

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Ю. Г. Барабанищikov, С. В. Беляева, К. Ю. Усанова, А. О. Баранов

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2024

Барабанщиков Ю. Г. Строительные материалы и изделия. Основные свойства и методы испытаний: учеб. пособие / Ю. Г. Барабанщиков, С. В. Беляева, К. Ю. Усанова, А. О. Баранов. – СПб., 2024. – 177 с.

В учебном пособии рассматривается подготовка и проведение лабораторных работ и практических занятий по дисциплине «Строительные материалы» в соответствии с программой учебных курсов инженерно-строительного института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Учебное пособие представляет собой справочный материал при работе с методиками стандартных испытаний строительных материалов и изделий (вяжущих, заполнителей, бетонов, стеновых материалов, древесины, металлов, битумных материалов). Методы испытаний и показатели качества материалов даны в согласовании действующими государственными стандартами.

Учебное пособие предназначено для студентов второго курса инженерно-строительного института СПбПУ и соответствует образовательному стандарту высшего образования по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство».

Табл. 21. Ил. 170.

© Барабанщиков Ю. Г., Беляева С. В., Усанова К. Ю.,
Баранов А. О., 2024

Оглавление

Занятие 1. Естественные каменные материалы из изверженных горных пород	6
1.1. Основные понятия. Минерал и горная порода	6
1.2. Генетическая (по происхождению) классификация горных пород.....	7
1.3. Магматические (изверженные) горные породы. Процессы при образовании и классификация.....	7
1.4. Минералогический состав магматических горных пород	8
1.5. Виды структур магматических горных пород	12
1.6. Глубинные горные породы.....	13
1.7. Излившиеся горные породы.....	16
1.8. Вулканообломочные породы.....	19
Занятие 2. Естественные каменные материалы из осадочных и метаморфических горных пород	20
2.1. Процессы при происхождении и классификация осадочных пород	20
2.2. Минералогический состав осадочных горных пород	22
2.3. Структура осадочных горных пород.....	24
2.4. Рыхлые обломочные горные породы	25
2.5. Цементированные обломочные породы.....	26
2.6. Осадочные породы химического и органогенного происхождения	28
2.7. Метаморфические горные породы.....	31
2.8. Виды строительного камня	33
2.9. Выветривание каменных материалов и меры борьбы с этим явлением.....	34
Занятие 3. Испытания природного камня (лабораторная работа № 1).....	36
3.1. Основные физические свойства строительных материалов	36
3.2. Методы испытаний.....	38
Занятие 4. Керамические изделия	42
4.1. Классификация изделий строительной керамики	43
4.2. Сырьевые материалы керамической промышленности.....	44
4.3. Производство керамических изделий.....	47
4.4. Керамические изделия и материалы	54
Занятие 5. Испытание строительного кирпича (лабораторная работа № 2).....	61
5.1. Общие сведения.....	61
5.2. Виды керамического кирпича	62
5.3. Требования к рядовым видам керамического кирпича по ГОСТ 530–2012.....	64
5.4. Виды силикатного кирпича.....	66
5.5. Требования к рядовым видам силикатного кирпича по ГОСТ 379–2015.....	67

5.6. Отбор образцов для испытаний	69
5.7. Определение размеров и показателей внешнего вида.....	69
5.8. Определение средней плотности (ГОСТ 7025–91)	70
5.9. Определение предела прочности при сжатии	70
5.11. Определение водопоглощения кирпича.....	71
Занятие 6. Испытание стали (лабораторная работа № 3)	71
6.1. Общие сведения.....	71
6.2. Изделия для строительных конструкций из стали	73
6.3. Испытание углеродистой арматурной стали на растяжение.....	75
6.4. Определение твердости стали.....	80
6.5. Определение ударной вязкости стали.....	82
Занятие 7. Кристаллизация вещества из расплавов и пересыщенных растворов.	
Простейшие типы диаграмм состояния	83
7.1. Общие сведения. Терминология и определения.....	83
7.2. Построение диаграмм состояния.....	85
7.3. Простейшие типы диаграмм состояния.....	87
Занятие 8. Структура и фазовый состав железоуглеродистых сплавов. Диаграмма	
состояния Fe–C.....	94
8.1. Общие сведения.....	94
8.2. Структура углеродистой стали.....	95
Занятие 9. Решение задач по диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов...	101
9.1. Указания к выполнению расчетно-графической работы.....	101
9.2. Пояснения к решению задач по диаграмме Fe–C.....	102
Занятие 10. Полимеры и материалы на их основе	110
10.1. Общие сведения о полимерах	110
10.2. Основные реакции синтеза полимеров.....	111
10.3. Строение полимеров.....	113
10.4. Простые пластмассы	114
10.5. Композиционные пластмассы	118
10.6. Теплоизоляционные материалы на основе полимеров	126
10.7. Рулонные кровельные материалы на основе полимеров	129
10.8. Геосинтетические материалы.....	131
Занятие 11. Испытание пластмасс (лабораторная работа № 4).....	133
11.1. Общие сведения.....	133
11.2. Общие свойства полимерных материалов	134
11.3. Высокоэластичность полимеров	136
11.4. Испытание эластичных полимерных материалов на растяжение.....	139

11.5. Испытание полимерных материалов на сжатие	140
11.6. Испытание полимерных материалов на ударный изгиб. Метод определения ударной вязкости по Шарпи	141
11.7. Испытание жестких листовых пластмасс на растяжение	142
Занятие 12. Испытания древесины (лабораторная работа № 5)	143
12.1. Общие сведения.....	143
12.2. Строение древесины.....	144
12.3. Пороки древесины.....	146
12.4. Важнейшие свойства древесины.....	147
12.5. Применение древесины	152
Занятие 13. Испытание битумов (лабораторная работа № 6).....	153
13.1. Общие сведения.....	153
13.2. Свойства нефтяных битумов.....	155
13.3. Эмульсии, пасты и мастики на основе битумов и дегтей	156
13.4. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов	158
13.5. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы на модифицированных битумах	159
13.6. Листовые кровельные материалы на основе битумов	162
13.7. Асфальтовые бетоны и растворы	162
13.8. Методы испытаний нефтяных битумов	163
13.9. Требования к нефтяным битумам	166
Приложение 1. Расчетно-графическая работа.....	168
Приложение 2. Варианты заданий	174

Занятие 1. Естественные каменные материалы из изверженных горных пород

1.1. Основные понятия. Минерал и горная порода

Земная кора, состоит из горных пород, которые в свою очередь сложены из минералов.

Минералы. Три признака минерала: 1) минерал — однородное по химическому составу и физическим свойствам тело; 2) минерал — продукт природных физико-химических процессов; 3) минерал имеет твердое агрегатное состояние

Важнейшие свойства минералов. Цвет минералов — весьма изменчив, тем не менее минералы делятся на светлые (кварц, полевые шпаты) и темноокрашенные (оливин, пироксены и амфиболы).

Блеск минералов бывает: металлический (пирит), стеклянный (кварц), перламутровый (мусковит), шелковистый (волокнистый гипс), жирный (тальк) и др.

Излом — это вид поверхности у осколков минерала. Различают излом: раковистый (кварц), землистый (мел), зернистый (мрамор), крючковатый и занозистый и т. п. 1

Спайность — это способность некоторых минералов раскалываться при ударе по определенным направлениям и давать на поверхности раскола гладкие плоскости, называемые плоскостями спайности (рис. 1.1).

Различают спайность: 1) весьма совершенную (у слюды), когда минерал раскалывается на тонкие пленки, 2) совершенную (у полевых шпатов, кальцита, анкерита), когда осколки ограничены правильными плоскостями, и 3) несовершенную (у кварца), когда при раскалывании получаются неровные поверхности. Спайность может проявляться по одному направлению (слюда),



Рис. 1.1. Анкерит. Совершенная спайность по трем направлениям

по двум (полевые шпаты) и по трем направлениям (кальцит, каменная соль, анкерит).

Твердость — способность минерала оказывать сопротивление царапанию. Для диагностики минералов используется относительная шкала твердости Мооса, где 10 минералов (тальк, гипс, кальцит, флюорит, апатит, ортоклаз, кварц, топаз, корунд и алмаз), расположены в порядке возрастания твердости, так, что каждый последующий минерал оставляет царапину на предыдущем.

Выветриваемость — это подверженность минералов (а также и горных пород) изменениям под действием разнообразных атмосферных факторов.

Горными породами называются природные образования, состоящие либо из одного и того же минерала (*мономинеральные породы*), либо из нескольких минералов (*полиминеральные породы*). Горная порода характеризуется, *простираемостью* (площадью в плане), *мощностью* (глубиной залегания), строением и формой залегания.

1.2. Генетическая (по происхождению) классификация горных пород

Все горные породы делятся на три большие группы: 1) *магматические* или *изверженные* (первичные) горные породы; 2) *осадочные* (вторичные) горные породы; 3) *метаморфические* горные породы.

Рассмотрим каждую группу в отдельности придерживаясь следующей схемы: 1. Происхождение; 2. Классификация; 3. Минералогический состав; 4. Структура; 5. Основные представители, их свойства и применение.

1.3. Магматические (изверженные) горные породы. Процессы при образовании и классификация

Магматические (первичные) горные породы образовались в результате извержения и остывания магмы (каменного расплава, находящегося в недрах земли). Если порода образовалась по схеме, представленной на рис. 1.2-а, то

она называется *глубинной* или *интрузивной*. Если же порода произошла в результате остывания магмы, излившейся наружу, согласно схеме на рис. 1.2-

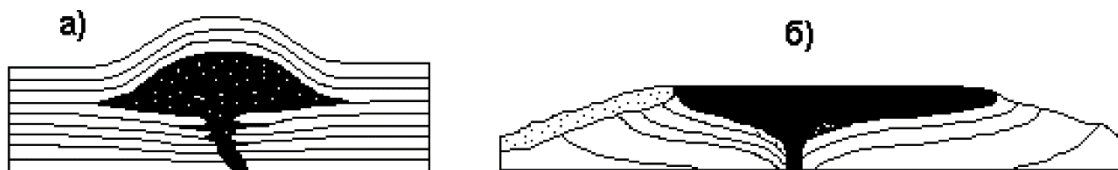


Рис. 1.2. Условия остывания магмы при образовании горных пород: а – глубинах; б – излившихся

б, то она называется *излившейся* или *эффузивной*.

Классификация магматических горных пород, процессы при их образовании и основные представители приведены на рис. 1.3.

Кроме массивных горных пород, при выбрасывании лавы из кратеров вулканов в виде выплесков и брызг образовались рыхлые вулканообломочные породы: вулканический песок и пепел. Последние могли быть сцементированы той же лавой, образовав ряд сцементированных пород, важнейшим

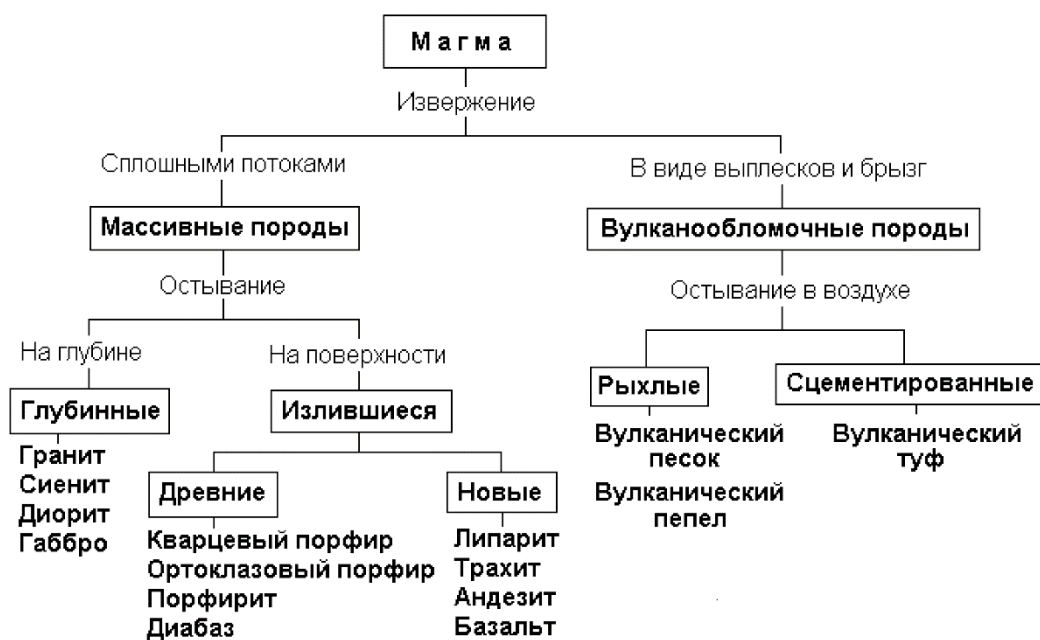


Рис. 1.3. Процессы при образовании и классификация магматических горных пород по происхождению представителем которых является *вулканический туф*.

1.4. Минералогический состав магматических горных пород

Все главные породообразующие минералы магматических горных пород можно разделить на четыре группы: 1) кварц, 2) полевые шпаты, 3)

слюды и 4) темноокрашенные. Последние в отличие от почти бесцветных кварца и полевых шпатов являются сильно окрашенными. Сопоставление минералов магматических горных пород приведено в табл. 1.1.

Таблица 1.1 — Важнейшие минералы магматических горных пород

Группа минералов	Наименование минерала	Химический состав	Содержание SiO ₂ , %	Плотность, г/см ³	Твердость	Отношение к выветриванию
Кварц	Кварц	SiO ₂	100	2,65	7	Не выветривается
Полевые шпаты	Ортоклаз	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂	64,8	2,56	6	Выветриваются легче остальных минералов, превращаясь в каолинит
	Плаггиоклазы: альбит	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂	68,7	2,62	6	
	олигоклаз	Изоморфная смесь Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6 SiO ₂ и CaO·Al ₂ O ₃ ·2 SiO ₂	—	—	6	
	андезин		—	—	6	
	лабрадор		—	—	6	
	битовнит		—	—	6	
	анортит	CaO·Al ₂ O ₃ ·2 SiO ₂	43,2	2,76	6	
Слюды	Мусковит	Калиевая слюда	56	2,75	2–2,5	Мусковит выветривается труднее биотита
	Биотит	Железوماгнезиальная слюда	32	3,2	2–2,5	
Темноокрашенные минералы	Авгит	Силикаты и алюминаты кальция магния и железа	Около 40	3,0–3,6	6	Выветриваются труднее полевых шпатов
	Роговая обманка					
	Оливин					

Рассмотрение табл. 1.1 позволяет сделать несколько весьма важных заключений.

Содержание в минералах кремнезема понижается по мере движения по таблице сверху вниз. Наверху таблицы стоит кварц, состоящий из 100 % SiO₂, внизу — темноокрашенные минералы с малым, порядка 35–50 %, содержанием кремнезема. Соответственно этому кислотность магматических горных пород будет зависеть от преобладания тех или иных минералов.

Магматические породы составлены по преимуществу из различных силикатов и алюмосиликатов! Этим они отличаются от осадочных пород, в которых над солями кремневой кислоты (силикатами) преобладают соли других кислот, в первую очередь угольной, отчасти серной и т. д.

Окраска минералов изменяется от светлой (вверху таблицы) до темной (внизу), так что все кислые породы будут слабо окрашенными, все основные, наоборот, окрашенными весьма сильно.

Сравнение плотности породообразующих минералов показывает нам, что породы с повышенным содержанием темных составляющих, будут характеризоваться бóльшим весом, чем породы кислые, светлоокрашенные.

По стойкости в отношении выветривания наименее желательными в породе являются полевые шпаты, которые выветриваются весьма быстро.

Кварц. В породах кварц (кристаллический кремнезем — SiO_2) по



преимуществу присутствует в виде обыкновенного кварца — непрозрачных или только слабо просвечивающих плотных зерен, имеющих стеклянный блеск и окрашенных в разнообразные цвета (рис. 1.4).

Рис. 1.4. Кварц

Весьма характерно для кварца, что кислоты на него не действуют, за исключением плавиковой.

Благодаря химической инертности, кварц почти не выветривается, вследствие чего он является последним остатком от разрушения пород, его содержащих. В то время как остальные минералы превращаются в тончайшие продукты разрушения (глину), кварц образует песок.

Полевые шпаты. К полевым шпатам относится группа из многих минералов, обладающих близкими физическими и химическими свойствами. Все минералы этой группы характеризуются светлыми оттенками разнообразных цветов. От кварца они отличаются меньшей твердостью (6 по шкале Мооса) и присущей им совершенной спайностью.

Полевые шпаты делятся на две группы: 1) *ортоклаз*, что в переводе с греческого значит прямо раскалывающийся, и 2) *плагиоклазы*, что означает косо раскалывающиеся.



Рис. 1.5. Ортоклаз

В ортоклазе (рис. 1.5) плоскости спайности образуют прямой угол, а в плагиоклазах — отличный от прямого (около 86°).

По химическому составу ортоклаз представляет собою алюмосиликат калия, а плагиоклазы — серию

минералов, крайними членами которой являются альбит (алюмосиликат натрия) и анортит (алюмосиликат кальция). Все промежуточные члены между альбитом и анортитом рассматриваются как изоморфные смеси того и другого в различных пропорциях.

Если обратиться к химическим формулам плагиоклазов, то легко видеть, что в альбите, в формулу которого входит 6SiO_2 , должен преобладать кремнезем (его содержание в альбите составляет 68,68 %), и наоборот, в анортите, в формулу которого входит всего только 2SiO_2 , кремнезем находится уже в подчиненном количестве (43,16 %). Поэтому альбит и олигоклаз должны быть причислены к кислым плагиоклазам, а анортит с примыкающим к нему битовнитом — к основным. Само собой разумеется, ортоклаз нужно рассматривать как кислый полевой шпат. Все полевые шпаты сравнительно легко выветриваются и превращаются в каолин — наиболее чистую разновидность глины.

Слюды. Из слюд в качестве породообразующих минералов наибольшее значение имеют биотит (черная слюда) и мусковит (прозрачная слюда) (рис. 1.6). От других минералов слюды отличаются весьма совершенной спайностью и низкой твердостью (2–2,5).

Если слюды входят в состав горной породы в значительном количестве, они сильно ухудшают ее механические свойства; при большом содержании слюды затрудняется также получение хорошей полированной поверхности.



