, в среднем для всех видов нагрузки составляет примерно 0,5...0,6 величины предела прочности σ_b при кратковременных статических испытаниях и - *расчётные сопротивления*. Они учитывают большие размеры элементов конструкций, наличие пороков древесины, длительность действия нагрузки, влажность, температуру и другие факторы.

Показателем прочности при переменных нагрузках является *предел выносливости*, средняя величина которого составляет примерно 0,2 от статического предела прочности.

Твёрдость характеризует способность древесины сопротивляться вдавливанию более твёрдого тела. Все породы по твёрдости торцевой поверхности при влажности 12% делят на 3 группы: мягкие, твёрдые, очень твёрдые.

Ударную твёрдость определяют, сбрасывая стальной шарик диаметром 25 мм с высоты 0,5 м на поверхность образца, величина которого тем больше, чем меньше твёрдость древесины.

Износостойкость - способность древесины сопротивляться износу, т.е. постепенному разрушению её поверхностных зон при трении. Испытания на износостойкость древесины показали, что износ с боковых поверхностей значительно больше, чем с поверхности торцевого разреза. С повышением плотности и твёрдости древесины износ уменьшился. У влажной древесины износ больше, чем у сухой.

Уникальным свойством древесины является *способность удерживать крепления*: гвозди, шурупы, скобы, костыли и др. При забивании гвоздя в древесину возникают упругие деформации, которые обеспечивают достаточную

силу трения, препятствующую выдёргиванию гвоздя.

4.Тепловые свойства древесины

К тепловым свойствам относят теплоёмкость, теплопроводность, температуропроводность и тепловое расширение.

Теплоёмкость древесины. В пределах изменения температуры 0...100°C удельная теплоёмкость абсолютно сухой древесины равна 0,374...0,440 ккал/кг·град. При увлажнении теплоёмкость древесины увеличивается, так как удельная теплоёмкость воды (1,0 ккал/кг·град) больше теплоёмкости абсолютно сухой древесины.

Теплопроводность - свойство, характеризующее интенсивность переноса тепла в материале. Коэффициент теплопроводности λ , с увеличением температуры, влажности и плотности увеличивается. Вдоль волокон λ в 2 раза больше, чем поперёк.

Температуропроводность характеризует способность древесины выравнивать температуру по объёму.

Тепловое расширение - способность древесины увеличивать линейные размеры и объём при нагревании. Коэффициент теплового расширения древесины в 3...10 раз меньше, чем у металла, бетона, стекла.

5 Внешний вид древесины

Внешний вид древесины характеризуется: цветом, блеском, текстурой и макроструктурой.

Цвет - зрительное ощущение, зависящее, от спектрального состава отражённого светового потока..

Окраска древесины зависит от породы, возраста дерева, длительности выдержки под влиянием воздуха и света, воды, при поражении грибами. Цвет многих пород настолько характерен, что может служить одним из признаков при их распознавании.

Блеск - способность древесины направленно отражать световой поток.

Наибольшим блеском отличается древесина дуба, бука, белой акации, махагони.

Текстурой называется рисунок, образующийся на поверхности древесины вследствие перерезания анатомических элементов (годичных слоёв, сердцевинных лучей, сосудов).

Для оценки качества древесины по внешнему виду используют такие характеристики, как ширина годичных слоёв и содержание поздней древесины.

Ширина годичных слоёв - число слоёв, приходящихся на 1 см отрезка, отмеренного по радиальному направлению на торцевой поверхности образца.

Содержание поздней древесины определяется соотношением (в процентах) между суммарной шириной зон поздней древесины и общей протяжённостью (в радиальном направлении) участка измерения, включающего целое число слоёв.

6 Породы древесины

Все породы древесины, применяемые в строительстве и для промышленной обработки принято делить на хвойные — сосна, ель, пихта, кедр, лиственница и лиственные — берёза, осина, дуб, ясень.

В древесине хвойных пород присутствуют смолы, что в значительной мере препятствует гниению, кроме того форма ствола позволяет получать пиломатериалы с наиболее высокими свойствами. Это определяет преимущественное применение хвойных пород в строительстве.

Древесина лиственных пород не содержит смол, но может содержать дубильные вещества. Лиственные породы существенно различаются по своим свойствам и доступным запасам.

К хвойным породам относятся ель, сосна, лиственница, пихта, кедр.

Ель безъядровая порода, имеет белую древесину со слабым желтоватым оттенком, мелкими тёмными сучками, малосмолистая. по прочности, плотности и стойкости к гниению уступает сосне. Годичные слои хорошо заметны.

Сосна ядровая порода со смоляными ходами. Имеет слегка розовое ядро, со временем становящееся буровато красным, и заболонь желто белого цвета.

Сосна имеет достаточно высокую прочность, стойкость к гниению. Древесина сосны используется в строительстве, производстве мебели, а также для изготовления различных деталей, материалов на основе древесины.

Лиственница ядровая порода, имеет древесину, сильно пропитанную смолой. Ядро красновато-бурого цвета, заболонь желтоватая, серовато-зеленоватая. Лиственница широко используется в строительстве, производстве мебели, целлюлозно-бумажном производстве. Лиственница малосучковата, обладает наиболее высокой плотностью и прочностью, стойка против гниения.

Пихта самая легкая и мягкая из хвойных древесных пород, похожа на ель, но не имеет смоляных ходов.

Кедр ядровая порода, древесина кедра легкая, мягкая, имеет буровато-розовое ядро и светло-розовую заболонь, легко обрабатывается, стойка против гниения; широко используется в строительстве.

Распространённые лиственные породы — берёза, осина, наиболее широко используются в производстве бумаги, материалов на основе древесины, дуб, бук, ясень, обладающие высокими механическими и декоративными свойствами ограничены по запасам и применяются только при отделочных работах.

Береза рассеяно-сосудистая безъядровая порода с древесиной желтовато-розоватого оттенка. Годичные слои видны плохо. Имеет высокие прочностные свойства, но малую стойкость к гниению, при сушке сильно коробится. Береза имеет большее распространение по сравнению с другими видами и широко используется в производстве фанеры, целлюлозно-бумажной промышленности.

Дуб ценная сосудистая ядровая порода с темно-бурым или желтовато-коричневым ядром и узкой желтоватой заболонью. На поперечном разрезе в ранней зоне годичного слоя видны крупные сосуды, а в темной поздней зоне светлые радиальные сердцевинные лучи. Древесина дуба плотная, прочная, стойкая к гниению, хорошо поддается механической обработке. Используется в производстве мебели, из дуба изготавливают паркет, бочки для вина, детали в машиностроении и строительстве.