Рис. 1.6. Слюда Мусковит



Рис. 1.7. Авгит

Темноокрашенные минералы — пироксены и амфиболы. Пироксенами и амфиболами называются две группы сходных между собою минералов, каждая из которых насчитывает по несколько представителей. Для пироксенов наиболее характерным минералом является авгит (рис. 1.7), а

для амфиболов — роговая обманка (рис. 1.8), почему часто пироксены называются авгитами, а амфиболы—роговыми обманками.

Лучшим отличительным признаком этих минералов служит угол, образуемый плоскостями спайности; у роговой обманки он равен 124° , а у авгита — 87° . Как амфиболы, так и пироксены отличаются от остальных минералов очень темной окраской и высокой плотностью от 3,0 до 3,6 г/см³. В отношении выветривания они превосходят полевые шпаты.



Рис. 1.8. Роговая обманка

1.5. Виды структур магматических горных пород

Зернисто-кристаллическая (гранитная) структура (рис. 1.9) магматических горных пород характеризуется тем, что отдельные минеральные зерна различимы простым глазом и приблизительно одинаковы по размеру. Зернисто-кристаллическая структура характерна преимущественно для глубинных пород, т. к. могла получиться только при медленном охлаждении магмы, когда ничто не мешало полной ее кристаллизации. Мелкозернистая

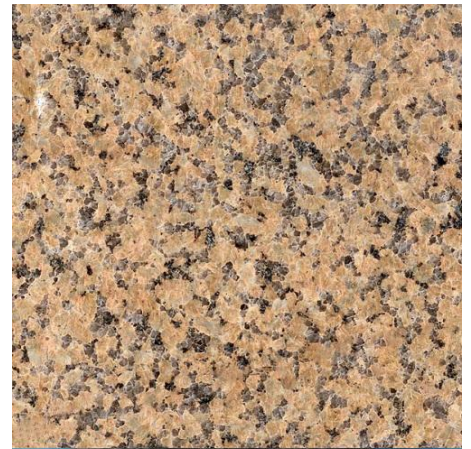


Рис. 1.9. Гранит. Зернисто-кристаллическая структура



Рис. 1.10. Ортоклазовый порфир. Порфировая структура

гранитная структура обеспечивает более

высокие механические свойства породы, чем крупнозернистая структура.

Порфировой структурой называется такая, при которой на фоне скрытокристаллической или

даже *стекловатой*¹ массы, наблюдаются отдельные крупные зерна (вкрапленники) (рис. 1.10). Зерна в основной массе порфировой структуры не различимы невооруженным глазом и могут быть определены лишь под микроскопом. Порфировая структура присуща излившимся породам. Наличие в последних вкрапленников можно объяснить тем, что кристаллизация магмы начиналась еще в недрах земли, когда температура снижалась очень медленно. После излияния магмы на поверхность застывала оставшаяся масса, но уже при достаточно быстром охлаждении, почему она и получилась плохо закристаллизованной.

Порфировидная структура (рис. 1.11) является разновидностью зернисто-кристаллической структуры, несмотря на то что называется порфировидной, то есть похожей на порфировую. Когда порода содержит



Рис. 1.11. Гранит
«Рапакиви».
Порфировидная
структура

вкрапленники весьма больших размеров и имеет окружающую их основную массу зернисто-кристаллическую, то это напоминает сильно увеличенную порфировую структуру.

Равномерно-зернистые породы превосходят в техническом отношении породы с порфировидной структурой, причем технические свойства (механическая прочность, стойкость против выветривания) повышаются обычно с уменьшением средней величины зерна.

1.6. Глубинные горные породы

Все глубинные горные породы: гранит, сиенит, диорит и габбро весьма сходны между собою по своим техническим свойствам. Они все обладают большой плотностью, ничтожно малой пористостью и сравнительно высокой механической прочностью.

¹ Стеклом называют твердые вещества аморфного строения, т. е. имеющие структуру застывшей жидкости.

Гранит. Минералогический состав гранита в среднем таков: кварца от 20 до 40%, ортоклаза (реже щелочного плагиоклаза) от 40 до 60%, слюды или роговой обманки (редко авгита) от 5 до 20%.

Структура гранитов преимущественно зернисто-кристаллическая, иначе гранитная («гранит» от латинского слова *granum* — зерно) и в некоторых случаях порфировидная. Красные граниты большинства зданий Санкт-Петербурга имеют порфировидное строение.

Цвет гранитов определяется цветом главной его составной части—ортоклаза. В зависимости от окраски последнего он бывает серый (рис. 1.12), желтоватый, красноватый, до мясо-красного (см. рис. 1.9).



Рис. 1.12. Гранит серый

Средняя плотность гранита колеблется около 2700 кг/м³ и повышается с увеличением в породе количества темнокрашенных минералов.

Временное сопротивление сжатию для гранитов (как и вообще для всех естественных камней) колеблется в очень широких пределах от 80 до 330 МПа. Большей прочностью обладают граниты с мелкозернистой структурой. Слюда понижает прочность гранита и препятствует получению хорошей полированной поверхности, т. к. легко выкрашивается, оставляя щербины. Темнокрашенные минералы, наоборот, повышают механические свойства и способность гранитов принимать полировку.

Стойкость гранита против выветривания в основном достаточно высокая. Лишь отдельные его представители, к которым относится финляндский гранит *рапакиви* (что значит гнилой камень), широко раньше применявшийся в строительстве Петербурга, разрушаются быстрее других. Гранит хорошо сопротивляется истиранию и является ценным материалом для лестничных ступеней, тротуарных плит, в дорожной одежде.

Обработка и отделка магматических горных пород затруднена из-за высокой твердости входящих в них минералов, поэтому они реже

применяются в обычных зданиях, а чаще используются в сооружениях, особо ответственных, или представляющих высокую архитектурную ценность.

Гранит употребляется для фундаментов зданий, для подпорных стенок, для устройства набережных, для внешней облицовки стен, для колонн зданий. В кусках малого размера он идет для дробления на щебень и т. д.



Рис. 1.13. Сиенит

Сиенит. Отличается от гранита отсутствием кварца; состоит из ортоклаза и темного минерала, чаще всего роговой обманки (рис. 1.13).

Применяется, как и гранит, отличаясь от последнего меньшей твердостью, повышенной вязкостью, в особенности при значительном содержании роговой обманки или авгита, и способностью лучше принимать полировку. Является ценным материалом для облицовки, мощения дорог и получения щебня.

Диорит. Состоит в основном из кислого плагиоклаза и роговой обманки, реже биотита и авгита; плагиоклаз составляет в среднем 75 % породы (рис. 1.14). Соответственно изменению минералогического состава диорит характеризуется более темной окраской, нежели гранит и сиенит, более высокой плотностью (2750–3000) и прочностью при сжатии.



Рис. 1.14. Диорит

Употребляются диориты как дорожный материал (брусчатка, щебень), в виде штучных камней и в качестве декоративного материала (благодаря способности отлично полироваться).

Габбро. Существенными минералами в габбро являются основной плагиоклаз (около 50 %) и пироксен, реже роговая обманка. Цвет в большинстве случаев темно-зеленый до черного различных оттенков.

Плотность 2800–3100 кг/м³, прочность при сжатии в мелкозернистых разновидностях 200–280 МПа, падая в крупнозернистых до 100 МПа. Габбро тяжело обрабатывается, но хорошо принимает полировку.

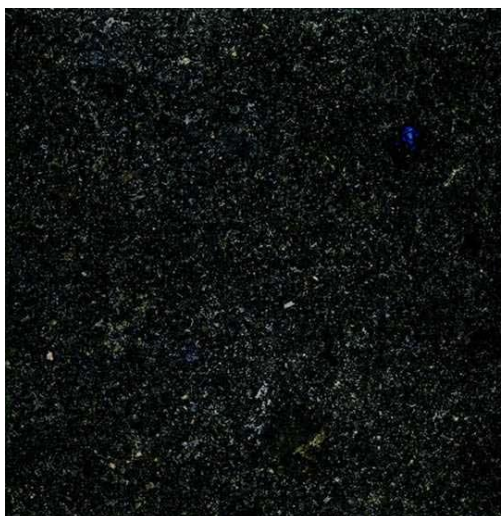


Рис. 1.15. Габбро-Лабрадорит

Из декоративных разновидностей глубинных пород особого упоминания заслуживает *лабрадорит*, крупнозернистая разновидность габбро, характеризующаяся преобладанием плагиоклаза лабрадора над другими минералами (рис. 1.15). Лабрадорит отличается так называемой ирризацией, т. е. игрой отблесков различных цветов: синего, голубого, зеленого и других.

1.7. Излившиеся горные породы

Для излившихся пород характерна способность давать сильно пористые разновидности (например, пемзу). Образование таких пористых разновидностей объясняется выделением газов, насыщавших магму в недрах земли. При понижении давления, в результате извержения магмы, растворенные в ней газы выделялись наружу и вспенивали массу в процессе ее застывания. Излившиеся породы могут быть как пористыми, так и плотными, в отличие от глубинных, которые, в силу условий их образования на глубине, пористых разновидностей давать не в состоянии.

Кварцевый порфир и липарит. Кварцевый порфир и липарит по химическому и минералогическому составу аналогичны граниту (рис. 1.16–1.17). От последнего они отличаются своей порфировой структурой. Вкрапленниками в них являются кварц и, часто, полевой шпат. Цвет



Рис. 1.16. Кварцевый порфир

кварцевых порфиров и липаритов серый, желтоватый, бледнокрасный и кирпично-красный. Друг от друга кварцевый порфир и липарит отличаются своим возрастом и свежестью составляющих их минералов, кварцевые порфиры подверглись изменению и несколько темнее липаритов. Технические свойства кварцевых порфиров и липаритов повышаются с уменьшением количества в них вкрапленников. Поэтому плотные фельзиты (породы без вкрапленников) принадлежат к лучшим сортам строительного камня;



механическая прочность их достигает 280 МПа.

Кварцевые порфиры и липариты довольно широко используются в качестве штучного камня и в виде декоративного и поделочного материала, в том случае, когда

они имеют красивый цвет и рисунок.

Ортоклазовый порфир и трахит представляют излившиеся аналоги сиенита (рис. 1.18–1.19). От предыдущих излившихся пород они обличаются отсутствием кварца. Характеризуются повышенной пористостью и, благодаря этому, сравнительно малой средней плотностью (2200–2610) и малым временным сопротивлением сжатию, в среднем 60–70 МПа. Окраска серая до зеленовато-серой, желтоватая и красноватая.



Рис. 1.18. Ортоклазовый порфир



Рис. 1.19. Трахит

Эти породы легче обрабатываются и быстрее истираются, нежели предыдущие. Трахит в силу своего пористого сложения не поддается полировке, а в силу присущей ему шероховатости (трахит по-гречески означает шероховатый) хорошо связывается со строительными растворами.

Порфирит и андезит по минералогическому составу тождественны диориту (рис. 1.20–1.21). Окраска их колеблется от светлосерой до темносерой, причем порфириты характеризуются, как правило зеленоватыми тонами.



Рис. 1.21. Андезит

Средняя плотность находится в пределах $2,56\text{--}2,85\text{ г/см}^3$; временное сопротивление сжатию колеблется между $120\text{--}240\text{ МПа}$. Применяются в качестве строительного камня для самых разнообразных целей.

Диабаз и базальт. Диабаз и базальт тождественны по минералогическому составу габбро и благодаря обилию в них темных составляющих характеризуются почти черной окраской и матовым тусклым видом (рис. 1.22–1.23). Диабазы являются продуктом более древнего времени, базальты же относятся к молодым породам.



Рис. 1.22. Диабаз

Диабаз является отличным материалом для мощения улиц. Его применяют в виде диабазовой шашки (брусчатки). Механическая прочность диабазов почти всегда превышает 200 МПа .



Рис. 1.23. Базальт

Базальт является наиболее тяжелой и наиболее прочной из всех рассмотренных излившихся пород, его средняя плотность равна $2,7\text{--}3,3\text{ г/см}^3$, а прочность лучших образцов может достигать 500 МПа , что превосходит глубинные породы. Для базальтов характерна высокая хрупкость, вследствие чего они сравнительно легко раскалываются.

Базальт хорошо полируется, однако из-за высокой твердости трудно поддается обработке.

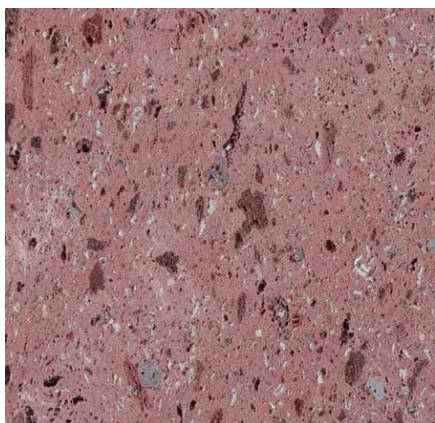
Базальт применяется как в дорожном деле, так и для ответственных инженерных сооружений. Базальт является сравнительно легкоплавкой породой, поэтому используется для получения изделий путем литья. В строительстве используются теплоизоляционные и акустические материалы на основе базальтовой ваты.

1.8. Вулканообломочные породы

Лавой обычно называют огненно-жидкие продукты извержения вулканов. Лавы содержат в себе в растворенном состоянии значительное количество газообразных продуктов, которые или успевают выделиться до застывания лавы (плотные лавы) или вспенивают ее, придавая ей пористую или пузырчатую структуру.

Помимо потоков жидкой лавы, вулканы при извержениях выбрасывают в воздух колоссальное количество той же лавы в раздробленном состоянии (вулканический песок и пепел). Последние иногда так и сохраняются в рыхлом состоянии (пуццолана), а иногда подвергаются последующей цементации, превращаясь в более или менее плотные породы, которые называются *вулканическими туфами* (рис. 1.24). Наконец, когда к жидкой лаве при вулканических извержениях примешиваются рыхлые продукты вулканической деятельности, порода называется туфовой лавой.

Артикский туф. Около ст. Артик (Армения), расположены большие



разработки туфовой лавы вулкана Алагез, которая не совсем правильно называется артикским туфом. По своим техническим свойствам является ценным строительным материалом для стен Жилых зданий при обязательном, однако, оштукатуривании стен снаружи.

По внешнему виду артикский туф представляет собою пористую, звонкую при ударе породу

Рис. 1.24. Артикский туф

в основном розовато-фиолетового цвета с различными оттенками. При истинной плотности 2560 кг/м^3 средняя плотность породы равна 1200 кг/м^3 . Соответственно этому арктический туф характеризуется высокой пористостью и малой теплопроводностью; истинная пористость породы составляет 57–60 %, коэффициент внутренней теплопроводности в сухом состоянии в два раза меньше, чем для красного кирпича; соответственно этому толщина стены из арктического туфа может быть уменьшена вдвое по сравнению с кирпичной. Механическая прочность арктического туфа невелика, но вполне достаточна для применения его в стенах зданий; его временное сопротивление сжатию в среднем равно 10,5 МПа. Помимо этого, арктический туф достаточно морозостоек, легко обрабатывается (его можно пилить обыкновенной пилой) и хорошо держит вбиваемые в него гвозди.

Занятие 2. Естественные каменные материалы из осадочных и метаморфических горных пород

2.1. Процессы при происхождении и классификация осадочных пород

Изверженные (первичные) горные породы, находящиеся на земной поверхности, подвергаясь выветриванию под воздействием разнообразных атмосферных факторов (воздуха, воды, смены температур, растительных и животных организмов) постепенно превращаются в рыхлые продукты разрушения, которые отчасти ветром и льдом, главным же образом водой, сносятся в более низкие места, водные бассейны, моря и океаны, где происходит их осаждение. Произошедшие таким образом горные породы называются вторичными или осадочными.

Вода может переносить продукты разрушения двумя путями: 1) механически — мелкие частицы во взвешенном состоянии, а крупные — перекатывая по дну; 2) в виде водного раствора, т. к. некоторые продукты образуются в растворимом состоянии. В зависимости от этого образование осадка может быть либо в результате механического выпадения частиц из потока, либо в результате выделения растворенного вещества в осадок при испарении воды или химической реакции, в результате которой образуется нерастворимое соединение. Осадок может образоваться также в результате жизнедеятельности низших животных или растительных организмов. Поэтому осадочные породы подразделяют на *механические осадки* или *обломочные породы*, *физико-химические осадки* и *органогенные породы* (рис. 2.1).

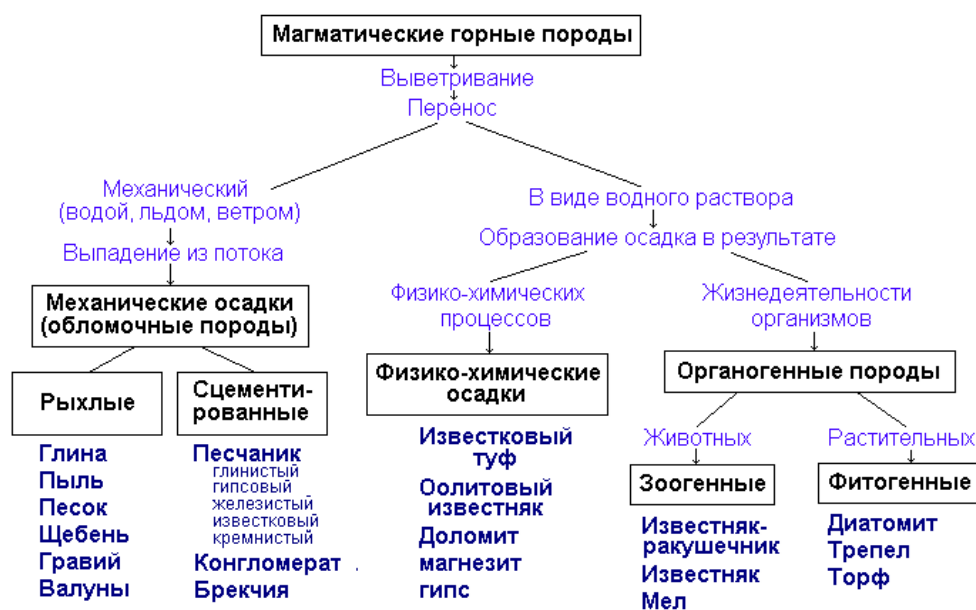


Рис. 2.1. Классификация осадочных горных пород по происхождению

Механические осадки в свою очередь подразделяются на рыхлые (глина, песок, гравий, щебень) и сцементированные. К сцементированным породам относятся *песчаник* (сцементированный песок), *конгломерат* (сцементированный гравий), *брекчия* (сцементированный щебень).

Органогенные породы подразделяются на *зоогенные* и *фитогенные*. Первые образовались в результате жизнедеятельности животных организмов,

вторые — растительных организмов. Важнейшие представители осадочных пород каждой группы указаны на схеме рис. 2.1.

2.2. Минералогический состав осадочных горных пород

В осадочных породах, таких как механические осадки, могут встретиться все минералы первичных пород. Однако для осадочных горных пород характерны и свои, присущие только им минералы. В то время как в магматических породах преобладают соли слабых кислот (кремневой и алюмокремневой) в осадочных горных породах силикаты и алюмосиликаты играют подчиненную роль, уступая первое место солям сильных кислот: угольной, серной и т. д.

Из минералов, присущих только осадочным горным породам, наибольшее значение имеют следующие: кальцит, магнезит, доломит, гипс, каолинит и водный кремнезем (табл. 2.1).

Таблица 2.1 — Важнейшие минералы осадочных горных пород

Наименование минерала	Химический состав	Цвет	Плотность, г/см ³	Твердость	Примечание
Кальцит	CaCO ₃	Белый и др. светлых оттенков	2,6–2,8	3	Легко реагирует с HCl
Магнезит	MgCO ₃	Белый, серый, желтый и др. оттенков	2,9–3,1	3,5–4	Сырье для каустического магнезита и огнеупоров
Доломит	CaCO ₃ ·MgCO ₃		2,8–2,9	3,5–4	Сырье для каустического доломита и огнеупоров
Гипс	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Белый и др. светлых оттенков	2,3	2	Сырье для гипсовых вяжущих веществ
Ангидрит	CaSO ₄	Белый с разными оттенками	2,9–3,0	3–3,5	
Каолинит	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	белый	2,4–2,6	1	Входит в состав глин
Водный кремнезем	SiO ₂ ·nH ₂ O	Разных оттенков	—	6	Природное цементирующее вещество

Кальцит (известковый шпат). Кальцит (CaCO_3) (рис. 2.2) встречается в составе известняков и мраморов. Чистый кальцит бесцветен, при наличии же примесей он бывает сероватым, белым или окрашенным в светлые оттенки голубого, желтого, бурого и других цветов. Твердость кальцита равна 3, он характеризуется весьма совершенной спайностью по трем направлениям.



Рис. 2.2 Кальцит

Кальцит распознают по реакции с соляной кислотой, с которой он хорошо реагирует даже на холоде, выделяя с характерным вскипанием углекислый газ. Растворимость кальцита в обычной воде ничтожно мала, однако он хорошо растворяется в воде, содержащей CO_2 . Последнее обстоятельство нужно учитывать при использовании строительного камня из пород, богатых CaCO_3 .

Магнезит и доломит. В природе углекислый магний, встречается в виде минерала магнезита (MgCO_3) (рис. 2.3) в составе одноименной породы. Как естественный строительный камень магнезит значения не имеет, он главным образом идет для изготовления огнеупорных изделий и для приготовления вяжущего вещества — каустического магнезита.



Рис. 2.3 Магнезит

Доломит (рис. 2.4) представляет по химическому составу двойную соль углекислых кальция и магния ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Он встречается как в кристаллическом виде, так и в виде зернистых и, реже, землистых масс в составе породы с таким же названием. Применяется, как и магнезит в производстве огнеупоров и для получения вяжущего вещества — каустического доломита.



Рис. 2.4 Доломит

Твердость магнезита и доломита примерно одинакова 3,5—4. Различают их по действию соляной кислоты. Магнезит не реагирует с соляной кислотой ни при каких условиях, а доломит реагирует, но

плохо; при подогревании выделяет CO_2 . В горных породах кальцит и доломит сопутствуют друг другу в различных соотношениях.

Гипс и ангидрит. Природный гипс (рис. 2.5) представляет собой водную сернокислую соль кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Помимо гипса встречается безводная соль —



Рис. 2.5 Гипс



Рис. 2.6 Ангидрит

CaSO_4 , называемая ангидритом (рис. 2.6).

Ни тот, ни другой как естественные камни, в строительстве не употребляются. Гипс может иногда являться цементирующим веществом в песчаниках. Главное применение гипса и ангидрита — получение гипсовых вяжущих веществ.

Каолинит. Каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) образуется при выветривании полевых шпатов и является главной составной частью многих глин. Чистый каолинит имеет белый цвет, землистый вид, на ощупь слегка жирен и легко рассыпается. Твердость 1 (рис. 2.7).



Рис. 2.7 Каолинит

Водный кремнезем. Минерал состава SiO_2 (рис. 2.8) в осадочных породах



Рис. 2.8 Водный кремнезем

в отличие от магматических горных пород присутствует не только в кристаллическом состоянии (в виде кварца), но также и в аморфном виде, часто в соединении с водой ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$); таков, например опал, содержащий до нескольких процентов воды. Водный аморфный кремнезем

слагает такие осадочные породы как диатомит и трепел, а также является очень прочным природным цементирующим веществом, заполняя промежутки между зернами песка (в песчаниках), и кальцита (в известняках).

2.3. Структура осадочных горных пород

Важнейшее значение имеют следующие виды структур.

Зернисто-кристаллическая (мраморовидная), когда порода состоит из кристаллических зерен, ясно различимых простым глазом или под

микроскопом (см. рис. 2.3). В зависимости от среднего диаметра составляющих породу зерен различают: мелко- (0,25–0,75 мм), средне- (0,75–1,25 мм), крупно- (1,25–2 мм) и грубозернистую структуру (2–3 мм).

Плотная (иначе тонкозернистая), когда зерна трудноотличимы друг от друга даже под микроскопом (см. рис. 2.4). Условно к плотным относят породы зернисто-кристаллической структуры с величиной зерна менее 0,25 мм

Оолитовая, когда порода состоит из круглых шариков радиально-концентрического сложения, сцементированных тем или иным естественным цементирующим веществом (см. рис. 2.14). Встречается у известняков, называемых в этом случае оолитовыми.

Обломочная (кластическая), когда горная порода состоит из обломков минералов или горных пород, сцементированных тем или иным природным цементом (см. рис. 2.11). Такую структуру имеют песчаники, конгломераты и брекчии.

Пенистая или **туфовая** — структура пористых горных пород (см. рис. 2.13).

2.4. Рыхлые обломочные горные породы

В зависимости от размера частиц условно различают следующие рыхлые породы: глину (<0,005 мм), пыль (0,005–0,05 мм), песок (0,05–5 мм), щебень и гравий (>5 мм), булыжники и валуны (крупные камни).

Глина представляет собой мучнистую, тонкодисперсную породу, сложенную так называемыми глинообразующими минералами: каолинитом, монтмориллонитом ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), гидрослюдами и некоторыми другими, которые состоят из отдельных тончайших частиц (<1 мкм), пластинчатой формы, связанных между собой силами молекулярного притяжения.

Глины образуются в результате выветривания горных пород, богатых полевыми шпатами (гранита, сиенита, гнейса, порфира и т. д.) (См. также § 2, гл. 6).

Песок. Пески могут быть кварцевые, полевошпатовые, известковые, доломитовые.

Речной песок, морской и озерный пески, характеризуются округлой формой зерен и хорошо обточенной поверхностью. Горный и овражный пески имеют угловатую форму и шероховатую поверхность зерен.

Большие количества песка расходуются для приготовления строительных растворов и бетонов, в дорожном деле для устройства оснований дорог и приготовления асфальтобетона. Громадные количества песка потребляет железнодорожное строительство. Чисто кварцевые (без примесей) пески высоко ценятся и употребляются как сырье в стекольной, керамической и металлургической промышленности.

Щебень и гравий. Щебень (рис. 2.9) является породой первичной по отношению к гравию, он образуется непосредственно из материнской породы при ее разрушении и поэтому состоит из обломков,

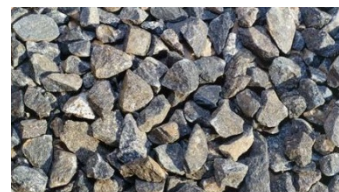


Рис. 2.9 Щебень



Рис. 2.10 Гравий

имеющих угловатую, острогранную, неокатанную форму. Гравий (рис. 2.10) образуется из щебня в руслах рек, по берегам морей и озер. Частицы гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность.

Гравий и щебень применяются в дорожном деле и как заполнитель для бетона.

2.5. Цементированные обломочные породы

Цементированные обломочные породы образуются из рыхлых отложений в результате их уплотнения и воздействия просачивающейся сквозь них воды, несущей в себе то или иное цементирующее вещество.

Песчаники. Различают следующие виды песчаников, перечисленных в порядке возрастания их технических качеств: 1) глинистый; 2) гипсовый; 3) железистый; 4) известковый; 5) кремнистый и др.

Глинистые песчаники содержат в качестве цементирующего вещества глину. Они мало прочны, морозонестойки, размягчаются в воде и быстро выветриваются.

Гипсовые песчаники относятся к слабым породам. Гипс сравнительно легко растворяется, а потому такие песчаники не обладают достаточной устойчивостью.

Железистые песчаники, сцементированные бурым или красным железняком, являются достаточно удовлетворительными строительными материалами.

Известковые песчаники, цементирующим веществом в которых является плотный или кристаллический кальцит, обладают высокой прочностью и устойчивостью. При значительном содержании в цементе $MgCO_3$ песчаники называются доломитовыми.

Кремнистые песчаники, роль цементирующего вещества в которых выполняет кремнезем в виде кварца, халцедона или опала обладают весьма высокой механической прочностью, приближающейся к прочности магматических пород, малой истираемостью, большой твердостью и огнеупорностью. К недостаткам кремнистых песчаников должна быть отнесена лишь их трудная обрабатываемость.

В строительстве песчаники употребляются в качестве штучного камня, облицовочного материала, для изготовления щебня.

Конгломераты и брекчии. В конгломератах (рис. 2.9) сцементированы округленные обломки горных пород (изверженных или осадочных), а в брекчиях — угловатые.



Рис. 2.11 Конгломерат

Наиболее прочны и устойчивы породы с кремнистым и известковым цементами.

2.6. Осадочные породы химического и органогенного происхождения

Осадочные породы химического происхождения получились в результате осаждения вещества из истинных и коллоидных растворов.

Органогенные породы также выделились из воды морских или пресных бассейнов, но в их образовании играли роль низшие животные и растительные организмы, в том числе и бактерии.

Известняки представляют большую группу пород, сложенных в главной своей массе минералом кальцитом и различающихся структурой.

По большей части известняки бывают загрязнены различными примесями, наибольшее значение из которых имеют глина и углекислый магний.

Смесь глины с известняком, может быть настолько совершенной, что простым глазом не удастся различить отдельных частиц глины и известняка. Количество глины может варьировать в весьма широких пределах, так что имеется следующий ряд переходных пород от известняка к глине: известняк — глинистый известняк — известковый мергель — мергель — глинистый мергель — известковая глина — глина. Аналогично примесь $MgCO_3$ дает две переходных от известняка к доломиту породы: магнезиальный известняк и известковый доломит.

Рассмотрим кратко главнейшие разновидности известняков.

Плотный или обыкновенный известняк. При рассмотрении этих известняков под микроскопом обнаруживается, что они состоят из мелких зерен кальцита, связанных цементирующим веществом, чаще всего кальцитовым или известково-глинистым. Наиболее совершенные представители этой группы приближаются по структуре и свойствам к мраморам и называются мраморизованными известняками.



Рис. 2.12 Известняк обыкновенный

Обыкновенные известняки (рис. 2.12) являются довольно распространенными в природе и широко используются в строительстве в качестве штучного (т. е. обработанного) и бутового (т. е. необработанного, имеющего неправильную форму) камня. При достаточной прочности они могут идти на приготовление щебня для бетона.

Известковый туф. Известковые туфы (рис. 2.13) произошли в результате растворения углекальциевых пород и осаждения их в новом месте. Растворимость CaCO_3 возрастает весьма сильно, если в воде содержится свободная углекислота. Такая вода, просачиваясь в недрах земли через известняковые отложения, растворяет их по реакции



При недостатке CO_2 реакция протекает в обратном направлении, поэтому когда вода, содержащая в растворе $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, выходит на поверхность, углекислота из неё, вследствие понижения давления, улетучивается и CaCO_3 выделяется из раствора. Из-за выделения CO_2 образуются сильно пористые, ноздреватые и ячеистые отложения CaCO_3 , называемые известковым туфом. Благодаря малой средней плотности и достаточной прочности известковый туф используется в качестве стенового материала.



Рис. 2.13 Известковый туф

Оолитовый известняк. Оолитовые известняки (рис. 2.14) состоят из



Рис. 2.14 Оолитовый известняк

концентрически сложенных кальцитовых шариков, сцементированных углекислым кальцием. Внутри каждого шарика находится песчинка или другое постороннее тело. В зависимости от размеров шариков порода называется икряным или гороховым камнем.

По техническим свойствам оолитовые известняки значительно уступают плотным. Их временное сопротивление сжатию

колеблется около 20 МПа. В некоторых случаях они применяются взамен более прочных пород.

Известняк-ракушечник. Ракушечниками (рис. 2.15) называются разновидности известняков, состоящие из раковин моллюсков различной степени сохранности, сцементированных между собою углекальциевым цементом.



Рис. 2.15 Известняк ракушечник

Цвет ракушечников желтовато-белый, иногда серый или слабо синеватый. Они характеризуются весьма высокой пористостью и вследствие этого малой средней плотностью порядка 1300 кг/м^3 . Теплопроводность ракушечников в 2–3 раза меньше, чем у красного кирпича. Благодаря малой твердости, особенно во влажном состоянии, ракушечники легко обрабатываются; их можно пилить обыкновенной пилой и тесать топором. Они также обладают хорошей гвоздимостью. Отрицательным качеством ракушечников является их сильное водопоглощение, что требует во влажном климате наружной штукатурки зданий. Ракушечник является весьма распространенным стеновым материалом в южных районах России.

Диатомит. Диатомит (рис. 2.16) — слабосцементированная кремнистая (сложенная аморфным кремнеземом) порода белого светло-серого и желтовато-серого цвета, состоящая из скоплений микроскопических скелетов водорослей-диатомей, радиолярий и губок.



Рис. 2.16. Диатомит



Рис. 2.17. Трепел

Трепел. Трепел (рис. 2.17) — порода, вторичная по отношению к диатомиту, состоящая из мельчайших зерен опала или халцедона (разновидностей аморфного кремнезема). По своим физико-техническим свойствам трепел сходен с диатомитом. Обе породы применяются в качестве гидравлической добавки к цементу и извести, как тонкодисперсные

наполнители в материалах на основе битумов и полимеров и т. п.

2.7. Метаморфические горные породы

Как магматические, так и осадочные породы с течением времени оказываются погребенными под новыми толщами отложений. Попадая в глубокие зоны земной коры, они подвергаются метаморфизму, т. е. изменениям, происходящим в породе под влиянием высокого давления и высокой температуры в недрах земли, а также воздействия глубинных минеральных источников и газов. В результате образуются новые породы, отличающиеся от исходных только структурой — характерным слоистым расположением минералов, за что они получили название кристаллических сланцев (сланцеватость — означает слоистость).

Из кристаллических сланцев наибольшее практическое значение в строительном деле имеют гнейс и глинистые сланцы. К метаморфическим породам относят также кварциты и мраморы, не обладающие сланцеватостью, а характеризующиеся, как например в случае мрамора, ярко выраженной зернистостью.

Гнейс. Предполагается, что гнейс (рис. 2.18) — это продукт метаморфизма гранита, он сходен с ним по минералогическому составу и отличается от последнего лишь более или менее резко выраженной сланцеватостью. По техническим свойствам гнейсы стоят несколько ниже гранитов, почему их применение, как строительного камня, более ограничено. Присущая гнейсам сланцеватость, с одной стороны, облегчает их разработку и позволяет получать без особого труда плиты для тротуаров, полов и т. д., а с другой стороны, понижает их механическую прочность.



Рис. 2.18. Гнейс

Глинистые или кристаллические сланцы. Кристаллическими сланцами



Рис. 2.19.

Глинистый сланец

(рис. 2.19) называются продукты метаморфизма глинистых осадочных пород, характеризующиеся весьма совершенной сланцеватостью. Они способны раскалываться на очень тонкие пластины, до 2,5 мм толщиной.

Кровельные сланцы состоят главным образом из кварца, слюды и глинистого вещества. Цвет их меняется от серого до черного. Кровельные сланцы являются прекрасным кровельным материалом, исключительно долговечным, превосходящим в этом отношении все другие виды кровельных материалов: металл, черепицу, искусственный шифер. Кровельный сланец не требует окраски и периодических ремонтов, огнестоек, не разрушается при действии на него паров кислот и сернистого газа. По сравнению с черепицей кровельный сланец имеет большую долговечность, водонепроницаемость, меньший вес (крыши, покрытые кровельным сланцем, почти на 50 % легче черепичных). Плитки из кровельного сланца можно обрезать и опиливать, а также пробивать гвоздями.

Кварцит. Кварциты (рис. 2.20) образуются в результате метаморфизма кремнистых песчаников, когда цементирующее кремнистое вещество переходит в кварц и сливается с кварцевыми зернами песка. Цвет кварцитов обусловлен примесями. Наиболее распространены белые, серые, желтоватые и красные кварциты. Кварциты характеризуются самой высокой прочностью и твердостью



Рис. 2.20. Кварцит

среди всех горных пород. Несмотря на трудности добычи и обработки, кварциты широко употребляются в строительстве в качестве штучного камня, для изготовления щебня и других целей. Многие сорта кварцитов используются для облицовки зданий и для декоративных деталей. Сливные кварциты широко применяются для изготовления специального вида огнеупорного кирпича, известного под наименованием динаса.