Ясень кольцесосудистая ядровая порода с желтоватой заболонью и светло-бурым ядром. Годичные слои хорошо видны, сердцевинные лучи не заметны. Напоминает дуб, но несколько светлее, используется аналогично, а также в производстве спортивного инвентаря.

Клен рассеяно-сосудистая безъядровая порода. Имеет красноватую или буроватую древесину. На радиальном срезе видны сердцевинные лучи, которые создают характерную рябоватость. Клен используется в мебельном производстве и для изготовления музыкальных инструментов.

Липа рассеяно-сосудистая, безъядровая порода. Древесина белая с легким розовым оттенком, имеет однородное строение, мягкая, служит материалом для резных работ.

Осина рассеяно-сосудистая ядровая быстро растущая порода с широкой заболонью белого цвета. Древесина мягкая, нестойкая к гниению, применяется в производстве фанеры, спичек, целлюлозы.

Строение древесины, микроскопическое и макроскопическое

1 Макроскопическое строение древесины

В поперечном сечении ствола дерева можно определить главные макроскопические признаки: заболонь, ядро, годичные слои, сердцевинные лучи, сосуды, смоляные ходы и сердцевинные повторения.

У молодых деревьев всех пород древесина состоит только из *заболони* (живой древесины). Затем по мере роста живые элементы вокруг сердцевины ствола отмирают, а влагопроводящие пути закупориваются и в них происходит постепенное накопление экстрактивных веществ — смол, таннидов, красящих веществ. У сосны, дуба, центральная зона ствола приобретает темную окраску. Такие деревья называют *ядровыми*. У *безъядровых* деревьев окраска центральной зоны и заболони ствола одинакова. Безъядровые деревья подразделяются на две группы: *спелодревесные* (липа, пихта, бук, ель), у которых влажность в центральной части ствола меньше, чем в периферийной, и *заболонные*, у которых влажность по поперечному сечению ствола одинакова

(береза, каштан, клен, и др.). Масса заболонной древесины уменьшается от вершины к комлю, а также с возрастом дерева.

На поперечном срезе ствола можно увидеть *сердцевинные лучи*, идущие от центра к коре. У лиственных пород они занимают до 15% объема древесины, у хвойных 5...6%, чем больше их количество, тем хуже механические свойства древесины. Ширина сердцевинных лучей колеблется от 0,005 до 1,0 мм в зависимости от породы дерева. Древесина хвойных пород отличается от древесины лиственных наличием клеток, вырабатывающих и хранящих смолу. Эти клетки группируются в горизонтальные и вертикальные *смоляные ходы*. Длина вертикальных ходов колеблется в пределах 10...80 см при диаметре около 0,1 мм, а горизонтальные смоляные ходы тоньше, но их очень много, до 300 шт/см². Древесина лиственных пород имеет сосуды в виде системы клеток для передачи воды и растворенных в ней минеральных веществ. Сосуды имеют форму трубок длиной в среднем 10 см и диаметром 0,02...0,5 мм, причем у деревьев некоторых пород они сосредоточены в ранних зонах годовичных слоев. Их называют кольцесосудистыми. У деревьев других пород сосуды распределены по всей площади годовичных слоёв. Эти деревья называют рассеяно-сосудистыми.

2 Микроскопическое строение древесины

Древесина имеет определенную микроструктуру, которую можно установить, применяя микроскоп. *Древесина хвойных пород* отличается от лиственной сравнительно правильным строением и простотой. В структуру древесины хвойных пород входят так называемые ранние и поздние трахеиды. Ранние трахеиды выполняют функцию проводников воды поступающей от корней дерева с растворенными в ней минеральными веществами. Трахеиды имеют форму сильно вытянутых волокон с кососрезанными концами. В растущем дереве только последний годовичный слой содержит живые трахеиды. Сердцевинные лучи образованы паренхимными клетками, по которым поперек ствола перемещаются запасные питательные вещества и их

растворы. Эти же клетки участвуют в образовании вертикальных и горизонтальных смоляных ходов. Вертикальные смоляные ходы в древесине хвойных пород, образованы тремя слоями живых и мертвых клеток.

Горизонтальные смоляные ходы находятся в сердцевинных лучах.

Микроструктура *древесины лиственных пород* по сравнению с хвойными имеет более сложное строение. В древесине лиственных пород сосудистые и волокнистые трахеиды служат проводниками воды с растворенными в ней минеральными веществами. Эти сосуды имеют форму длинных вертикальных трубок, состоящих из отдельных клеток с широкими полостями и тонкими стенками, сосуды в общем объеме лиственной древесины занимают 12...55%.

Наибольшую часть объема лиственной древесины составляют волокна либриформа как основная механическая ткань. Волокна либриформа представляют собой вытянутые клетки с заостренными концами, узкими полостями и мощными стенками, имеющими щелевидные поры. Серцевинные лучи лиственной древесины объединяют основную часть паренхимных клеток, объем этих лучей может достигать 28...32%.

. Пороки древесины

Пороки древесины это отклонения от нормального, равномерного строения, а так же повреждения, препятствующие использованию древесины как конструкционного материала. Согласно ГОСТ 2140-81 видимыми пороками считают недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность ее использования. Классификация пороков весьма обширна и включает несколько категорий: 1- сучки; 2- трещины; 3 - пороки ствола — сбежистость, закомелистость, овальность, кривизна, и.т.п.; 4 - пороки строения древесины - наклон волокон, крень, свилеватость, засмолок, и.т.п.; 5 - химические окраски; 6 - грибные поражения-грибные ядровые пятна, плесень, гниль; 7 - биологические повреждения-червоточина; 8- инородные включения, механические повреждения и пороки обработки, покоробленности.

. Материалы, изделия на основе древесины

Свойства натуральной древесины связанные с изменением влажности, наличие пороков в массиве древесины, делают трудоёмким, требующим высококвалифицированных работников процесс изготовления изделий и конструкций. Снизить трудоёмкость, требования к квалификации кадров позволяют материалы на основе древесины.