Мрамор. Мрамором (рис. 2.21) в петрографии обозначают породу, состоящую сплошь из кристаллических зерен кальцита, в некоторых случаях

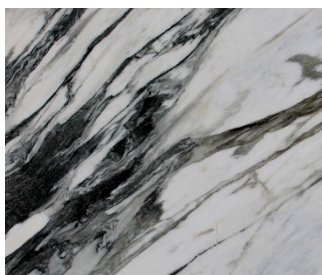


Рис. 2.21. Мрамор

с примесью углекислого магния, достигающей иногда до состава чистого доломита. Предполагается, что мрамор образовался в результате метаморфизма карбонатных пород. При наблюдении шлифа мрамора под микроскопом в нем совершенно не видно аморфного цементирующего вещества; отдельные зерна кальцита

срастаются без промежуточного цемента так, как это наблюдается, например в гранитах.

Цвет мраморов весьма разнообразен и зависит от природы примесей. При неравномерном распределении примесей получается мрамор различных цветов и узоров.

Ценность мрамора повышается с уменьшением величины зерен. Мрамор разрабатывается сравнительно легко; из него можно выпиливать весьма тонкие плиты. Под влиянием сернистого газа мрамор выветривается, превращаясь в гипс.

Мрамор употребляется главным образом как декоративный и отделочный материал для внутренней облицовки зданий, для перил, лестничных ступеней, подоконников, в качестве мраморной крошки для мозаичных полов и т. д.

2.8. Виды строительного камня

Материалы из естественного камня по форме можно подразделить на четыре вида: 1) штучные камни (стенные, дорожные); 2) плиты (облицовочные, половые, тротуарные, кровельные, плиты перекрытий, плиты ограждений); 3) песок, щебень, гравий, булыжник, валуны; 4) архитектурно-строительные детали (элементы пилястр и колонн, ступени, наличники, карнизные пояски, подоконники, каминные полки, столешницы и т.п.).

Необработанные камни и плиты, полученные взрывным способом или

откалыванием от породы, называют *бутовым камнем*. При разработке слоистых пород (известняков, песчаников, гнейсов) бут получается постелистым, что представляет удобство для бутовой кладки фундаментов и дает возможность применения его в качестве тротуарных плит.

Природные каменные материалы по средней плотности делятся на тяжелые ($\gamma_0 > 1800 \text{ кг/м}^3$) и легкие ($\gamma_0 \leq 1800 \text{ кг/м}^3$). Марки камней по прочности при сжатии: тяжелых пород — 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 800; 1000; легких — 4; 7; 10; 15; 25; 35; 50; 75; 100; 150; 200 (что означает нижний предел прочности в кгс/см^2); по морозостойкости — 10; 15; 25; 50; 100; 200; 300; 500 (циклов замораживания и оттаивания); по коэффициенту размягчения — 0,6; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0.

2.9. Выветривание каменных материалов и меры борьбы с этим явлением

Факторы выветривания каменных материалов, можно разделить на три группы: 1) физические; 2) химические; 3) биологические.

Физические факторы выветривания, имеющие наибольшее значение — это колебания температуры, давление воды, расширяющейся при замерзании, и растворяющее действие воды.

Колебания температуры обуславливают возникновение и постепенное развитие трещин в каменных материалах. В полиминеральных породах гранитной и особенно порфировидной структуры это объясняется несовместимостью температурных деформаций минералов, различающихся цветом и коэффициентом температурного расширения.

Давление замерзающей воды в порах и трещинах камня является одним из самых существенных факторов разрушения.

Факторы химического выветривания — это в основном гидролитическое действие воды, химическое растворение пород и воздействие природных и промышленных газов.

Гидролитическое действие воды проявляется в отношении, например, полевых шпатов. Несмотря на чрезвычайно малую растворимость, в воде, в присутствии уголекислоты, они распадаются на нерастворимый каолинит (алюмокремневую кислоту) и легкорастворимые уголекислый калий и аморфный кремнезем:



Химическое растворение известняков, доломитов, магнезита (пород, сложенных уголекислым кальцием или уголекислым магнием) происходит в воде, содержащей свободную уголекислоту.

Растворение каменных материалов может происходить также при наличии в воде органических и неорганических кислот.

Воздействие газов, главным образом кислорода и сернистого газа (SO_3), играют важнейшую роль в выветривании каменных материалов.

Оба газа могут образовать серную кислоту, кислород — при действии на пирит (FeS_2), а сернистый газ — при растворении в воде. Разрушительное действие серной кислоты на большинство минералов известно, так, мрамор на открытом воздухе легко перерождается в гипс.

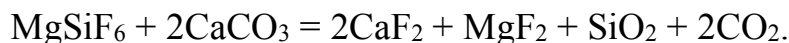
Биологическое выветривание, обусловленное жизнедеятельностью некоторых низших организмов (грибов, лишайников, мхов), наиболее часто наблюдается на северных, как правило, шероховатых стенах зданий и сооружений. Разрушению камня способствует выделение растениями органических кислот и потребление ими минеральных веществ, переходящих в раствор.

Меры борьбы с выветриванием могут быть конструктивными и консервационными.

Конструктивные меры заключаются в создании рациональных конструкций (отсутствии выступов, карнизов, на которых могла бы задерживаться вода, шлифовка и полировка камня и т. п.)

Консервирование камня заключается пропитке его на достаточную глубину специальными составами.

Флюатирование — способ, применяемый в отношении известняков. При пропитывании их раствором флюатов Кесслера (солей кремнефтористоводородной кислоты) получается целый ряд трудно растворимых в воде соединений. Так, например, при применении магниевого флюата образуются трудно растворимые соединения:



Аванфлюатирование применяется по отношению к камням, не содержащим CaCO_3 . В этом случае камень перед флюатированием пропитывают составом, содержащим известковую или иную соль, с которой флюат дает нерастворимые соединения.

Занятие 3. Испытания природного камня (лабораторная работа № 1)

3.1. Основные физические свойства строительных материалов

Средняя плотность (объемная масса) γ_0 (кг/м^3) — это масса единицы объема материала в естественном состоянии $\gamma_0 = m/V_{\text{ест}}$, где m — масса высушенного образца, $V_{\text{ест}}$ — объем образца в естественном состоянии (этот объем складывается из объема пор $V_{\text{пор}}$ и *абсолютного объема* $V_{\text{абс}}$ — объема плотной части материала:

$$V_{\text{ест}} = V_{\text{пор}} + V_{\text{абс}}. \quad (3.1)$$

Истинная плотность (удельная масса) $\gamma_{\text{ист}}$ (кг/м^3) — это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии

$$\gamma_{\text{ист}} = m/V_{\text{абс}}. \quad (3.2)$$

Насыпная плотность $\gamma_{\text{нас}}$ (кг/м^3) — это масса единицы объема сыпучего материала (песка, гравия, цемента) в стандартно уплотненном состоянии

$$\gamma_{\text{нас}} = m/V_{\text{нас}}, \quad (3.3)$$

где m — масса сыпучего материала в мерном сосуде, $V_{\text{нас}}$ — объем мерного сосуда.

Истинная пористость P_0 — это процентное содержание пор в объеме материала

$$P_0 = (V_{\text{пор}}/V_{\text{ест}})100 = [(V_{\text{ест}} - V_{\text{абс}})/V_{\text{ест}}]100 = [(\gamma - \gamma_0)/\gamma]100. \quad (3.4)$$

Плотность и пористость некоторых материалов приведены в (табл. 3.1).

Таблица 3.1 — Характеристики физических свойств материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Истинная пористость, %
Кварц	2650	-	-
Гранит	2700–2800	2600–2700	0,5–1
Бетон (тяжелый)	2600–2700	2200–2500	8–12
Кирпич керамический	2500–2600	1400–1800	25–45
Древесина	1500–1550	400–800	45–70
Пенополистирол	1100–1200	15–80	92–99
Сталь	7800	-	-

Водопоглощение — это способность материала впитывать и удерживать в себе воду при атмосферном давлении. Водопоглощение характеризуют (%):

$$\text{по массе} \quad B_m = [(m_{\text{нас}} - m)/m] \cdot 100, \quad (3.5)$$

$$\text{по объему} \quad B_o = [(m_{\text{нас}} - m)/\rho \cdot V_{\text{ест}}] \cdot 100, \quad (3.6)$$

где $m_{\text{нас}}$ — масса материала в насыщенном водой состоянии, ρ — плотность воды, равная 1 г/см³.

Капиллярная пористость P_k (рис. 3.1) — это степень заполнения объема капиллярными (открытыми) порами (%).

$$P_k = (V_{\text{кап}}/V_{\text{ест}}) \cdot 100, \quad (3.7)$$

где $V_{\text{кап}}$ — объем капиллярных пор. Эти поры заполняются водой, поэтому $V_{\text{кап}} \approx V_{\text{воды в порах}} = (m_{\text{нас}} - m)/\rho$ и капиллярная пористость равна

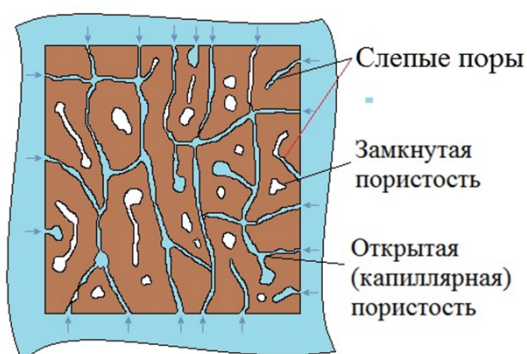


Рис. 3.1. Виды пор в материалах

водопоглощению по объему $P_k = B_o$.

Величину B_o называют *кажущейся пористостью*. Эта величина всегда меньше истинной пористости, но если подойти более строго, то следует сказать, что она меньше и капиллярной пористости, так как в открытых порах остается заземленный воздух.

Замкнутая пористость Π_z (%) — это степень заполнения объема замкнутыми (закрытыми) порами, в которые вода не проникает. Замкнутую пористость можно приближенно определить по разности между истинной и капиллярной пористостью

$$\Pi_z = \Pi_0 - B_0. \quad (3.8)$$

Все перечисленные выше характеристики вычисляются по экспериментально полученным значениям четырех величин: массы образца в высушенном (m) и водонасыщенном ($m_{\text{нас}}$) состояниях, объема образца в естественном состоянии ($V_{\text{ест}}$) и абсолютного объема ($V_{\text{абс}}$).

3.2. Методы испытаний

Определение массы производится взвешиванием образцов в высушенном или водонасыщенном состоянии на электронных весах (рис. 3.2).



Рис. 3.3. Сушильный шкаф

Высушивание образцов

производят в лабораторном сушильном шкафу (рис. 3.3) при температуре 100–110 °С. Периодически взвешивая образцы, следят за потерей их массы в процессе сушки.

Когда масса перестанет изменяться, сушку заканчивают и образцы помещают в эксикатор (стеклянный герметично закрывающийся сосуд) для охлаждения.

Насыщение образцов водой (рис. 3.4) производят при постепенном повышении уровня воды в сосуде, так чтобы воздух из пор мог свободно выходить через незатопленные поверхности образца. Окончание процесса заполнения водой открытых пор определяют по постоянству массы образца при периодическом



Рис. 3.2. Электронные весы

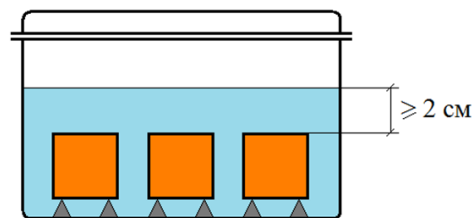


Рис. 3.4. Насыщение образцов водой

взвешивании. Перед каждым взвешиванием образец протирают мягкой тканью.

Определение объема образца в естественном состоянии выполняется различными методами в зависимости от формы.

Образцы правильной формы (кубы, цилиндры) обмеряют штангенциркулем (рис. 3.5) и по результатам вычисляют объем ($V_{\text{куб}}=abh$, $V_{\text{цил}}=\pi r^2 h$). Геометрически-правильная форма образцов, не всегда строго выдерживается. Чтобы снизить погрешность определения в вычислениях используют средние значения размеров, полученные по многократным обмерам образца в различных плоскостях и направлениях.

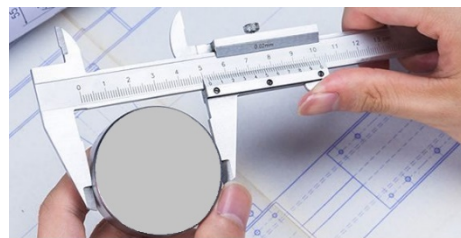


Рис. 3.5. Определение размеров образцов штангенциркулем

Образцы неправильной формы подвергают *гидростатическому*

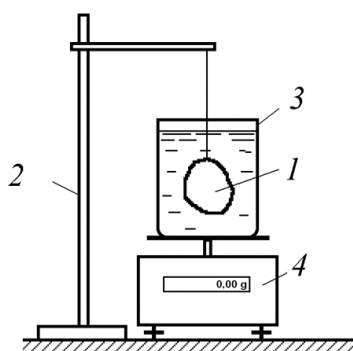


Рис. 3.6. Гидростатическое взвешивание образца неправильной формы

взвешиванию (рис. 3.6), основанному на том, что в воде вес образца меньше, чем на воздухе на величину выталкивающей (архимедовой) силы. Эта сила равна весу вытесненной воды. Зная вес вытесненной воды $G_{\text{в}}$ и ее удельный вес $\rho_{\text{в}}=9,81$ Н/л, можно вычислить объем воды, который равен объему образца ($V_{\text{в}}=V_{\text{ест}}=G_{\text{в}}/\rho_{\text{в}}$). Чтобы исключить проникновение воды в поры материала образцы перед

гидростатическим взвешиванием насыщают водой. В технической системе единиц, в которой масса приравнена к весу, для вычисления $V_{\text{ест}}$ пользуются формулой:

$$V_{\text{ест}}=(m_{\text{нас}} - m_{\text{нас}}^{\Gamma})/\rho,$$

где $m_{\text{нас}}$ — масса насыщенного водой образца; $m_{\text{нас}}^{\Gamma}$ — масса того же образца в воде, определяемая гидростатическим взвешиванием; ρ — плотность воды, равная 1 г/см^3 .

При гидростатическом взвешивании образец 2 подвешивают к штативу 3 с помощью тонкой нити и опускают в сосуд с водой 1, установленному на электронных весах 4 (рис. 3.6). До погружения образца вес сосуда с водой

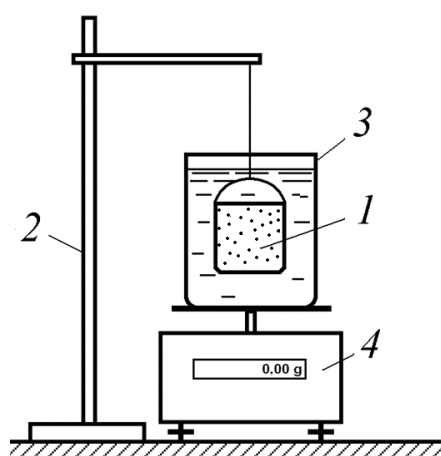


Рис. 3.7. Гидростатическое взвешивание гравия

обнуляют, тогда после погружения образца показания весов в г будут численно равны объему образца в см^3 .

Образцы сыпучих материалов (песка, щебня, гравия) в виде представительной пробы (обычно 1 кг) испытывают путем гидростатического взвешивания, однако схему испытания несколько видоизменяют по сравнению с предыдущим случаем (рис. 3.7). На

чашку весов устанавливают сосуд с водой и погружают в него пустое дырчатое ведро, подвешенное к штативу. В этом положении весы уравнивают, подбирая груз на другой чашке, а электронные весы обнуляют. В ведро всыпают порцию гравия или другого материала. При этом равновесие весов нарушается из-за того, что на гравий действует выталкивающая сила, а равная ей противоположно направленная сила действует на весы. Показание весов в г Δm , поделенное на плотность воды ρ (г/см^3), есть объем зерен гравия (см^3): $V_{\text{ест}} = \Delta m / \rho$.

Определение абсолютного объема (рис. 3.8) производят, измельчая образец в тонкий порошок. При этом открываются закрытые поры, в которые вода не проникла бы при испытании образца в ненарушенном состоянии. Чем

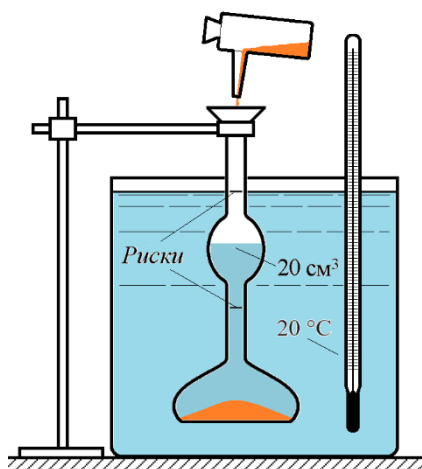


Рис. 3.8. Определение абсолютного объема

тоньше измельчен образец, тем точнее определение абсолютного объема.

В объеммер (колбу Ле-Шателье) заливают воду до нижней черты, после чего всыпают измельченный в порошок материал, пока жидкость не поднимется до верхней черты. Объем всыпанного материала равен объему между рисками, который указан на колбе (обычно 10 или 20 см³).

В качестве рабочей жидкости удобнее всего использовать воду, но некоторые материалы (строительный гипс, портландцемент и др.) взаимодействуют с ней химически. Тогда используют другие жидкости, например керосин.

Чтобы избежать влияния температуры на результат измерения объеммер термостатируют, поместив его в сосуд с водой и поддерживая температуру воды $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$.

Ударная вязкость (прочность при ударе) — способность материалов сопротивляться разрушению при ударе. Материалы, легко разрушающиеся



Рис. 3.9. Копер Педжа

при ударе, называют *хрупкими*. Ударную вязкость каменных материалов характеризуют работой, затраченной на разрушение образца при стандартном испытании, отнесенной к единице объема ($\text{Дж}/\text{м}^3$) или площади поперечного сечения образца ($\text{Дж}/\text{м}^2$).

Природные каменные материалы испытывают на *копре Педжа* (рис. 3.9), подвергая образцы-цилиндры ударам падающего груза (бабы) 1. Образец 3 прижимают к наковальне подбабком 2, имеющим подпружиненный боек, по которому производятся удары бабы: первый — с высоты 1 см, затем — 2, 3... и т. д. до разрушения образца.