Древесностружечная плита -ДСП (ГОСТ 10632-89) — плитный материал, изготовленный путем горячего прессования древесных частиц, смешанных со связующим. В качестве связующего применяют мочевино-формальдегидные, фенол-формальдегидные и другие смолы. Для придания влагостойкости вводят гидрофобизирующие добавки, например парафин. Древесностружечные плиты доводятся до номинальных размеров путем шлифовки. Сырьем для древесностружечных плит служат специально изготовленная технологическая щепка, стружка, получаемая в строгальном производстве, отходы лесопильного производства. Плиты выпускают различной плотности очень малой 350, малой 360...500, средней 510...600, высокой 660...800 кг/м³. Плиты высокой и средней плотности используют как конструкционный материал, малой плотности для тепло и звукоизоляции. ДСП не имеет пороков присущих древесине, как сучки, внутренние пустоты и трещины. К достоинствам ДСП относится высокая прочность, жесткость, однородность, легкость в обработке, способность прочно удерживать гвозди и шурупы. ДСП - имеет низкую цену. Именно поэтому ДСП - самый широко используемый материал для мебели эконом-класса. ДСП подразделяют: по физико-механическим показателям – на марки, марки различаются физико-механическими характеристиками. Марка П-А более высокого качества и имеет лучшие показатели прочности на изгиб и растяжение и более низкие показатели по проценту разбухания покоробленности и шероховатости поверхности чем П-Б. ; по качеству поверхности – на сорта; по степени обработки поверхности – на шлифованные (Ш) и нешлифованные; по гидрофобным свойствам – с обычной и повышенной (В) водостойкостью, показателем водостойкости является

разбухание по толщине (за 24 часа, верхний предел): обычная ДСП, марка П-А — 22%, обычная ДСП, марка П-Б - 33%, водостойкая ДСП - не более 15%. ; по содержанию формальдегида на классы эмиссии - допустимое ГОСТ 10632-89 содержание свободного формальдегида в 100 граммах абсолютно сухой плиты. Существуют два класса эмиссии: E1 (до 10 мг), E2 (10-30 мг).

По типу наружного слоя различают плиты с мелкоструктурной поверхностью (М), которые пригодны для облицовывания пленочными и полимерными материалами; обычной поверхностью и плиты с наружными слоями из крупной стружки. Последние используются только для строительных целей и под облицовку натуральным шпоном.

Древесноволокнистые плиты ДВП (ГОСТ 4598-86) искусственный материал на основе волокон древесины с наполнителями, полимерным связующим и добавками (антисептики, антипирены, гидрофобизирующие). Производятся путем горячего прессования или сушки, в зависимости от предназначения материала. ДВП производят двумя способами: мокрым и сухим. При мокром способе производства используется волокнистая масса без добавки связующего. При сухом способе используются добавки синтетических смол. Горячее прессование производят при 150..165 °С и давлении 1...5 МПа. Сухой метод производства позволяет получить материал с улучшенными специальными свойствами, с гладкими поверхностями с двух сторон, толщина плит составляет 5...12 мм. Кроме того, такая технология позволяет производить плиты профилированные, биостойкие, огнестойкие, влагостойкие.

Плиты в зависимости от назначения подразделяют на типы: *твердые и мягкие*.

Твердые плиты в зависимости от прочности, плотности и вида лицевой поверхности подразделяют на марки:

Т – с необлагороженной лицевой поверхностью;

Т-С – с лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;

Т-П – с подкрашенным лицевым слоем;

Т-СП – с подкрашенным лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;

Т-В – с необлагороженной лицевой поверхностью и повышенной

водостойкостью;

НТ – пониженной плотности (полутвердые);

СТ – повышенной прочности (сверхтвердые) с необлагороженной лицевой поверхностью;

СТ-С – повышенной прочности (сверхтвердые) с лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы.

Твердые плиты марок Т, Т-С, Т-П, Т-СП в зависимости от уровня физико-механических показателей подразделяют на группы качества: А и Б, по качеству поверхности плиты этих марок подразделяют на I и II сорт. Мягкие плиты в зависимости от плотности подразделяют на марки: М-1, М-2 и М-3.

Выпускают плиты следующих размеров: длина 1220...6100мм ширина 610...2140мм толщина 2.5...6мм твёрдых плит, мягких плит длина 1220...5500мм, ширина 1220 мм, толщина 8...16мм.

Для твёрдых плит установлены следующие характеристики плотности и прочности: предел прочности при изгибе, минимум $T_n 33 \text{ МПа}$, марки НТ 47МПа. Плотность, 800...1100 кг/м³.

Для мягких плит предел прочности при изгибе, минимум 1,8...0,4МПа, для марок М1...М3 соответственно. Плотность, 400...100 кг/м³.

Коэффициент теплопроводности мягких плит: М1-0,09, М2-0,07, М3-0,05 Вт/(м*К).

Плиты МДФ – Medium Density Fiberboard, «среднеплотное волокнистое покрытие» - материал, изготовленный в соответствии с нормами ANSI A208.2, действующими в Евросоюзе, из высушенных древесных волокон, с добавкой или без синтетических связующих, парафина для гидрофобизации и сформированных в виде ковра с последующим горячим прессованием и шлифовкой. Под давлением около 350 МПа и при температуре в 200...230°С древесноволокнистый ковер приобретает первичные свойства плиты МДФ за счёт плавления лигнина, сформированную плиту доводят до требуемой толщины, для чего ее опрессовывают под давлением в 60...150 МПа без нагрева.

Производство МДФ основано на сухом способе производства ДВП с учетом совершенствовавшихся при изготовлении ДВП технологий.

Плиты МДФ широко используются при изготовлении мебели, они – не разбухают, не коробятся. Предел прочности при изгибе 10...15МПа. Плотность: 700-870 кг/м³; Модуль упругости 1700 Мпа, Влажность 3...10%. Плиты и листы МДФ имеют толщину от 5 до 25 миллиметров. Класс эмиссии качественных МДФ – объем формальдегидов в свободной форме, выделяемых из 100 грамм плиты – равен Е1 (не более 10 мг), что соответствует выделениям из натуральной древесины. Плиты МДФ – устойчивы к различным грибкам и микроорганизмам, облицовываются натуральным или синтетическим шпоном, гетинаксом, пленкой ПВХ (поливинилхлорид), ламинатом.

Фанера- плитный материал, получаемый путём склеивания нечётного числа древесных листов — шпона с разворотом соседних листов на 90 град. Шпон для производства фанеры получают лущением из лиственных (преимущественно из берёзы) и хвойных пород. Для соединения листов шпона используют термореактивные полимеры, в частности фенол формальдегидные смолы. По ГОСТ 3916.2-96 для изготовления наружных слоев фанеры применяют шпон хвойных пород: сосны, лиственницы, ели, пихты и кедра. Внутренние слои могут быть изготовлены из шпона лиственных пород при условии сохранения механических и эксплуатационных свойств фанеры.

Фанеру подразделяют:- в зависимости от внешнего вида поверхности на сорта,

-по степени водостойкости клеевого соединения на марки,

-по степени обработки поверхности на шлифованную и нешлифованную.

По внешнему виду фанеру подразделяют на сорта в зависимости от комбинации сортности наружных слоев: Ех, Ix, IIx, IIIx, IVx. По степени водостойкости клеевого соединения фанеру подразделяют на марки:

ФСФ - повышенной водостойкости для внутреннего и наружного использования;

ФК - водостойкая для внутреннего использования.