Ударную вязкость ($\text{Дж}/\text{см}^3$) вычисляют по формуле

$$a = P(\Sigma h_i) / V,$$

где P — вес бабы (Н), $\Sigma h_i = (1+2+3+\dots+h_n)$ — суммарная высота падения бабы при всех ударах (см), V — объем образца (см^3). Высота каждого удара в см, численно совпадает с порядковым номером удара и, соответственно, числом ударов n .

По числу ударов породы делят на слабые ($n < 8$), средние ($n = 8-16$) и ударопрочные ($n > 16$).

Занятие 4. Керамические изделия

Керамическими называют материалы, которые получают в результате обжига до спекания отформованной сырьевой массы, состоящей из тонкодисперсного минерального сырья, содержащего чаще всего глину в качестве основного компонента.

4.1. Классификация изделий строительной керамики

По назначению керамические изделия могут быть разбиты на следующие группы:

1. Стеновые материалы — глиняный кирпич и керамические камни;
2. Кровельные материалы — керамическая черепица;
3. Облицовочные материалы — облицовочные плитки стеновые, половые, фасадные, майолика (керамические изделия с окрашенным черепком, покрытые сверху непрозрачной глазурью, белого цвета), терракота (неглазурованные глиняные изделия, имеющие после обжига желтую, красную или иную окраску);
4. Санитарно-технические изделия — умывальники, унитаза, писсуары, биде, смывные бачки, урны;
5. Трубы (дренажные, канализационные).
6. Теплоизоляционные материалы — керамзит (пористые гранулы получаемые вспучиванием глины при обжиге; применяются в качестве заполнителя для легких бетонов и для теплоизоляционной засыпки).
7. Дорожные — клинкерный кирпич (изделие в форме кирпича, полученное обжигом до полного спекания, и обладающее ничтожно малой пористостью)

Материал, из которого состоят керамические изделия, называют *черепком*.

В зависимости от водопоглощения черепка по массе (V_m), керамические изделия делят на два класса:

- 1) изделия с пористым черепком ($V_m > 5\%$) — кирпич, дренажные трубы, керамзит.
- 2) изделия с плотным черепком ($V_m < 5\%$) — клинкерный кирпич, плитки для полов, канализационные трубы.

Керамические изделия подразделяют также по внешнему виду черепка, в зависимости от его строения, степени однородности и окраски на две группы:

1. Изделия грубой керамики, имеющие структуру черепка, разнородную по величине и окраске компонентов; являются в большей или меньшей степени окрашенными.

2. Изделия тонкой керамики, имеющие однородную структуру и однообразную, преимущественно белую окраску.

На многие керамические изделия как пористого, так и плотного черепка в процессе их изготовления наносят тонкий поверхностный слой более или менее легкоплавкого стекла, который называют *глазурью*. Глазурь закрывает поры, сглаживает шероховатости поверхности, придавая ей гладкий и блестящий вид. В соответствии с этим все изделия могут быть разделены на глазурованные — покрытые глазурью — и неглазурованные — непокрытые глазурью. Последние в отличие от глазурованных не блестят и имеют матовую, шероховатую поверхность.

4.2. Сырьевые материалы керамической промышленности

Сырьевые материалы, применяемые в керамическом производстве, делят на две группы:

- 1) пластичные и
- 2) непластичные.

К непластичным материалам принадлежат различные природные или искусственные продукты, которые при добавлении к глине снижают ее пластичность. Это — дисперсные материалы, например песок, отсеvy дробления, золы, молотые шлаки, частицы которых крупнее глиняных частиц, и в смеси с водой не дают пластичного теста.

В зависимости от назначения применяют три вида непластичных материалов:

1. Отошающие добавки (песок, *шамот*²) применяются для уменьшения излишней пластичности глины. Они снижают усадку и коробление, тем самым повышая качество изделий.

2. Плавни или флюсы (полевой шпат, мрамор, обсидиан и др.) снижают температуру обжига, образуя легкоплавкие смеси (эвтектики) и позволяют получить жидкую фазу, необходимую для спекания черепка, уже при температуре 1150–1300 °С.

3. Порообразующие материалы образуют поры либо выгорая при обжиге (древесные опилки, каменноугольная мелочь, торфяная крошка), либо разлагаясь с выделением газообразных продуктов (карбонатные породы).

К пластичным материалам относятся различные сорта глин, которые при затворении водой образуют пластичную массу, способную принимать и держать заданную форму.

Глина (рис. 4.1–4.2) также обладает способностью превращаться после обжига в твердое камневидное тело.

В природе глины получаются в результате выветривания горных пород, богатых полевыми шпатами.

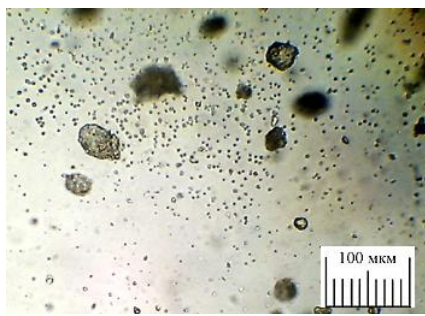


Рис. 4.2. Микрофотография частиц глины



Рис. 4.1. Глина сухая

Важнейшие технические свойства глины,
с точки зрения ее формования и получения керамических изделий, это — *пластичность, огнеупорность, цвет после обжига, интервал плавкости, усадка.*

Пластичность глины. Пластичностью глин называют способность глиняного теста деформироваться без разрывов и трещин. Глины, дающие высокопластичное тесто, называются жирными, а глины с низкой

² Шамотом называется обожженная и измельченная в более или менее крупный порошок огнеупорная глина; шамотными изделиями называются огнеупорные фасонные камни различной формы, изготавливаемые из смеси огнеупорной глины и шамота.

пластичностью — тощими. Жирные глины для получения нужной пластичности теста требуют больше воды, нежели тощие глины. Изделия из жирных глин при высыхании сильно уменьшаются в объеме и дают трещины. Излишняя пластичность глин устраняется добавлением непластичных материалов, например песка.

Цвет глины после обжига. Чистые глины, состоящие исключительно из водных алюмосиликатов (каолинита и др.), после обжига дают белый цвет и называются беложгущимися. Наиболее частой примесью, вызывающей окраску глин после обжига, являются соединения железа. Чем больше процентное содержание окислов железа в глине и чем выше температура ее обжига, тем интенсивнее получается окраска. Кирпич, обожженный при недостаточно высокой температуре, (недожог) всегда слабее окрашен, чем нормально обожженный кирпич, имеющий обычно ровную красную окраску. Наоборот, пережженный кирпич имеет бурый до синевато-черного цвет.

Огнеупорность глин. Глины не имеют определенной температуры плавления, а плавятся в некотором интервале температур. Под огнеупорностью глины понимают ту температуру, при которой происходит потеря формы (падение) образца глины в виде трехгранной пирамидки (см. рис. 4.3).



Рис. 4.3. Образцы для испытания на огнеупорность

По огнеупорности глины подразделяются на три группы:

- 1) огнеупорные с температурой плавления выше 1580°C ;
- 2) тугоплавкие с температурой от 1350 до 1580°C ;
- 3) легкоплавкие с температурой ниже 1350°C .

Примеси в глинах понижают температуру их плавления. Наибольшую огнеупорность будет иметь совершенно чистый каолинит, который плавится при 1770°C

Интервал плавкости глин. Разность между температурой плавления и температурой спекания называют *интервалом плавкости*.

Чем выше температура обжига, тем больше образуется расплава и тем более спекшийся (более плотный) получается черепок.

Если интервал плавкости мал, то существует опасность, что некоторые изделия при обжиге будут расплавлены, так как заводские печи не обеспечивают равномерной температуры по всему пространству и отклонения ее в более высокую сторону могут превысить интервал плавкости.

Усадка. Воздушной усадкой называется уменьшение размеров глиняного изделия в результате его высыхания, а огневой усадкой — уменьшение размеров в результате обжига. Введение отошающих добавок позволяет снизить усадку.

4.3. Производство керамических изделий

Получение керамических изделий состоит в основном из следующих технологических операций:

- 1) подготовка сырой керамической массы;
- 2) формование изделий;
- 3) сушка изделий и отделка их в необожженном виде;
- 4) обжиг изделий.

В ряде случаев к перечисленному добавляется еще пятая операция — *глазурирование* изделий, которая может предшествовать обжигу или выполняться после *предварительного обжига* (без глазури) с последующим *обжигом для закрепления глазури*.

Приготовление керамической массы. В общем случае керамическая масса состоит из четырех компонентов: 1) *глины* (или смеси глин), 2) *отошителя*, 3) *флюса* и 4) *воды*. При необходимости в массу вводят порообразующие материалы.

Глину подвергают сначала грубому, а затем тонкому измельчению. Необходимым условием нормальной работы агрегатов тонкого помола является невысокая влажность глины, не выше 7–10 %. Поэтому излишне

влажную глину сушат в сушильных барабанах сразу после грубого измельчения дробилками или глинорезками.

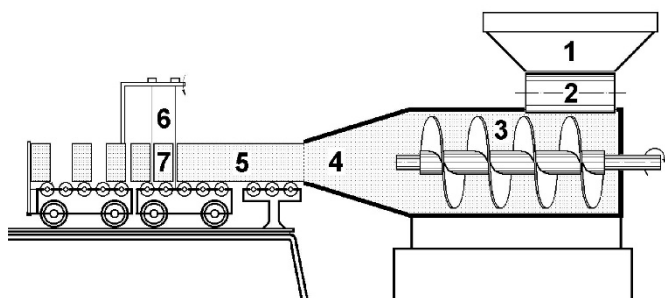
При другом способе помол всех компонентов исходной массы производится в шаровых мельницах мокрого помола. Полученную керамическую суспензию пропускают через вибрационное сито и подвергают распылительной сушке, получая пресс-порошок влажностью 5–7 %.

Для производства доброкачественных изделий необходимо придать глине высокую однородность, для чего ее перемешивают в глиномешалках, при необходимости доувлажня и иногда разогревая для повышения пластичности.

Выбор схемы подготовки керамической массы осуществляется с учетом, как особенностей сырьевых материалов, так и способа последующего формования, для которого главным моментом является влажность W сырьевой смеси. Существуют три наиболее часто практикуемых способа подготовки керамической массы: полусухой ($W=7-12\%$), пластический ($W=17-22\%$) и мокрый ($W>30\%$).

Формование керамических изделий. В зависимости от содержания воды в готовой керамической массе различают следующие способы формования: пластическое формование, полусухое прессование и шликерное литье.

Пластическое формование. При пластическом формовании (влажность массы 17–22 %) формовочным аппаратом, применяемым почти во всех отраслях строительной керамики, является шнековый (ленточный) пресс. Современный шнековый пресс — довольно сложный агрегат, однако,



принцип его работы может быть пояснен упрощенной схемой, показанной на рис. 4.3. Керамическая масса через воронку 1 и пару валцов 2 подается на лопасти шнека 3, который при вращении захватывает массу и перемещает ее в сторону сужающейся

Рис. 4.3. Пластическое формование кирпича

части — головки 4. На выходе из головки устанавливается съемная насадка — мундштук, отверстие в котором имеет ту или иную форму, зависящую от конкретного изделия. В случае кирпича мундштук имеет прямоугольное отверстие размерами 250х120 мм. Под действием давления, развиваемого шнеком (1,6–7 МПа), масса выдавливается через отверстие мундштука и выходит в виде непрерывной глиняной ленты 5, которая разрезается на отдельные кирпичи 7 стальными струнами 6. На рис. 4.4 показан внешний вид современного шнекового пресса, а на рис.



Рис. 4.4. Внешний вид ленточного пресса



Рис. 4.5. Автомат для резки кирпича-сырца

4.5 — автомата для разрезания глиняной ленты.

Методом пластического формования изготавливают кирпич как полнотелый, так и пустотный, трубы, черепицу и другие изделия.

Полусухое прессование. При полусухом способе формования содержание влаги в рабочей массе составляет всего только 7–12 %, вследствие чего приходится применять при прессовании весьма высокие давления. Прессование осуществляется на механических или гидравлических прессах (рис. 4.6) в пресс-форме, куда



Рис. 4.6. Пресс для сухого прессования кирпича

засыпается порция пресс-порошка. После этого опускается и входит в пресс-форму верхний штамп, производя предварительное уплотнение массы при давлении около 2 МПа, в результате чего ее объем уменьшается на 30–35 %.

Дальнейшее прессование производится нижним штампом в две ступени. На первой ступени создается давление около 9 МПа. После этого нижний штамп опускается вниз, давая выход отжатому из прессуемой массы воздуху. Если этого не делать, то воздух, расширяясь после снятия давления, разрыхлит

отформованное изделие. Окончательное прессование производится при давлении около 30 МПа.

Полусухим прессованием получают керамические плитки, кирпич, черепицу. Этот способ формования имеет то преимущество перед пластическим, что при нем практически не требуется сушки изделий и они могут идти сразу на обжиг.

Шликерное литье. В основу технологии литья керамических изделий

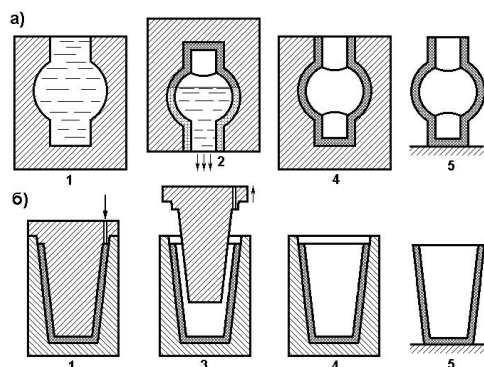


Рис. 4.7. Способы шликерного литья: а – сливной; б – наливной; 1 – заливка шликера; 2 – слив излишнего шликера; 3 – разъем формы; 4 – подвялка; 5 – отформованные изделия

положена способность затвердевшего гипса впитывать воду. При этом применяют три способа литья: 1) сливной; 2) наливной; 3) комбинированный.

При сливном способе формования жидкую керамическую массу (шликер) наливают в гипсовую форму, пористые стенки которой впитывают влагу, отнимая ее от шликера, вследствие чего по внутренней поверхности формы образуется сплошной

равномерный слой загустевшей массы (рис. 4.7а). Когда этот слой приобретет нужную толщину, избыток шликера сливают, а изделие оставляют еще на некоторое время в форме для высыхания (подвялки), вследствие чего оно дает усадку и легко отстает от стенок формы.

При наливном способе шликер заливают в пространство между сопрягаемыми частями разъёмной формы. При этом способе процесс уплотнения массы протекает быстрее, так как влага отбирается и с наружной, и с внутренней поверхности заготовки (рис 4.7б). В отличие от сливного, наливной способ позволяет формировать изделия более сложной формы и с большей точностью размеров.

В некоторых случаях целесообразно сочетать оба эти способа (комбинированный способ). Например, у раковин умывальников тело чаши — наливное, а полые борта — сливные.

Методом литья изготавливаются тонкостенные фаянсовые и фарфоровые изделия строительного (санитарно-технические изделия), хозяйственно-декоративного (посуда, вазы и т.п.), технического назначения (химический фарфор: тигли, чашки и т. д.). Преимущества этого способа заключаются в возможности изготавливать изделия весьма сложной формы, что недостижимо при других способах.

Сушка изделий. Сушка осуществляется в сушилках разнообразных конструкций (камерных, туннельных и др.). При сушке получается большой процент брака, вследствие образования трещин и деформации высушиваемых изделий. Особенно много брака получается при сушке изделий с неодинаковой толщиной стенок.

Глазурование керамических изделий (рис. 4.8). Глазурью называется тонкий стекловидный слой, наносимый на поверхность керамического изделия с целью придать последнему красивый внешний вид и одновременно повысить его водонепроницаемость и стойкость против химических и механических воздействий. По составу и физическим свойствам глазури представляют собой разновидности стекол. Для



Рис. 4.8. Нанесение глазури

приготовления глазури используют природные материалы, содержащие кремнезем и глинозем, (кварцевый песок, глину, полевого шпат, тальк и др.), а также соли и окислы различных металлов: калия, натрия, лития, бора, кальция, магния, бария, цинка, свинца, олова и т. д. Оксиды металлов придают глазури ту или иную окраску, улучшают блеск и другие свойства, играют роль плавней (понижают температуру плавления глазури).

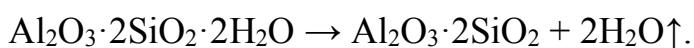
Глазури бывают либо прозрачные (наносят на фаянс, фарфор), либо непрозрачные, глухие (применяют для майолики). И те и другие могут быть окрашенными и бесцветными.

Тонко измельченную глазурь смешивают с водой для получения суспензии, с консистенцией сливок (плотностью 1,35–1,40 г/см³), и наносят на

поверхность изделия путем полива, окунания или пульверизации. Затем изделие направляется на обжиг, во время которого глазурь расплавляется, растекается по поверхности и при охлаждении превращается в стекловидный слой.

Обжиг керамических изделий. Обжигом достигается необратимое превращение керамической массы в твердое камневидное тело. Этот процесс называется спеканием.

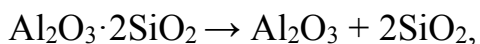
Первым следствием воздействия повышенной температуры на сырое керамическое изделие, подвергаемое обжигу, является выделение из него той части механически примешанной воды, которая целиком не была удалена при сушке. При дальнейшем повышении температуры, примерно в интервале от 500 °С до 800 °С, происходит выделение химически связанной воды, находящейся в каолините и других минералах



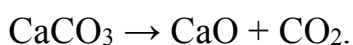
каолинит

метакаолинит

В интервале температур от 800 до 900 °С происходит диссоциация глинообразующих минералов, например метакаолинита



а также присутствующего в массе углекислого кальция



Окись кальция, также, как и остальные окислы металлов, при последующем повышении температуры начинает реагировать с кремнеземом и глиноземом, давая легкоплавкие смеси различных силикатов и алюмосиликатов. Температурой начала спекания считается такая, при которой водопоглощение V_m по массе полученного черепка составляет около 20 %. Количество образующегося расплава увеличивается по мере нагрева; в соответствии с этим изменяются и свойства черепка. Черепок вначале весьма пористый начинает постепенно уплотняться, терять свою пористость. В керамике за температуру нормального спекания принимают температуру обжига, при которой водопоглощение получаемого черепка составляет 5 %.