По степени механической обработки поверхности фанеру подразделяют на:

- нешлифованную - НШ;
- шлифованную с одной стороны - Ш1;
- шлифованную с двух сторон — Ш2.

Размеры листов фанеры 1200...3660мм и до 30мм толщины.

Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев, не менее 30 МПа.

Предел прочности при растяжении вдоль волокон, не менее 20 МПа.

Модуль упругости при статическом изгибе вдоль волокон наружного слоя, не менее 7000 МПа.

Плотность в зависимости от древесины 300, 500, 700, 1000 кг/м³.

Фанера бакелизированная ГОСТ 11539-83. Бакелизированную фанеру изготавливают следующих марок: ФБС -наружные слои фанеры пропитываются фенолоформальдегидной спирторастворимой смолой. ФБВ -наружные слои фанеры пропитываются фенолоформальдегидной водорастворимой смолой.

Листы фанеры выпускают размерами: ширина 1250...1500мм, длина 1500...7700мм, толщина 5...18мм. Плотность до 1200 кг/м³

Предел прочности при растяжении вдоль волокон наружных слоев фанеры, не менее 59...88 МПа, меньшие значения для ФБВ, большие для ФБС.

Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев не менее 88...117,5МПа, меньшие значения для ФБВ, большие для ФБС.

Плиты OSB, или ОСП (ориентированная стружечная плита) материал, по своим характеристикам промежуточный между ДСП и фанерой. В производстве используется технологическая щепка с длиной не менее нескольких сантиметров, что позволяет располагать щепу слоями, изменяя их ориентировку аналогично производству фанеры. Поскольку производство технологической щепы дешевле получения шпона, данный материал существенно дешевле.

Плотность плит ОСП составляет от 640 до 700 кг/м³.

Коэффициент набухания 10... 22% (испытывается замачиванием водой в течение 24 часов).

Прочность на изгиб по европейскому стандарту EN 310 составляет 20 и 10 МПа (продольный и поперечный изгиб соответственно).

Выпускают плиты ОСП следующих размеров:

С ровными краями - 3125x2000 мм, 2800x1250 мм, 2500x1250 мм, 2440x1220 мм;

Со шпунтованной кромкой 2500x1250, 2450x590, 2440x590, 2440x1220 мм.

Толщина плит ОСП составляет от 6 до 22 мм.

Арболит (от лат. arbor — дерево и греч. lithos — камень), строительный материал, разновидность лёгкого бетона. Изготавливается из смеси органических заполнителей (дроблёных отходов деревообработки, камыша, костры конопли и т. п.), вяжущего (обычно портландцемента) и воды. Для минерализации заполнителя и ускорения твердения цемента в смесь вводят хлористый кальций, сернокислый глинозём совместно с известью-пушонкой или другие добавки. Объёмная масса А. 400 ...700 кг/м³. Из А. изготавливают стеновые блоки, панели, плиты и т. п. для возведения малоэтажных зданий.

Цементно-стружечная плита ЦСП по составу аналогична арболиту (цемент — 65%, древесная стружка — 24%, вода — 8,5%, химические добавки (жидкое стекло, сульфат алюминия) — 2,5%).

Цементно-стружечные плиты изготавливаются размером 3200 x 1250 мм, толщиной 10, 12, 16, 20, 24 мм.

Фибролит — обычно изготавливается из специальных древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего вещества (ГОСТ 19222-84)

Древесную шерсть получают на специальных станках в виде тонких и узких лент, то есть получается не щепка, а длинная узкая стружка, похожая на

шерсть, отчего и пошло название. В качестве вяжущего используют портландцемент, реже — магнезиальное вяжущее. Является аналогом арболита.

Древесную шерсть вначале минерализуют раствором хлористого кальция или жидкого стекла или сернистого глинозема. После этого древесную шерсть смешивают с цементом и водой.

Строительные плиты формуют используя давление 0,5 МПа. После формовки их помещают для твердения в пропарочные камеры. Затвердевшие плиты сушат до влажности не более 20 %.

По ГОСТу плиты должны иметь длину 240 и 300 см, ширину — 60 и 120 см, толщину — 3...15 см. Иногда делают блоки вместо плит.

Плотность фибролита 250...500 кг/м³, по плотности фибролит делится на марки Ф-300 (теплоизоляционный фибролит) и Ф-400, Ф-500 (теплоизоляционно-конструктивный фибролит). Коэффициент теплопроводности 0,08...0,1 Вт/(мК). Предел прочности при изгибе 0,7 МПа, модуль упругости 300...500 МПа.

Фибролит не горит открытым пламенем. Легко обрабатывается: его можно пилить, сверлить и вбивать в него гвозди. Водопоглощение цементного фибролита — не более 35...45 %.

5. Защита древесины и изделий из нее от внешних воздействий

Натуральная древесина может разрушаться, терять свойства под действием внешней среды — изменения температуры, ультрафиолетового излучения солнца, изменения влажности и связанного с повышенной влажностью биологического разрушения, кроме того древесина сгораема. Защитить древесину можно конструктивно — проектируя и изготавливая конструкции обеспечивающие температурно-влажностный режим препятствующий развитию биологических повреждений; хорошие результаты даёт защитное окрашивание составами на различной основе, препятствующими воздействию внешних факторов среды на поверхность древесины. Кроме того, возможна химическая защита. Существует три группы веществ,

препятствующих повреждению древесины: гидрофобизаторы, антисептики, антипирены.

Гидрофобизаторы — органические вещества, парафины, кремнийорганические полимеры и их смеси, придающие древесине водоотталкивающие свойства. Парафины в количестве 3...5% вводят в состав плитных материалов на основе древесины, таких как ДСП, МДФ.

Гидрофобизаторами обрабатывают поверхность клеедеревянных конструкций, что придаёт дополнительную устойчивость при колебаниях влажности.

Антипирены — вещества препятствующие возгоранию древесины при термическом воздействии. При термическом воздействии на древесину по мере повышения температуры начинают выделяться горючие газы, которые выше +275°C при соприкосновении с воздухом воспламеняются. Наиболее эффективными антипиренами являются фосфорная кислота, фосфат аммония, борат аммония, сульфат аммония, борная кислота и бура. Достаточной защитой от возгорания является пропитка древесины с поверхности на глубину 6...10 мм, или нанесение на поверхность краски или лака, имеющими в своем составе антипирены.