Для получения максимально плотного каменного черепка, температуру обжига повышают до такого значения, при котором количество расплава становится достаточным для заполнения всех промежутков и пустот между твердыми (нерасплавленными) частицами. Это называется полным спеканием, а полученный при этом исключительно плотный черепок называется керамическим клинкером. Дальнейшее повышение температуры ведет к потере формы изделия (плавлению).

Для получения пористых изделий, обжиг проводят при сравнительно невысокой температуре. Температура обжига различных изделий строительной керамики лежит в довольно широких пределах от 900 до 1700 °С.

Печи для обжига керамических изделий. Применяемые в керамической промышленности печи, в основном непрерывно действующие, в которых все операции (загрузка выгрузка и пр.) совершаются одновременно, без прекращения процесса обжига. По роду топлива применяются печи нефтяные (на мазуте), газовые и электрические. По форме печного пространства современные печи бывают туннельные и щелевые.

Туннельная печь (рис. 4.9) представляет собой длинный (100–160 м)



Рис. 4.9. Туннельная печь

узкий канал, перекрытый сводом и выложенный внутри огнеупорным кирпичем. Зона обжига в этой печи располагается примерно посередине. Обжигаемые изделия помещаются на вагонетки и вкатываются в печь одна за другой, составляя сплошной поезд. При вдвигании новой вагонетки с одного конца печи весь поезд перемещается, так, что с другого конца выталкивается вагонетка с обожженным уже материалом. Туннельные печи используются в производстве кирпича, керамических труб, сантехнических изделий.

Щелевые печи применяются для обжига керамической плитки и черепицы. Они работают подобно туннельным печам, но имеют очень узкий

щелевидный канал, куда подаются изделия с помощью роликового конвейера. Ширина канала щелевых однорядных печей — от 0,9 до 2,5 м, высота — 0,6–0,8 м. Длина щелевой печи составляет от 24 до 65 м.

4.4. Керамические изделия и материалы

Кирпич и камни керамические получают чаще всего пластическим способом, и несколько реже полусухим. Кирпич полусухого прессования имеет правильную форму и ровные не искривленные грани, в то время как поверхности кирпича пластического формования обычно искривлены и испещрены мелкими бороздками, образующимися при разрезании ленты.

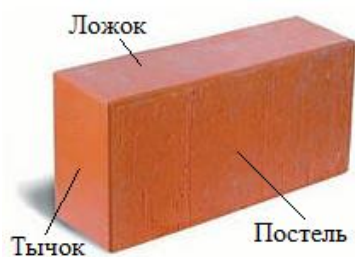


Рис. 4.10. Кирпич
одинарный полнотелый

Одинарный полнотелый кирпич (рис. 4.10) имеет размеры 250х120х65 мм (нормальный формат, обозначение 1НФ). Керамические камни отличаются от кирпича большими размерами (толщина 140 мм и более). Выпускаются также модульные кирпич и камни, размеры которых кратны

определенному модулю. Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень — только пустотелым (рис. 4.11).

Грани кирпича в порядке уменьшения площади называют: *постель*, *ложок* и *тычок*.

Важнейшими свойствами кирпича и камней являются: правильность формы и размеров, механическая прочность, морозостойкость и теплопроводность.

Основное применение в строительстве кирпич и керамические камни находят в качестве стенового материала.

Теплозащитные свойства кирпича недостаточно высоки, вследствие чего толщина сложенных из него стен, рассчитанная по условию теплозащиты, в большинстве случаев оказывается совершенно излишней с точки зрения



Рис. 4.11.
Керамические камни

механической прочности. Это позволяет уменьшить массу кирпича созданием в его теле пустот, имеющих правильную геометрическую форму и расположенных в определенном порядке.

Пустотелый кирпич (рис. 4.12–4.13) и *камни* (рис. 4.11) имеют внутри себя каналы, расположенные либо в горизонтальном (параллельно постели кирпича), либо в вертикальном (перпендикулярно постели) направлении.



Рис. 4.12.
Пустотелый
кирпич

При пластическом формовании пустоты всегда получаются сквозными, так как образуются с помощью кернов

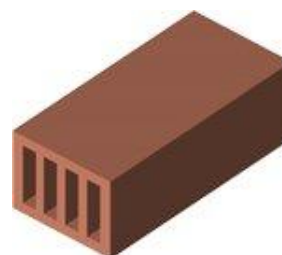


Рис. 4.13. Кирпич с
горизонтальными
пустотами

(металлических формозадающих деталей), укрепленных в отверстиях мундштука. При полусухом формовании пустоты имеют коническую форму и могут быть как сквозными, так и несквозными. Кирпич с несквозными пустотами, получивший название «пятистенка», лишен недостатка, присущего кирпичу со сквозными пустотами, в которые при кладке проникает значительное количество строительного раствора.

Основными преимуществами пустотелого кирпича являются: 1) увеличенная по сравнению со сплошным кирпичом того же веса толщина, что ведет к ускорению кладки и уменьшению расхода кладочного раствора; 2) повышенная теплоизоляционная способность кладки, что в свою очередь влечет за собой меньший количественный расход пустотелого кирпича, ввиду возможности делать стены более тонкими.

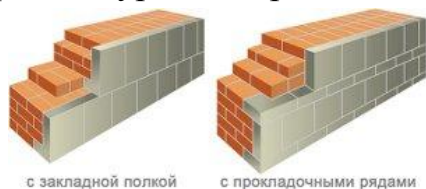


Рис. 4.14. Лицевой
кирпич

Лицевой кирпич (рис. 4.14) имеет декоративную отделку на двух (ложок+тычок) или трех (тычок+ложок+тычок) гранях. Эти грани имеют гладкую или рельефную поверхность, могут быть естественного цвета или окрашенными в объеме. Их офактуривают

торкретированием, ангобированием, глазурованием, двухслойным формованием или иным способом.

Плиты закладные (рис. 4.15) применяют для облицовки и придания архитектурной выразительности фасадам кирпичных зданий. Они имеют Г-образную форму и крепятся на фасаде путем защемления в кладке горизонтальной полки



ПЛИТЫ.

Рис. 4.15. Плиты закладные

Профильные детали и подоконные

сливы — это гладкие тянутые на прессах изделия, устанавливаемые в процессе кладки стен.

Плитки фасадные малогабаритные — тонкостенные плитки размерами от 120х65 ("кабанчик") до 300х200 мм с наружной гладкой или фактурной поверхностью и тыльной рифленой стороной для лучшего сцепления с раствором.

Фасадные крупноразмерные керамические плиты (рис. 4.16) выпускают с плотным черепком размерами до 1000х1000 мм. Их крепят с помощью металлических раскладок.



Рис. 4.16. Фасадная

Терракота (от лат. *terra cotta* — жженная земля) — облицовочные неглазурованные изделия, окрашенные в объеме, с матовой поверхностью, напоминающей природный камень. Если этим изделиям придают вид орнаментов, барельефов, плафонов и т. д., терракота получает название архитектурной. Изделия из архитектурной терракоты применяются взамен аналогичных гипсовых изделий, в отличие от которых терракота не боится



Рис. 4.17. Изделия из терракоты

увлажнения и может устанавливаться снаружи здания.);

Выпускается в виде плит, элементов колонн и пилястр, наличников и др. (рис. 4.17). Терракота возникла в Древней Греции, как замена облицовки из натурального камня.

Стеновые облицовочные плитки (рис 4.18) употребляются для облицовки стен в помещениях. С наружной стороны они покрываются белой или окрашенной глухой глазурью. С тыльной стороны снабжаются бороздками глубиной 1,5–2 мм для лучшего сцепления с раствором, на котором они прикрепляются к стене.



Рис. 4.18. Облицовочная плитка

Черепица изготавливается из гончарных глин, отличающихся значительной пластичностью и умеренной усадкой. Для формирования черепицы употребляют или ленточный или револьверный пресс.

Плоская (бесфальцевая) черепица (рис. 4.19) изготавливается ленточным способом. Она имеет форму пластинки с прямой верхней кромкой. Нижняя кромка может быть закругленной (черепица "бобровый хвост"), прямой, многоугольной или ступенчатой. С тыльной стороны ее делается шип с отверстием, служащий для зацепления за обрешетину кровли и крепление к ней с помощью проволоки.



Рис. 4.19.
Черепица
"Бобровый
хвост"

Ленточная фальцевая черепица (рис. 4.20) имеет боковые закрои (паз и гребень по продольным сторонам), которыми она перекрывается с соседними черепицами. Поперечные стороны фальцев не имеют, поэтому каждый горизонтальный ряд черепицы перекрывается напуском верхнего ряда.



Рис. 4.20. Ленточная фальцевая черепица

Марсельская (фальцевая) черепица (рис. 4.21) изготавливается штамповкой. В отличие от ленточной фальцевой она имеет как боковые, так и головные (на поперечных сторонах) закрои. Благодаря этому черепицы весьма незначительно перекрывают друг друга, почему их расход на 1 м² крыши при одинаковом размере с другими видами черепиц получается наименьшим.



Рис. 4.21. Марсельская черепица

Голландская черепица (рис. 4.22) имеет S-образную форму; с тыльной стороны она также снабжается шипом.



Рис. 4.22. Голландская черепица



Рис. 4.23. Татарская черепица

Татарская черепица (рис. 4.23), иначе называемая *желобчатой*, имеет форму продольной половины усеченного конуса. Она не имеет шипа, поэтому употребляется для пологих кровель.

Римская черепица (рис. 4.24) — трапециевидные плоские плитки с узкими бортиками по наклонным сторонам трапеции, удерживаемые силами трения (без крепежных шипов) на обрешетке при ее незначительном уклоне. Римская черепица получила свое распространение в регионах с малым количеством осадков.



Рис. 4.24. Римская черепица

Коньковая черепица (рис. 4.25) применяется для коньков и ребер крыши. Обычно она входит в комплект с рядовой черепицей.



Рис. 4.25. Коньковая черепица

Черепица может иметь натуральный цвет — от кирпично-красного до желто-серого или быть глазурированной. Преимуществом черепицы перед другими кровельными материалами является ее высокая долговечность (более 100 лет), а недостатком — сравнительно большой вес.

Канализационные трубы (рис. 4.26) формуют при помощи специальных механических трубовыжимных прессов. Раструбы должны быть выдавлены одновременно с телом трубы. Обжиг труб производится в стоячем положении, в туннельных печах, при температуре 1250...1280 °С. Керамические трубы подвергаются обязательному глазурированию.



Рис. 4.26. Трубы канализационные

Помимо прямых труб, выпускаются еще фасонные части к ним: тройники, отводы, переходы, муфты и пробки.

Перед бетонными и чугунными керамические канализационные трубы имеют то преимущество, что на них не действуют всякого рода химические реагенты, содержащиеся в канализационных стоках, особенно химических предприятий.

Дренажные трубы — это короткие прямые трубы без муфтовых расширений, применяемые в дренажах (системах осушения грунта). Они



Рис. 4.27. Трубы дренажные

имеют пористый, проницаемый для воды неглазурованный черепок (рис. 4.27).

Формовка труб производится с помощью ленточных прессов, причем трубы диаметром 15 см и более формуются на вертикальных прессах, применяемых для изготовления канализационных труб.

Клинкер дорожный — это искусственный камень высокой прочности, изготавливаемый из глины путем ее обжига до полного спекания массы, в результате чего получают чрезвычайно плотное изделие чаще всего в форме кирпича размерами 220x110x65 мм (рис. 4.28).



Рис. 4.28. Клинкер дорожный

Механическая прочность клинкера настолько велика, что он в лучших своих сортах приближается по прочности к граниту. Весьма характерна для клинкера его высокая твердость (до 7 по шкале Мооса). Понятно, что при такой высокой твердости клинкер обладает весьма малой истираемостью. Высокая химическая стойкость клинкера позволяет употреблять его в качестве кислотоупорного кирпича.



Рис. 4.29. Накладка ступени. Клинкер

Наибольшее применение клинкер находит в качестве дорожного материала для устройства мостовых, пешеходных дорожек, тротуаров, лестничных ступеней (рис. 4.29). Клинкер служит также и для наружной декоративной отделки зданий.

Метлахские половые плитки (рис. 4.30) — тонкие (толщиной 15...18 мм) половые плитки, изготавливаемые из керамических масс обжигом их до полного спекания. Свое название эти плитки получили от имени немецкого городка Метлах, где они впервые стали изготавливаться.



Рис. 4.30. Плитка метлахская

Введением пигментов, плитки окрашивают в массу или только в лицевом слое. Обжиг производится при температуре 1260...1300 °С в щелевых печах. Твердость метлахских плиток должна быть весьма высокой, не ниже 7 по шкале Мооса, благодаря чему они характеризуются значительным сопротивлением истиранию.



Рис. 4.31. Керамогранит

Лицевая сторона плиток делается одноцветной или узорчатой, гладкой, шагреновой или с вдавленными рисунками.

Керамогранит (рис. 4.31) — искусственный отделочный материал. Производится методом полусухого прессования из пресс-порошка при давлении 400–500 кг/см², с последующим обжигом при температуре 1200–1300 °С до полного спекания. Пресс-порошок, в свою очередь, получают из шликера, который представляет собой тщательно гомогенизированную смесь сырьевых компонентов: беложгущиеся глины и каолины, кварцевый песок, плавни (полевые шпаты и пегматиты), вода. Сырьевая керамическая смесь может быть окрашена путём введения в неё красящих окислов.

Изделия из фаянса и фарфора (рис. 4.32) характеризуются белым цветом черепка, поэтому для их изготовления необходимо применять беложгущиеся глины и каолины. Как фаянс, так и фарфор покрываются прозрачной бесцветной глазурью. От фарфора фаянс отличается лишь более высокой пористостью своего черепка. Фарфор имеет сильно спекшийся черепок.



Рис. 4.32. Изделия из фаянса и фарфора

Рабочие массы для фаянса и, в особенности для фарфора, состояются из первосортных материалов. Формовка изделий осуществляется различными способами: полусухим, пластическим и мокрым. Обжиг фаянса и фарфора производится дважды: первый раз без глазури (так называемый утильный обжиг), второй раз после покрытия глазурью (глазурный обжиг).

В строительном деле фаянс применяется в виде фаянсовых стеновых облицовочных плиток и санитарно-технических изделий: ванн, раковин, умывальников, писсуаров, унитазов и т. д. Фарфор идет главным образом для изготовления декоративных, а также технических изделий.

Занятие 5. Испытание строительного кирпича (лабораторная работа № 2)

Целью лабораторной работы является ознакомление с требованиями ГОСТ 530–2012 к кирпичу керамическому и ГОСТ 379–2015 к кирпичу силикатному, их маркировкой и методами испытаний.

5.1. Общие сведения

Керамический кирпич получают обжигом до спекания (при 1150–1300 °С) отформованной сырьевой смеси, состоящей из глины и добавок (отошителей, флюсов, порообразователей и др.). Придание кирпичу формы осуществляют: 1) экструзией (выдавливанием керамической массы из отверстия прямоугольного профиля) и последующим разрезанием ленты на отдельные кирпичи (рис. 5.1) прессованием в форме при высоком давлении (рис. 5.2). При



Рис. 5.1. Пластическое формование



Рис. 5.2. Полусухое формование

экструзии глина должна быть пластичной (пластическое формование), что обеспечивается влажностью 17–22 %. При прессовании влажность должна быть 7–12 % (полусухое прессование). Кирпич полусухого формования в отличие от кирпича пластического формования почти не коробится и не растрескивается при сушке и обжиге.

Силикатный кирпич получают из смеси воздушной извести (6–8 % в расчете на CaO), кварцевого песка, часть которого подвергают помолу, и воды в результате автоклавной обработки при $t=150–200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении насыщенного пара 0,9–1,3 МПа. При этом известь реагирует с кремнеземом кварцевого песка и водой, образуя гидросиликат кальция $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Стеновые материалы, к которым относятся кирпичи, используются для несущих стен и должны иметь достаточно высокую прочность и достаточно низкую теплопроводность, что трудно совместить в одном материале. Толщину кирпичных стен обычно указывают числом значений длины кирпича (рис. 5.3)

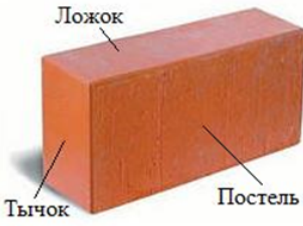


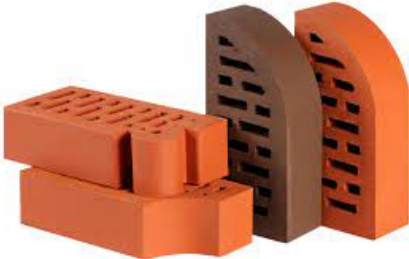
Рис. 5.3. Виды кладки

5.2. Виды керамического кирпича

Виды керамического кирпича указаны в табл. 5.1

Таблица 5.1 — Виды керамического кирпича

<i>Кирпич нормального формата</i> (одинарный 250x120x65 мм, полнотелый – с пустотностью не более 13 %)	 Силикатный кирпич 
---	---

<i>Камень</i> — крупноформатное пустотелое керамическое изделие номинальной толщиной 140 мм и более, предназначенное для устройства кладок	
<i>Кирпич пустотелый</i>	 С горизонтальными пустотами 
<i>Фасонный кирпич</i> — изделие, имеющее форму, отличающуюся от формы прямоугольного параллелепипеда	
<i>Доборный элемент</i> — изделие специальной формы, предназначенное для завершения кладки	
<i>Кирпич клинкерный</i> — изделие, имеющее высокую прочность и низкое водопоглощение, стойкое в сильно агрессивной среде и являющееся декоративным материалом	
<i>Кирпич лицевой</i> — изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки и выполняющее функции декоративного материала	

<i>Пазогребневый камень</i> — изделие с выступами на вертикальных гранях соединения камней в кладке без кладочного раствора в вертикальных швах	
--	--

5.3. Требования к рядовым видам керамического кирпича по ГОСТ 530–2012

Размеры рядового керамического кирпича, предельные отклонения и условные обозначения формата указаны в табл. 5.2 и 5.3 и на рис. 5.4.

Таблица 5.2 — Форматы рядового керамического кирпича

Обозначение формата изделия	Номинальные размеры		
	Длина	Ширина	Толщина
1 НФ	250	120	65
0,7 НФ	250	85	65
1,4 НФ	250	120	88
0,5 НФ	250	60	65
1,3 НФ	288	138	65
1,8 НФ	288	138	88
0,8 НФ	250	120	55

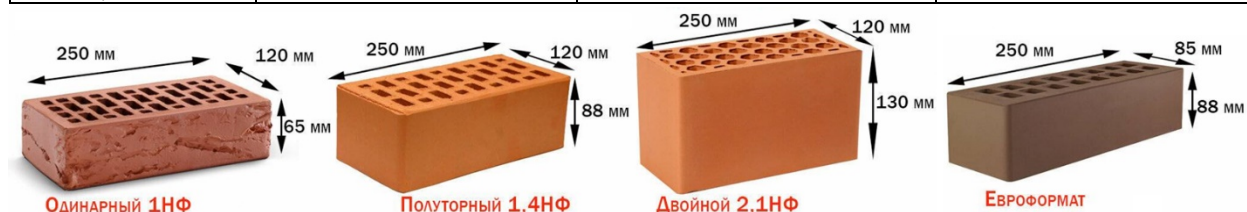


Рис. 5.4. Форматы рядового керамического кирпича

Таблица 5.3 — Предельные отклонения от номинальных размеров

Отклонения	Предельные отклонения от номинальных размеров, мм, на одном изделии не более
По длине	±4
По ширине	±3
По толщине	±2
Отклонение от перпендикулярности смежных граней	3
Отклонение от плоскостности граней	3

Дефектами внешнего вида считаются: отбитости углов ребер и граней, посечки (несквозные трещины с шириной раскрытия не более 0,5 мм),

трещины с шириной раскрытия более 0,5 мм, сквозные трещины, проходящие через всю толщину изделия и другие.

На лицевых и клинкерных изделиях не допускаются высолы. Дефекты внешнего вида рядового кирпича, размеры и число которых превышают значения, указанные ниже в табл. 5.4, не допускаются.

Таблица 5.4 — Дефекты внешнего вида

Вид дефекта	Допускаемое количество дефектов
Отбитости углов, ребер и граней размером более 15 мм	Не более 4 шт
Трещины	Не более 4 шт
Вспучивающиеся включения	Не более 1,0 % площади вертикальных граней
Половняк	Не более 5 % объема партии

По средней плотности керамических изделий установлены классы, указанные в табл. 5.5.

Таблица 5.5 — Классы средней плотности изделий

Класс средней плотности изделия	Средняя плотность, кг/м ³
0,7	До 700
0,8	710–800
1,0	810–1000
1,2	1010–1200
1,4	1210–1400
2,0	1410–2000
2,4	2010–2400

По прочности рядовой керамический кирпич подразделяется на 7 марок, указанных в табл. 5.6.

Таблица 5.6 — Марки рядового керамического кирпича формата 1НФ по прочности

Марка кирпича	Предел прочности кирпича, МПа, не менее		
	При сжатии	При изгибе	
		полнотелого	пустотелого
M300	30,0	4,4	3,4
M250	25,0	3,9	2,9
M200	20,0	3,4	2,5
M175	17,5	3,1	2,3
M150	15,0	2,8	2,1
M125	12,5	2,5	1,9
M100	10,0	2,2	1,6

Водопоглощение по массе рядовых изделий должно быть не менее 6 %.

По морозостойкости кирпич делят на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300.

Условное обозначение керамических изделий должно состоять из обозначения вида кирпича, номинальных размеров и формата, марок по прочности, класса средней плотности; марки по морозостойкости и обозначения стандарта.

Пример: кирпич рядовой, пустотелый, размерами 250×120×88 мм, формата 1,4НФ, марки по прочности М75, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F50:

КР-р-пу 250×120×88/1,4НФ/75/2,0/50/ГОСТ 530–2012.

КР – кирпич
КРГ – кирпич с горизонтальными пустотами
КМ – камень
КМД – камень доборный

по – полнотелый
пу – пустотелый

Формат

Класс по плотности

КР - р - по 250 × 120 × 65 / 1НФ / 200 / 2,0 / 100 / ГОСТ 530-2012

р – рядовой
л – лицевой
кл – клинкерный
пг – с пазогребневым соединением
ш – шлифованный

Номинальные размеры

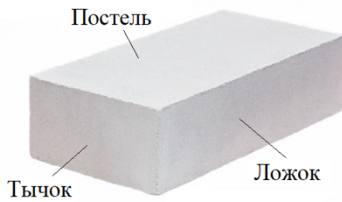
Марка по прочности

Марка по морозостойкости

5.4. Виды силикатного кирпича

Виды силикатного кирпича указаны в табл. 5.7

Таблица 5.7 — Виды силикатного кирпича

Силикатный кирпич полнотелый (одинарный имеет размеры 250х120х65 мм; полуторный – 250х120х88 мм)	
--	--

Силикатный камень (размеры 250х120х138 мм)	
Силикатный блок (изделие с шириной тычка более 130 мм)	
Лицевой кирпич	

5.5. Требования к рядовым видам силикатного кирпича по ГОСТ 379–2015

Размеры силикатного кирпича указаны в табл. 5.7, а предельные отклонения от номинальных размеров — в табл. 5.8.

Таблица 5.8 — Предельные отклонения от номинальных размеров силикатного кирпича

Отклонения	Предельные отклонения, мм, не более	
	Для изделий, предназначенных для кладки на кладочных растворах	Для изделий, предназначенных для тонкошовной кладки на клеях
по длине и ширине	±2 мм	±2 мм
по высоте	±2 мм	±1 мм
по параллельности опорных граней	±2 мм	±1 мм

По средней плотности силикатных изделий установлены классы, указанные в табл. 5.9.

Таблица 5.9 — Классы средней плотности силикатных изделий

Класс средней плотности изделия	Средняя плотность, кг/м ³
1,0	900–1000
1,2	1001–1200
1,4	1201–1400

1,6	1401–1600
1,8	1601–1800
2,0	1801–2000
2,2	2001–2200

По прочности рядовой силикатный кирпич подразделяется на 7 марок, указанных в табл. 5.10.

Таблица 5.10 — Марки рядового силикатного кирпича

Марка кирпича	Предел прочности кирпича, МПа, не менее		
	При сжатии кирпича всех видов	При изгибе кирпича	
		полнотелого	пустотелого
M300	30,0	4,0	2,4
M250	25,0	3,5	2,0
M200	20,0	3,2	1,8
M175	17,5	3,0	1,6
M150	15,0	2,7	1,5
M125	12,5	2,4	1,2
M100	10,0	2,0	1,0

Водопоглощение по массе рядовых силикатных изделий должно быть не менее 6 %.

По морозостойкости силикатный кирпич делят на марки: F25, F35, F50, F75, F100.

Условное обозначение силикатных изделий должно состоять из названия и вида изделия (О — одинарный, У — утолщенный, Р — рядовой, Л — лицевой, По — полнотелый, Пу — пустотелый), марки по прочности и морозостойкости, класса средней плотности и обозначения стандарта.

Примеры: Силикатный одинарный рядовой полнотелый кирпич марки по прочности M150, марки по морозостойкости F50, класса по средней плотности 1,8: *Кирпич СОРПо-M150/F50/1,8 ГОСТ 379–2015*

Силикатный утолщенный лицевой пустотелый кирпич марки по прочности M125, по морозостойкости F25, класса средней плотности 1,4: *Кирпич СУЛПу-M125/F25/1,4 ГОСТ 379–2015*

5.6. Отбор образцов для испытаний

Для проведения испытаний методом случайного отбора из разных мест партии отбирают образцы в количестве, указанном в табл. 5.11.

Таблица 5.11 — Число отбираемых образцов для проведения испытаний

Наименование показателя	Число образцов кирпича	
	керамического (ГОСТ 530–2012)	силикатного (ГОСТ 379–2015)
Размеры и показатели внешнего вида	35	20
Средняя плотность и водопоглощение	5	3
Наличие высолов (для лицевого кирпича) и известковых включений (дутиков)	5	—
Предел прочности при сжатии	10	10
Предел прочности при изгибе	5	5
Морозостойкость	5	5

5.7. Определение размеров и показателей внешнего вида

Длину, ширину и толщину каждого кирпича получают как среднеарифметическое значение шести измерений. Например, ширину кирпича измеряют в трех местах на каждой постели: по середине и отступив от края на 15 мм справа и слева (рис. 5.5). Аналогичным образом определяют длину и толщину.

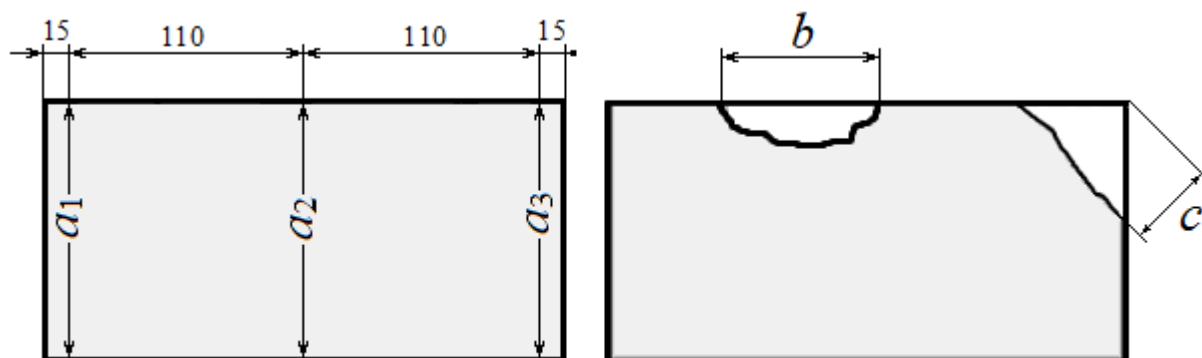


Рис. 5.5. Измерение ширины грани кирпича (а) и отбитостей ребер (b) и углов (с)

Отбитости углов, ребер и граней характеризуют размерами, показанными на рис. 5.5. Измерения производят при помощи угольника и металлической линейкой или штангенциркуля с точностью до 1 мм.

Ширину раскрытия трещин измеряют при помощи измерительной лупы. Погрешность измерения $\pm 0,1$ мм.

Отклонение от перпендикулярности граней определяют, прикладывая угольник к смежным граням изделия и измеряя металлической линейкой наибольший для всех образцов зазор между угольником и гранью. Погрешность измерения – ± 1 мм.

Отклонение от плоскостности изделия определяют, прикладывая металлический угольник ребром вдоль диагонали каждой грани и измеряя металлической линейкой наибольший зазор между поверхностью и ребром угольника. Погрешность измерения – ± 1 мм. За результат измерения принимают наибольшее значение зазора из всех испытаний.

5.8. Определение средней плотности (ГОСТ 7025–91)

Кирпичи высушивают при 100–110 °С до постоянной массы и взвешивают с точностью до 5 г. Объем образцов определяют по результатам обмера, полученным с точностью до 1 мм. Для определения каждого линейного размера образец измеряют в трех местах — по ребрам и середине грани. За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений. Результат определения средней плотности изделий округляют до 10 кг/м³.

5.9. Определение предела прочности при сжатии

Кирпич испытывают в воздушно-сухом состоянии. Испытуемый образец составляют из двух целых кирпичей, уложенных постелями друг на друга (рис. 5.6). Подготовку опорных поверхностей изделий проводят шлифованием (Допускается применять иные способы выравнивания опорных поверхностей образцов при условии наличия корреляционной связи между результатами, полученными при разных способах выравнивания). Предел прочности при

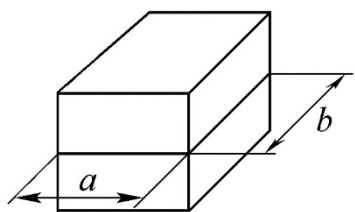


Рис. 5.6. Эскиз образца

сжатии вычисляют как отношение максимальной нагрузки к площади контакта двух частей образца. Результат выражают в МПа.

5.10. Определение предела прочности при изгибе

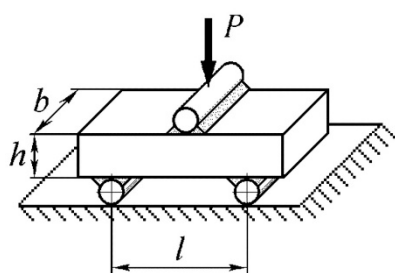


Рис. 5.7. Схема испытания

Участки граней кирпича пластического формования, контактирующие с опорами, выравнивают полосками из гипсового теста шириной 2–3 см. Кирпичи замеряют в среднем сечении и испытывают плашмя по приведенной схеме (рис. 5.7). Предел прочности при изгибе вычисляют по формуле $R_{\text{изг}} = 3Pl/2bh^2$, где P — максимальная нагрузка, b — ширина сечения, h — высота сечения, l — расчетная длина (расстояние между опорами). Результат выражают в МПа.

5.11. Определение водопоглощения кирпича

Кирпичи высушивают при 105 ± 5 °С до постоянной массы, охлаждают и взвешивают. Затем кирпичи укладывают в сосуд с водой на подкладки так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на 2–10 см. Через 48 часов образцы вынимают, обтирают влажной тканью и взвешивают.

Занятие 6. Испытание стали (лабораторная работа № 3)

6.1. Общие сведения

Сталь и чугун — сплавы железа и углерода. Из-за высокого содержания углерода (2,14–6,67 %) чугуны обладают низкой способностью к пластической деформации. Их высокие литейные свойства обусловлены наличием в структуре эвтектики (легкоплавкой составляющей).

Сталь, содержащая углерода значительно меньше (0,02–2,14 %), чем чугун, является более пластичной и вязкой и поддается ковке и штамповке.

По содержанию углерода (%) стали делятся на:
низкоуглеродистые (до 0,25);

среднеуглеродистые (0,25–0,60)

высокоуглеродистые (0,60–2,0)

Влияние углерода на свойства стали показано на рис.

6.1. Как это видно из рис. 6.1 с увеличением содержания углерода твердость стали HB возрастает линейно, а временное сопротивление разрыву σ_b сначала возрастает, а затем снижается. Наибольшей

прочностью при растяжении обладает сталь, содержащая 0,9–

1 % углерода. Пластические свойства стали: δ — относительное остаточное удлинение после разрыва, ψ — относительное остаточное сужение после разрыва и a — ударная вязкость при повышении содержания углерода снижаются.

Влияние закалки и отжига на свойства стали. Основной целью закалки является повышение твердости стали. Закалка повышает не только твердость, но и прочность стали, однако ее пластичность и ударная вязкость снижаются. Сталь становится хрупкой и легко разрушается при ударе. При закалке сталь нагревают до определенной температуры (выше 770 °C), которую устанавливают по диаграмме состояния в зависимости от содержания в стали углерода, выдерживают до завершения процесса фазового перехода перлита в аустенит и затем резко охлаждают в воде, масле и т. п. При закалке химический состав (содержание углерода) стали не меняется, изменяется только фазовый состав, и структура стали. Вернуть закаленной стали первоначальные свойства, сделать ее пластичной, мягкой и ударно вязкой можно с помощью другой термической операции — *отжига*. С помощью отжига можно также сделать сталь более химически и кристаллически

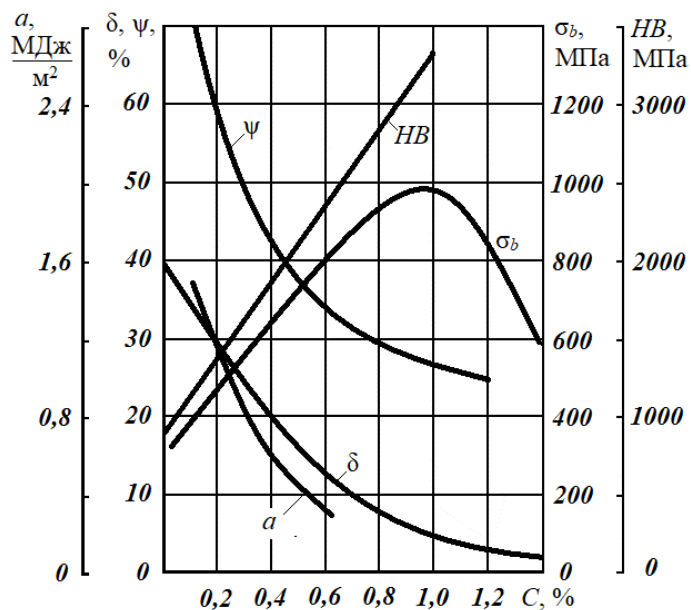


Рис. 6.1. Влияние углерода на свойства стали

однородной, снять остаточные внутренние напряжения после прокатки,ковки,штамповки. При отжиге сталь нагревают до высокой температуры (не ниже температуры заковки), выдерживают при этой температуре и очень медленно охлаждают, обычно вместе с печью. В результате отжига твердость и прочность стали снижаются.

6.2. Изделия для строительных конструкций из стали

В строительстве используются в основном изделия из стального проката, а также из гнутых и сварных профилей.

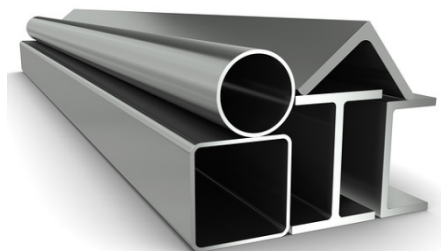
Стальной прокат можно подразделить на следующие виды:

1. *Сортовой прокат* включает полосы, прутки круглого, квадратного, шестигранного сечения (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Сортовой прокат

2. *Фасонный прокат* имеет сложный



профиль поперечного сечения — уголок (равнобокий и неравнобокий), швеллер, тавр, двутавр (рис. 6.3).

3. *Листовой прокат* включает листовую сталь, различной толщины и размеров (рис. 6.4), универсального или специального назначения, гладкую или рифленую, а также кровельное железо, листовое, рулонное, профилированное (волнистое или трапецевидное), металлочерепицу.