При нагревании древесины, покрытой огнезащитной краской (имеющей в своем составе антипирены), пленка вспенивается, образуя теплоизолирующую прослойку толщиной в 5...7 мм, предохраняющую древесину от воспламенения. Огнезащитный слой должен предохранять древесину от загорания при нагревании ее поверхности до 650...700°C в течение 15 мин.

Антисептики — вещества, препятствующие биологическому разрушению древесины. При температуре 22...26°C, максимально 30 °C, влажности воздуха 95... 100 % влажности древесины W более 22%, слабокислую реакцию среды (pH = 4,0...6,0) и отсутствии воздухообмена, создаются наиболее благоприятные условия для разрушения древесины. Это возможно при неправильном хранении, а так же в конструкциях эксплуатирующихся в атмосферных и почвенных условиях.

Различают масляные водорастворимые и органические антисептики.

Масляные представляют собой составы на основе минеральных масел, битумов и используются для защиты от загнивания древесины находящейся постоянно во влажных условиях; водорастворимые — соли фтористый, кремнефтористый натрий, бура, железный или медный купорос, ацетат натрия и т.п. могут наноситься на конструкции при нормальной эксплуатации не контактирующие с водой. Фтористый натрий NaF для антисептирования дерева применяется в виде 2...4% водного раствора. Медный купорос CuSO_4 применяется 5 – 10%-ный раствор. Железный купорос FeSO_4 является заменителем медного купороса как антисептика для дерева. Применение купоросов вызывает окрашивание древесины.

Органические антисептики— полимерные композиции, наносимые на поверхность конструкций, эксплуатируемых вне помещений, например оксидифенил – фенольное соединение, применяется в виде 2,5...4% раствора натриевой соля в спирте, или ином органическом растворителе.

ЛЕКЦИЯ 9

1 Битумные вяжущие, получение, свойства, применение

Битумные вяжущие представляют собой сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их производных (соединений углеводородов с серой, кислородом, азотом). Различают природные и искусственные нефтяные битумы. *Природные битумы* извлекают из асфальтовых горных пород органическими растворителями или вываривают их в горячей воде. *Искусственные битумы* представляют собой остатки, получаемые при переработке нефти. При нормальной температуре битумы встречаются как в твердом, так и в вязко текучем состоянии. При нагревании они размягчаются (разжижаются), а при охлаждении затвердевают. Имея аморфное строение, битумы в отличие от кристаллических тел не имеют определенной температуры плавления, существует некоторый температурный интервал размягчения - постепенный переход от твердого состояния в вязко текучее.

Для улучшения свойств битумных вяжущих их *модифицируют* добавкой каучука или полимеров, получая резинобитумные, битумно-полимерные вяжущие.

По назначению битумы подразделяют на строительные, кровельные и дорожные.

Строительные нефтяные битумы (ГОСТ 6617—76*) получают окислением остаточных продуктов прямой перегонки нефти и их смесей с асфальтами и экстрактами масляного производства. Строительные нефтяные битумы выпускают следующих марок: БН 50/50, БН 70/30, БН 90/10 (табл. 1).

Таблица 1.

Физико-механические показатели строительных нефтяных битумов

Показатели	Марка		
	БН 50/50	БН 70/30	БН 90/10
Глубина проникания иглы при 25°C (десятые доли миллиметра)	41...60	21...40	5...20
Температура размягчения по "кольцу и шару" (КиШ)	50	70	90

°С, не ниже			
Растяжимость при 25°С, см, не менее	40	3	1
Температура вспышки, °С, не ниже	220	230	240

Строительные нефтяные битумы горючи, температура вспышки битумов 220...240°С, минимальная температура самовоспламенения 368°С.

Кровельные нефтяные битумы (ГОСТ 9548—74*), применяемые для производства кровельных материалов, вырабатывают следующих марок: БНК 45/180 и БНК 45/90 — для пропитки; БНК 90/40 и БНК 90/30 — для покровного слоя (табл. 2).

Таблица 2.

Физико-механические показатели нефтяных кровельных битумов

Показатели	Марка			
	БНК 45/180	БНК 45/190	БНК 90/40	БНК 90/30
Глубина проникания иглы при 25°С (десятые доли миллиметра)	140...220	160...220	35...45	25...35
Температура размягчения, °С	40...50	40...50	85-95	85...95
Температура хрупкости, °С	---	---	-20	-10
Растворимость в бензоле или хлороформе, %, не менее	99	99,5	99	99
Изменение массы после прогрева, %, не более	1,0	0,8	0,5	0,5
Массовая доля водорастворимых соединений, не более	0,3	0,3	0,3	0,3
Массовая доля парафина, не более	---	5	---	---

Температура вспышки кровельных нефтяных битумов не менее 240°С, минимальная температура самовоспламенения 300°С. Для нефтяных битумов характерно при повышении прочности проявление хрупкости при низких температурах (табл2).

Кровельные и гидроизоляционные материалы

Кровельные материалы условно классифицируют по следующим основным признакам:

- форме и внешнему виду — на рулонные, мастичные, штучные и

листовые (асбестоцементные листы, черепица, кровельная листовая сталь и др.);

-виду исходного сырья — на органические (рубероид и др.) и минеральные (асбестоцементные листы);

-виду вяжущего вещества — на битумные, полимерные, битумно-полимерные; -виду защитного слоя — с посыпкой (крупно- и мелкозернистой, чешуйчатой и пылевидной) и различными покрытиями (фольгой, металлизированной пленкой и др.);

-наличию основы — на основные (на основе стеклоткани, стеклохолста, полиэстера, картона, фольги) и безосновные.

Рулонные кровельные материалы изготавливают на основе картона, стеклотканей, стеклохолстов, различных полиэфирных основ, пропитывая материал основы мягкими битумными и полимер битумными вяжущими веществами с последующим нанесением на поверхность с одной или двух сторон тугоплавких нефтяных вяжущих с наполнителем и посыпкой.

Рулонными эти материалы называют потому, что заводы-изготовители выпускают их в виде рулонов длиной 7...20 м и шириной 400...1050 мм. В результате наклеивания рулонных материалов на кровлю в 2...3 слоя на ней создается монолитный водонепроницаемый кровельный ковер без водонепроницаемых швов, поэтому кровли из таких материалов можно выполнять с малым уклоном (0...10%). Кровли из рулонных материалов применяют в промышленном и жилищном строительстве, а также для устройства защитных покрытий на плоских крышах с внутренними водостоками.

Рулонные кровельные материалы классифицируют по следующим основным признакам (ГОСТ 23835—79):

-назначению — на кровельные и гидроизоляционные;

-структуре — на основные и безосновные (изол; бризол);

-виду основы — на основе картона (рубероид, пергамин), стеклотканей (стеклорубероид), фольги (фольгоизол, фольгорубероид), асбестовой бумаги (гидроизол);

-бесосновные — битумные (на битумном вяжущем), полимерные (на полимерном связующем), резинобитумные, битумно-полимерные и др. (на смешанном связующем);

-виду защитного слоя — с посыпкой (крупнозернистой, чешуйчатой, мелкозернистой и пылевидной), фольгой, щелоче-, кислото- и озоностойким покрытием.

На основе рулонных материалов производят *гибкую черепицу* - небольшие плоские листы различных форм с фигурным вырезом с одной стороны. Производство битумного мягкого покрытия осуществляется из стеклохолста или целлюлозы, пропитанных модифицированным битумом с различными полимерными добавками. При производстве мягкая плитка с внешней стороны покрывается базальтовой или минеральной крошкой.

Мастиками называют пластичные гидроизоляционные материалы, получаемые при смешивании органических вяжущих с минеральными наполнителями и различными добавками, улучшающими качество мастик. Кровельные и гидроизоляционные мастики (ГОСТ 25591—83) классифицируют по следующим основным признакам:

-назначению — на приклеивающие (для приклеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов и устройства защитного слоя кровель), для устройства мастичных кровель, мастичных слоев гидро и пароизоляции, изоляции подземных стальных трубопроводов и других сооружений с целью защиты их от коррозии;

-виду основных исходных материалов — на битумные, битумно-эмульсионные, битумно-резиновые, битумно-полимерные, полимерные, дегтевые, дегтеполимерные;

-виду разбавителя — на содержащие воду, органические растворители, жидкие органические вещества (машинное, трансформаторное, цилиндрическое, соляровое и другие масла, жидкие нефтяные битумы, гудрон, мазут).

Органические растворители, применяемые в мастиках в качестве разбавителей, могут быть: легкими —отгоняемыми при температуре до 150°C, не менее 50%;

средними — при 150...200° С, не менее 50%; тяжелыми — при 200...270° С, не менее 50 %;

-характеру отверждения — на отверждаемые (в том числе вулканизирующиеся) и неотверждаемые. Отверждаемые мастики могут быть одно- и многосоставными;

-способу применения — на горячие (с предварительным подогревом перед применением) и холодные (не требующие подогрева, содержащие растворитель, и эмульсионные).

Мастики должны обладать стабильными физико-механическими показателями в течение всего периода эксплуатации в интервале температур эксплуатации, быть однородными, без видимых посторонних включений, примесей и частиц наполнителя или антисептика, удобнотранспортируемыми, при изготовлении не выделять в окружающую среду вредных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации. Теплостойкость кровельных мастик должна быть не менее 70° С. Кроме того, мастики должны быть биостойкими и водонепроницаемыми, прочно склеивать рулонные материалы. При испытании образцов расщепление должно проходить по материалу не менее чем на 50% склеенной поверхности.

Асбестоцементные листы классифицируют по следующим признакам: форме — плоские и профилированные, а профилированные — на волнистые, двойной кривизны и фигурные; высоте волны — листы низкого (до 30 мм), среднего (31...42 мм) и высокого (43 мм и более) профилей; размерам — мелкоразмерные (длиной до 2000 мм) и крупноразмерные (длиной 2000 мм и более); виду отделки лицевой поверхности — без отделки поверхности (естественного серого цвета), окрашенные и офактуренные; назначению — кровельные, стеновые облицовочные, конструкционные.

Фасонные детали в зависимости от назначения подразделяют на следующие виды: переходные — для устройства перехода от ската покрытий к выступающей над кровлей поверхности и оконных проемов; угловые — для обрамления торцовых покрытий и углов стен; лотковые — для устройства

деформационных швов покрытий и стен; коньковые — для устройства коньков кровель; гребенки — для устройства незадуваемых и незатекаемых стыков и карниза; швеллеры, уголки и др. Промышленность выпускает асбестоцементные волнистые листы обыкновенного, унифицированного, среднего и высокого профилей, а также плоские.

Асбестоцементные волнистые листы обыкновенного профиля (ГОСТ 378—76) предназначены для устройства кровель жилых и общественных зданий. Их выпускают окрашенными и неокрашенными. Размеры листов, мм, даны на рис. 6, а: длина $L=1200$, ширина $B=686$, толщина $C=5,5$; высота волны $h=28$, шаг волны $l=115$. Расстояние от ближайшего гребня до перекрывающей кромки $b_1=27$, до перекрываемой кромки $b_2=84$. Масса листа 9,8 кг.

Асбестоцементные волнистые листы унифицированного профиля (ГОСТ 30340—95) предназначены для устройства кровель и стеновых ограждений зданий и сооружений. Листы выпускают окрашенными и неокрашенными двух сортов — высшего и 1-го. Листы имеют поперечный шестиволновой профиль. Размеры листов, мм: длина — 1750, 2000 и 2500, ширина — 1125, толщина — 6 и 7,5, высота рядовой перекрывающей волны — 54, перекрываемой — 45, шаг волны — 200.

Глиняную черепицу применяют для устройства скатных кровель в малоэтажном жилищном строительстве. Изготавливают глиняную черепицу следующих типов, (рис.2): пазовую штампованную (а), пазовую ленточную (б), (рис.3) плоскую ленточную (а), волнистую ленточную (б), S-образную ленточную (в) и коньковую (г)

Глиняная черепица должна быть правильной формы с гладкими поверхностями и ровными краями, без трещин и известковых включений. Допускается искривление поверхности и ребер черепицы не более чем на 3 мм. Структура черепка в изломе должна быть однородной, без расслоений, а цвет черепицы — однотонным. Глубина пазов (фальцев) черепицы не менее 5 мм, высота шипов для подвески у штампованной черепицы не менее 10, у ленточной — не менее 20 мм. Поверхностная плотность покрытия из черепицы в насыщенном водой состоянии, кг, не более: пазовой штампованной и ленточной — 50, плоской ленточной — 65, волнистой и S-образной ленточной — 50, коньковой — 8.

На тыльной стороне пазовой штампованной черепицы имеется ушко с отверстием для привязки к обрешетке, а ленточной — отверстие в средней части шипа диаметром не менее 1,5 мм. Для крепления волнистой ленточной черепицы к обрешетке предусмотрено одно отверстие диаметром 5...6 мм на расстоянии 4...5 см от края.

Черепица цементно-песчаная в отличие от глиняной представляет собой сочетание кварцевого песка, цемента и пигментов, которые придают черепице разные цвета: красный, каменно-серый, коричневый и черный. Черепицу с гладкой поверхностью выпускают размером 330x420 мм, массой 4,3 кг/шт. Прочностью на изгиб одного изделия равной или более 2800 Н цементно-песчаную черепицу можно укладывать на крыши с уклоном от 10 до 90°.

Основной материал для металлических кровель — кровельная *тонколистовая оцинкованная сталь*. Листы, прокатанные на непрерывных станах, поставляют в рулонах. Ширина листов 510...1250, длина 710...3000, толщина 0,25...2 мм. Оцинкованную обыкновенную тонколистовую кровельную листовую сталь с обеих сторон покрывают слоем цинка толщиной не менее 0,02 мм для предохранения от коррозии. Устройство кровель с использованием гладкой листовой стали трудоёмко, требует высококвалифицированной рабочей силы и в настоящее время ограничено применяется при ремонте старых

скатных кровель. Современной заменой являются профилированные стальные листы и черепицы. Профилированные листы — *профнастил*, могут иметь различный профиль, длину 6 и более метров, кроме цинкового покрытия дополнительно окрашиваться полимерными красками, в том числе и с фотопечатью. Для быстровозводимых зданий и сооружений могут использоваться композитные панели, имеющие поверхности их профилированного стального листа и слой утеплителя — минераловатный или пенополистирольный.

Для малоэтажного строительства на основе стального листа производят мелкоштучные кровельные изделия — черепицы.

Металлочерепица это кровельный материал из профилированной оцинкованной стали толщиной 0,4 ...0,55 мм, дополнительно защищенной цветным полимерным покрытием. Основными достоинствам материала являются: небольшой вес, простота монтажа, разнообразная цветовая гамма.

Композитная черепица это кровельный материал из профилированной оцинкованной стали толщиной 0,4 ...0,55 мм, на внешнюю сторону нанесено покрытие из дроблёного натурального камня на полимерном связующем. Дополнительное увеличение толщины на 1,5...2мм позволяет увеличить долговечность и снизить шумность материала при эксплуатации.

Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционные материалы по (ГОСТ 16381—77) классифицируют по структуре, форме и внешнему виду, виду исходного сырья, средней плотности, жесткости (сжимаемости или остаточной деформации сжатия), теплопроводности, возгораемости.

По структуре теплоизоляционные материалы подразделяют на волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые плиты); зернистые (вспученные перлит и вермикулит, асбозурит); ячеистые (совелитовые и

вулканитовые плиты, изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты).

По форме и внешнему виду теплоизоляционные материалы и изделия разделяют на штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты); рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты); рыхлые и сыпучие (минеральная и стеклянная вата, перлитовый песок и др.).

По виду исходного сырья теплоизоляционные материалы делят на неорганические (минеральная вата и изделия из нее, стеклянное волокно и изделия из него, асбест и асбестосодержащие материалы, вспученный перлит и вермикулит, диатомит—трепел, ячеистые материалы, алюминиевая фольга) и органические (торфяные изделия, древесно-волокнистые плиты, теплоизоляционные пластмассы — пенопласты и поропласты).

По плотности теплоизоляционные материалы подразделяют на группы и марки (табл. 1).

Таблица 1.

Классификация теплоизоляционных материалов по плотности

Наименование	Марка	Материал
Особо низкой плотности	15, 25, 35, 50, 75	Минеральная вата марки 75 и менее; каолиновое волокно; пенопоропласты; ультра- и супертонкое стекловолокно; базальтовое волокно; вспученный перлит, мягкие минераловатные и стекловолокнистые плиты и др.
Низкой плотности	100, 125, 150, 175	Минеральная вата марки более 75; стеклянная вата из непрерывного стекловолокна; полужесткие и жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем; прошивные минераловатные маты и др.
Средней плотности	200, 225, 250, 300, 350	Совелитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые, перлитцементные изделия, минераловатные плиты на битумном связующем; минераловатные шнуры и др.
Плотные	400, 450, 500, 600	Пенодиатомитовые, диатомитовые, трепельные изделия из ячеистого бетона; монолитный битумо-перлит и др.

В зависимости от жесткости (остаточной деформации сжатия) материалы разделяют на следующие виды: мягкие (М) - относительное сжатие более 30%, полужесткие (П) - относительное сжатие 6...30%, жесткие (Ж) -

относительное сжатие до 6% при удельной нагрузке 1,96 кН/м² (жесткие плиты из минеральной ваты на синтетическом или битумном связующем).

По теплопроводности при 25°С теплоизоляционные материалы разделяют на три класса: А - низкой теплопроводности - до 0,06 Вт/(м·°С); Б - средней теплопроводности - свыше 0,06 до 0,115 Вт/(м·°С); В - повышенной теплопроводности - свыше 0,115 до 175 Вт/(м·°С).

По возгораемости различают несгораемые, трудносгораемые и сгораемые теплоизоляционные материалы и изделия.

Виды теплоизоляционных материалов

Минеральную вату (ГОСТ 4640—93) производят из волокон полученных из расплава горных пород, промышленных силикатных отходов и их смесей. Свойства приведены в таблице 2. Минеральную вату используют в качестве теплоизоляционного материала в строительстве и промышленности для изоляции поверхностей температурой не более 700°С, а также для изготовления тепло- и звукоизоляционных и звукопоглощающих изделий.

Таблица 2

Физико-механические показатели минеральной ваты

Показатели	Тип минеральной ваты		
	А	Б	В
Средняя плотность, кг/м ³ , не более	80	100	100
Массовая доля неволоконистых включений ("корольков") размером более 0,25 мм, %, не более	12	20	25
Средний диаметр волокна, мкм, не более	7	8	12
Модуль кислотности, не менее	1,4	1,2	12
Температура применения, °С, не более	700	700	700

Теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—96) марок 50, 75, 125, 175 применяют для тепловой изоляции при температуре изолируемых поверхностей до 400°С, плиты марок

200, 300 до 100°C (табл. 3). Марки плит устанавливаются по средней плотности. Размеры плит по длине 1000мм, ширине 500, 1000мм, толщине 20...100 мм.

Таблица 3.

Физико-механические показатели минераловатных плит на синтетическом связующем

Показатели	Марка					
	50	75	125	175	200	300
Плотность, кг/м ³	35...50	50...75	75...125	125...175	175...200	200...300
Теплопроводность, Вт/(м·°С), при средней температуре 25°С	0,047 (0,044)	0,047 (0,044)	0,049 (0,047)	0,052 (0,05)	0,056 (0,053)	0,06 (0,058)
Теплопроводность, Вт/(м·°С), при средней температуре 125 °С:	0,077 (0,074)	0,077 (0,074)	0,072 (0,07)	0,07 (0,067)	---	---
Массовая доля связующего вещества, %	1,5...3	2...3	2,5...4	3,5...5	5...7	6...8

Теплоизолирующим материалом близким по своим характеристикам к минераловатным плитам, является *пеностекло*. Сырьём для производства является стеклобой с добавками вспенивающих агентов, в основном углеродсодержащих. Главным отличием данного материала является наличие закрытых пор и высокая жёсткость, что обеспечивает стабильность свойств при изменениях влажности(табл.4) . Может применяться в теплоизоляции кровель, фундаментов.

Таблица 4

Физико-механические показатели пеностекла

Наименование, ед. измерения	Показатели			
Плотность, кг/м ³	100	115	135	160
Предел прочности при сжатии, МПа	0,35	0,60	0,90	1,60
Предел прочности при изгибе, МПа	0,40	0,45	0,50	0,60
Теплопроводность при 25 °С, Вт/(м·°С)	0,040	0,042	0,046	0,052

Водопоглощение, %	0	0	0	0
Паропроницаемость, мг/(м*ч*Па)	0	0	0	0

Перлитовый песок и щебень (ГОСТ 10832—91) получают при обжиге вулканических стекловатых пород (перлита, обсидиана). После обжига вспученный перлит в зависимости от размера зерен разделяют на песок (зерна менее 5 мм) и щебень (зерна 5...20 мм). Песок в зависимости от насыпной плотности (кг/м³) подразделяют на марки: 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 (табл. 5).

Таблица 5.

Физико-механические показатели перлитового песка

Показатели	Марка							
	75	100	150	200	250	300	400	500
Теплопроводность при 25°C, Вт/(м·°C)	0,047	0,052	0,058	0,064	0,07	0,076	0,081	0,093
Прочность при сдавливании в цилиндре (для фракций 1,25...2,5 мм), МПа, не менее	Не нормируется			0,10	0,15	0,30	0,40	0,60

Перлитовый песок применяют для засыпки при теплоизоляции конструкций, а так же в качестве пористого заполнителя в производстве лёгких бетонов, производстве теплоизоляционных плит.

Перлитобитумные теплоизоляционные плиты (ГОСТ 16136—80) изготавливают из вспученного перлитового песка, битумоглиняной пасты, асбеста и модифицирующих добавок. Они предназначены для тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций. Марка по плотности плит М200...М300, коэффициент теплопроводности 0,076...0,087, прочностные характеристики- при изгибе 0,15...0,19 МПа, при сжатии до 10% - 0,2...0,3МПа, морозостойкость соответствует F25.

Фибролитовые плиты на портландцементе изготавливают из смеси древесной стружки, портландцемента и химических добавок (табл.6). В зависимости от назначения плиты выпускают трех марок: Ф-300

(теплоизоляционный материал);

Ф-400 (теплоизоляционно-конструкционный и звукоизоляционный материал);

Ф-500 (конструкционно-теплоизоляционный и звукоизоляционный материал).

Размеры плит: длина — 2400 и 3000мм; ширина — 600 и 1200мм, толщина — 30, 50, 75, 100, 150 мм.

Таблица 6

Физико-механические показатели фибролитовых плит

Показатели	Марка		
	Ф-300	Ф-400	Ф-500
Плотность, кг/м ³	250...350	350...450	451...500
Теплопроводность при 20°С, Вт/(м·°С), не более	0,08	0,09	0,1
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее, для плит толщиной 30мм	---	1,1	1,3
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее, для плит толщиной 50мм	0,6	0,9	1,2
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее, для плит толщиной 100мм	0,35	0,6	1,0
Влажность, %, не более	20	20	20
Водопоглощение, %, не более	35	40	45

Для тепловой изоляции применяют *мягкие древесно-волокнистые плиты* (ГОСТ 4598—86) марок по плотности М-1, М-2, М-3 . Размеры мягких древесно-волокнистых плит, мм: длина — 1220; 1600; 1800; 2500; 2700; 3000, ширина — 1220, толщина — 8; 12; 16. эксплуатация плит возможна только в сухих условиях, поскольку древесные волокна при повышении влажности более 22% легко поддаются биологическому разрушению.

Пенополистирольные плиты (ГОСТ 15588—86) изготавливают из суспензионного вспенивающего полистирола с добавкой (ПСБ-С) или без добавки антипирена (ПСБ) беспрессовым способом. Плиты предназначены для тепловой изоляции в качестве среднего слоя строительных ограждающих конструкций и промышленного оборудования при отсутствии контакта плит с

внутренними помещениями. В зависимости от плотности плиты подразделяют на марки 15, 25, 35 и 50 (табл. 7). Размеры плит, мм: длина — 900...5000, ширина — 500...1300, толщина — 20...50.

Таблица 7

Физико-механические показатели пенополистирольных плит

Показатели	Марка пенополистирола			
	15	25	35	50
Плотность, кг/м ³	До 15	15,1...25	25,1...35	35...50
Предел прочности, МПа: на сжатие при 10%-ной линейной деформации	0,04	0,08	0,14	0,16
Предел прочности, МПа при изгибе	0,06	0,16	0,20	0,30
Теплопроводность при 25°С, Вт/(м·°С), не более	0,043	0,041	0,038	0,041
Влажность плит, %, не более	12	12	12	12
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	4	3	2	2

На основе гранул вспененного полистирола могут производиться полистиролбетоны и полистиролцементные плиты.

Пенополистиролцементные плиты (ТУ 5711-005-3128011-844—96) для строительных конструкций зданий и сооружений при относительной влажности воздуха в помещении не более 75%. Плотностью до 330 кг/м³, с коэффициентом теплопроводности не более 0,07 Вт/(м·°С) и пределом прочности при сжатии не менее 0,2 МПа.

Теплоизоляционные плиты из *пенопласта на основе резольных, фенолоформальдегидных смол* (ГОСТ 20916—87), изготавливаются с использованием модифицирующих добавок, предназначены для тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций. Температура изолируемых поверхностей должна быть не более 130°С, влажность плит не более 20% по массе. Плиты трудносгораемые. Размеры плит, мм: длина — 600...3000 ; ширина

— 500...1200; толщина — 50...170 . В зависимости от предельного значения плотности (кг/м³) плиты подразделяют на марки 50, 80, 90 (табл. 8).

Таблица 8.

Физико-механические показатели теплоизоляционных плит из пенопласта

Показатели	Марка по плотности		
	50	80	90
Плотность, кг/м ³	Не более 50	70...80	80...100
Теплопроводность при 25°С, Вт/(м*°С), не более	0,041	0,044	0,045
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее:	0,05 (0,1)	0,13 (0,20)	0,20 (0,23)
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее:	0,08 (0,12)	0,18 (0,26)	0,26 (0,30)
Влажность, %, не более	20	20	20