Рис. 6.4. Листовой прокат

4. Специальные прокатные профили (шпунт, сваи, арматура, трубы, рельсы и др.). Основным видом специального проката для строительства



является арматурная сталь (рис. 6.5). Она делится на классы: стержневая арматура — класс А, проволока — Вр, арматурные канаты — К. После буквенного обозначения арматуры (А, Вр или К) ставится число от 240 до 1000 (по-

старому от I до VI), обозначающее предельное напряжение в МПа, выше которого сталь течет. При указании класса могут дополнительно обозначаться способ изготовления, особые свойства или назначение арматуры. Термически обработанную стержневую арматурную сталь обозначают символом Ат, сталь для конструкций, используемых в районах Севера — Ас, термически обработанную свариваемую сталь — индексом С (например, Ат600С), а сталь с повышенной стойкостью против коррозионного растрескивания под напряжением — К (например, Ат600К).

Арматуру класса А240 делают с гладкой поверхностью, арматура других классов имеет периодический профиль. Арматуру поставляют в прутках длиной от 6 до 12 м (термически упрочненную — от 5,3 до 13,5 м). Арматура классов А240 и А300 диаметром 12 мм, а также класса А400 диаметром до 10 мм может поставляться в мотках. Технические требования к арматурной стали приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 — Технические требования к арматурной стали для железобетонных конструкций

Вид арматурной стали	Класс арматурной стали	Предел текучести R_t , МПа, не менее	Предел прочности $R_{пч}$, МПа, не менее	Отн. ост. удлинение после разрыва δ_5 , %, не менее	Ударная вязкость при температуре -60°C , МДж/м ²
Горячекатанная (ГОСТ 5781–82)	А240	235	373	25	—
	А300	295	490	19	—
	Ас300	295	441	25	0,5
	А400	390	590	14	—

Термомеханически упрочненная (ГОСТ 10884-94)	A600	590	883	6	—
	A800	785	1030	7	—
	A1000	980	1230	6	—
	At400	400	550	16	—
	At500	500	600	14	—
	At600	600	800	12	—
	At800	800	1000	8	—
	At1000	1000	1250	7	—
	At1200	1200	1450	6	—

6.3. Испытание углеродистой арматурной стали на растяжение

Образцы для испытания. Для испытания металлов на растяжение применяются образцы, вырезаемые из изделий, двух видов: цилиндрические и плоские (рис. 6.6). И те, и другие могут выполняться с головками или без них. Размеры и форма головок

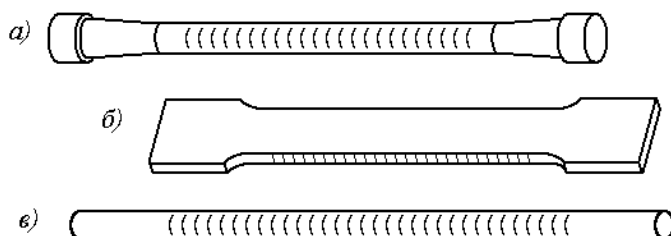


Рис. 6.6. Виды образцов для испытания на растяжение:
а – цилиндрические; б – плоские; в – натурные

зависят от конструкции захватов разрывной машины. Зажимающие захваты не требуют наличия головок на образцах. Из прутковой стали, в том числе стальной арматуры вырезают отрезки нужной длины. Такие образцы называют натурными (рис 6.6-в). По длине рабочей части образцов наносят риски через каждые 5 или 10 мм. По рискам устанавливают положение расчетной длины образца.

Машина для испытания. Испытание на растяжение производят на разрывных машинах с гидравлической или механической системой нагружения. В нашем случае применяется разрывная машина с механической системой нагружения с помощью винтового устройства с червячным редуктором.

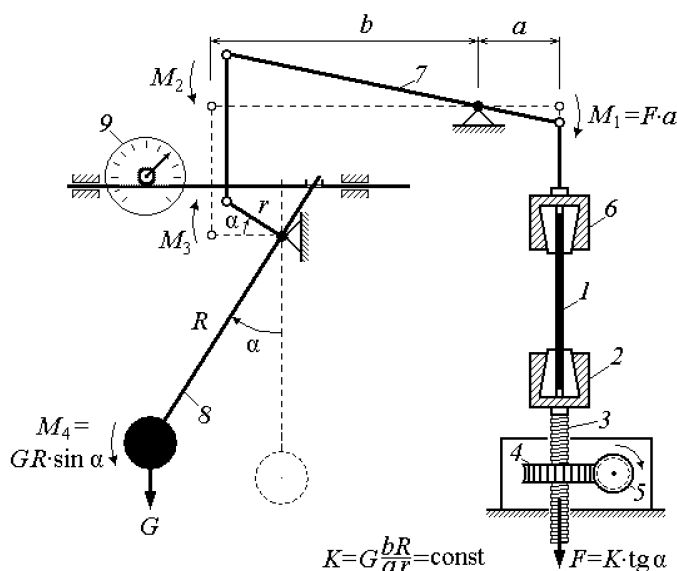


Рис. 6.7. Схема маятникового силоизмерителя разрывной машины: 1 – образец; 2 – нижний захват; 3 – винт; 4 – шестерня перемещения винта; 5 – червяк; 6 – верхний захват; 7 – рычаг; 8 – маятник; 9 – индикатор силы

Измерение действующей силы производится уравниванием ее противовесом в виде маятника, отклонение которого от положения равновесия преобразуется в показания стрелки силоизмерителя. Схема маятникового силоизмерителя показана на рис. 6.7.

Растягивающая сила F , приложенная к образцу 1 через нижний захват 2, создается за счет перемещения вниз винта 3, который удерживается от вращения и движется поступательно по внутренней резьбе шестерни 4, приводимой во вращение от электродвигателя червяком 5. Перемещение вниз верхнего захвата 6 вызывает поворот рычага 7 и отклонение маятника 8, связанного со стрелкой показывающего прибора 9, на угол α . Исходя из равенства моментов $M_1=M_2$ и $M_3=M_4$ при равновесии можно составить два уравнения, из совместного решения которых вытекает, что сила F прямо пропорциональна тангенсу угла α : $F=K \cdot \operatorname{tg} \alpha$, где $K=G b R /(a r)$ — постоянная машины, определяемая соотношением плеч рычага 7 и маятника 8 и весом G груза маятника.

Проведение испытания. Образец 1 в виде стержня замеряют в поперечном сечении и зажимают в захватах 2 и 6 разрывной машины. Включив электродвигатель нагружающего устройства, равномерно растягивают образец со скоростью, предусмотренной стандартом для данного

материала. Скорость возрастания нагрузки оказывает существенное влияние на результат определения прочности. Поэтому для получения сопоставимых результатов значение этой скорости не должно выходить за установленные пределы. Нагружение производят до достижения разрыва образца. Записывают максимальное отклонение стрелки силоизмерителя, которое имеет место раньше, чем происходит разрыв.

В процессе нагружения может автоматически записываться текущее значение действующей силы и соответствующее ему удлинение образца. Поскольку равнодействующая внутренних сил сопротивления в состоянии равновесия равна внешней силе F , то напряжения в поперечном сечении образца вычисляют как отношение силы F к площади поперечного сечения A .

$$\sigma = F/A. \quad (6.1)$$

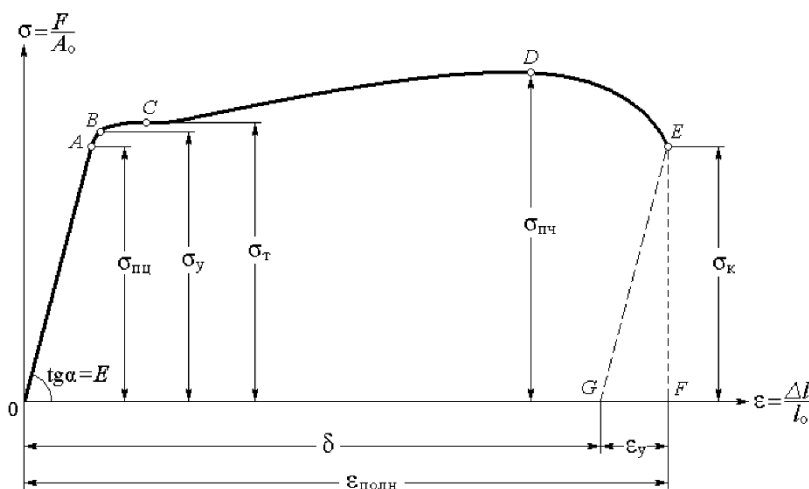
Соответствующие напряжению значения относительного удлинения образца ε вычисляются по формуле:

$$\varepsilon = (l - l_0)/l_0, \quad (6.2)$$

где l_0 — начальное значение расчетной длины; l — текущее значение расчетной длины.

Диаграмму растяжения стали строят в координатах σ — ε (рис. 6.8).

При испытании на растяжение можно получить четыре прочностные характеристики (см. диаграмму σ — ε): предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$ (точка



А); предел упругости σ_y (точка B); предел текучести σ_t (точка C); предел прочности $\sigma_{\text{пч}}$ (точка D) и две пластические характеристики: относительное остаточное удлинение

Рис. 6.8. Диаграмма растяжения мягкой стали

после разрыва δ (см. диаграмму $\sigma - \varepsilon$) и относительное остаточное сужение после разрыва ψ .

$$\delta = (l_k - l_0)/l_0, \quad (6.3)$$

где l_k — значение расчетной длины после разрыва.

$$\psi = (A_0 - A_{ш})/A_0, \quad (6.4)$$

где A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения; $A_{ш}$ — площадь, так называемой, «шейки» — резкого сужения и одновременного удлинения области образца в месте разрыва. Образование шейки начинается после точки D на диаграмме (рис. 6.8), когда нагрузка максимальна.

Предел прочности при растяжении характеризуют максимальным напряжением, после достижения которого происходит разрыв образца.

Единицей измерения напряжения в системе СИ является паскаль (Па), равный 1 ньютону, деленному на 1 м² (1 Па=1 Н/м²). Эта единица слишком мелкая для стали, поэтому обычно используют мегапаскаль (МПа), равный 10⁶ Па. Иногда используется единица технической системы — кгс/мм², где кгс означает "килограмм силы". 1 МПа $\approx$ 0,1 кгс/мм².

При экспериментальном определении предела прочности при растяжении R_p образец нагружают растягивающей силой, действующей по оси образца (без эксцентриситета), и доводят до разрыва. Регистрируют максимальную нагрузку при испытании $F_{\max}$. Предел прочности при осевом растяжении рассчитывают по формуле

$$R_p = F_{\max}/A_0, \quad (6.5)$$

где A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения, измеренная до испытания. В действительности площадь поперечного сечения не постоянна, она уменьшается с увеличением длины стержня и истинный предел прочности всегда немного выше рассчитанного по формуле (6.5), что, однако, не очень существенно для инженерной практики. Значительное уменьшение площади поперечного сечения образца происходит вблизи места разрыва, в области, так называемой, «шейки». При этом падает нагрузка, но не истинные напряжения в образце. Падение же напряжения на диаграмме растяжения (рис. 6.8) имеет

место потому, что это расчетные напряжения, полученные делением нагрузки на постоянную величину A_0 .

Относительное остаточное удлинение после разрыва рассчитывается по формуле (6.3). Для этого нужно установить значения расчетной длины до и после разрыва, а также положение расчетной длины на рабочей части образца.

Расчетная длина — это база для определения удлинения образца. Она меньше рабочей длины и устанавливается по рискам на образце.

Для получения сопоставимых результатов образцы разных размеров и формы поперечного сечения должны быть геометрически подобны между собой и называются пропорциональными. Критерием подобия является постоянство отношения между расчетной длиной и первоначальным диаметром образца l_0/d_0 , принятого равным либо 10, либо 5. Соответственно, образцы называют десятикратными или пятикратными, а l_0 обозначают как l_{10} или l_5 . Для цилиндрических образцов $l_{10}=10d_0$ и $l_5=5d_0$, а для плоских образцов в эти формулы нужно вместо диаметра подставить его выражение через площадь $d_0=(4A_0/\pi)^{0,5}$, тогда получаем: $l_{10}=11,3A_0^{0,5}$ и $l_5=5,65A_0^{0,5}$, где A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Значение δ зависит от положения расчетной длины по отношению к месту разрыва. Это связано с тем, что наибольшее удлинение получают

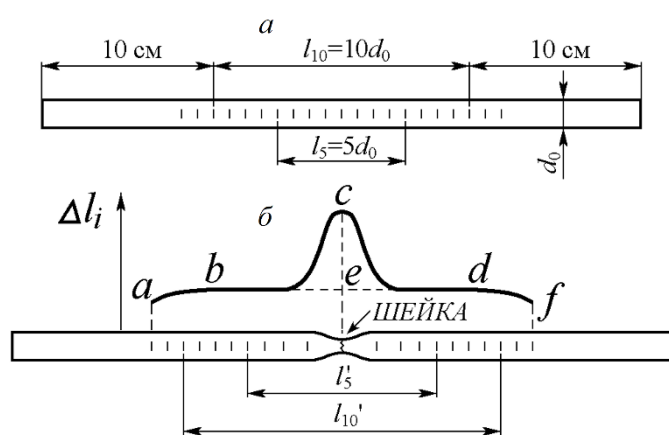


Рис. 6.9. Удлинение промежутков между рисками в результате испытания: а — образец до испытания; б — после разрыва

участки образца вблизи разрыва, в районе шейки. На рис. 6.9 показан график (кривая $abcdf$) удлинения промежутков между рисками по длине образца. Максимальное значение δ получается если разрыв располагается посередине расчетной длины. Так как заранее не известно, где произойдет разрыв, положение расчетной

длины устанавливают после испытания, сложив обе половинки разорванного

образца. От разрыва или от риски, ближайшей к разрыву, откладывают в одну и другую сторону равное число промежутков, так, чтобы их сумма равнялась числу промежутков на расчетной длине l_{10} или l_5 . Расстояния между установленными крайними рисками являются значениями расчетной длины после разрыва l_{10}' или l_5' . Относительное остаточное удлинение после разрыва δ для десятикратных и пятикратных образцов определяют по формулам:

$$\delta_{10} = (l_{10}' - l_{10})/l_{10}, \quad (6.6)$$

$$\delta_5 = (l_5' - l_5)/l_5. \quad (6.7)$$

Для одного и того же образца δ_5 всегда больше, чем δ_{10} .

6.4. Определение твердости стали

Твердость — способность материалов сопротивляться царапающему действию или внедрению других тел.

Для минералов принята качественная оценка твердости с помощью шкалы Мооса. Твердость минералов привязывают к данной шкале, присваивая им тот или иной номер, который, однако, не является количественной характеристикой.

При количественной оценке твердости в испытуемый материал вдавливают под определенной постоянной нагрузкой, так называемый, *индентор* (шарик, конус, пирамиду и т.п.). По нагрузке и геометрическим параметрам полученного отпечатка (лунки) рассчитывают показатель твердости. В зависимости от формы индентора различают показатель твердости по *Бринеллю* (шарик), по *Виккерсу* (квадратная пирамидка), по *Кнуппу* (пирамидка с ромбовидным основанием), по *Роквеллу* (алмазный конус).

Результаты испытаний на твердость одного и того же материала различными методами не совпадают, но согласуются между собой.

Твердость по Бринеллю определяют с помощью пресса Бринелля (рис. 6.10), вдавливая в шлифованную поверхность образца стальной закаленный шарик и определяя площадь сферической поверхности отпечатка. Диаметр D шарика выбирают в зависимости от толщины образца равным 10;

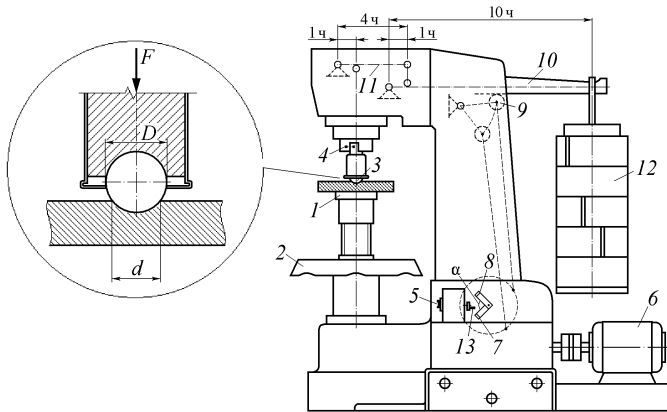


Рис. 6.10. Схема пресса Бринелля: 1 – опора образца; 2 – маховик; 3 – шарик; 4 – метки; 5 – кнопка пуска; 6 – электродвигатель; 7 и 8 – кулачки; 9 – подвижная опора; 10 – рычаг 1:10; 11 – рычаг 1:4; 12 – грузы; 13 – концевой выключатель

5 или 2,5 мм. Диаметр шарика не должен превышать толщину образца, иначе он может продавить образец насквозь и вдавливаясь в нижнюю плиту пресса. Нагрузку на шарик, в зависимости от ожидаемой твердости стали,

берут равной $30D^2$; $10D^2$ или $2,5D^2$. Такой выбор нагрузки позволяет в определенной степени уравнивать условия испытания, учитывая два обстоятельства. С одной стороны, целесообразно получать отпечатки сопоставимые по размерам, поэтому для мягких металлов нагрузка должна меньше, чем для более твердых. С другой стороны, желательно, чтобы давление на контакте между шариком и образцом не сильно различалось при использовании шариков разного диаметра. Чем меньше диаметр шарика, тем больше давление, оказываемое на материал при одной и той же нагрузке. Результат определения твердости зависит также от времени действия нагрузки, поэтому данный параметр принимают постоянным для металлов данного типа. Время действия нагрузки для черных металлов принято 10 с для цветных — 30 и 60 с. Число твердости по Бринеллю:

$$HB = P / A_{сф}, \quad (6.8)$$

где $A_{сф}$ — площадь сферической поверхности отпечатка.

$$A_{сф} = \frac{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (6.9)$$

6.5. Определение ударной вязкости стали

Ударная вязкость (прочность при ударе) — способность материалов сопротивляться разрушению при ударе. Материалы, легко разрушающиеся при ударе, называют *хрупкими*.

Стальные образцы испытывают на *маятниковом копре* (рис. 6.11), подвергая одиночному удару маятника. Образцы имеют форму прямоугольной призмы, длиной 55 мм и площадью поперечного сечения

обычно не более 1,1 см².

Посередине длины стальных образцов делается неглубокий поперечный надрез, являющийся концентратором напряжения и задающим плоскость разрушения.

Образец устанавливают на две опоры копра 6 (рис. 6.11-б), пролет между которыми составляет 40 мм.

Удар ножа маятника должен

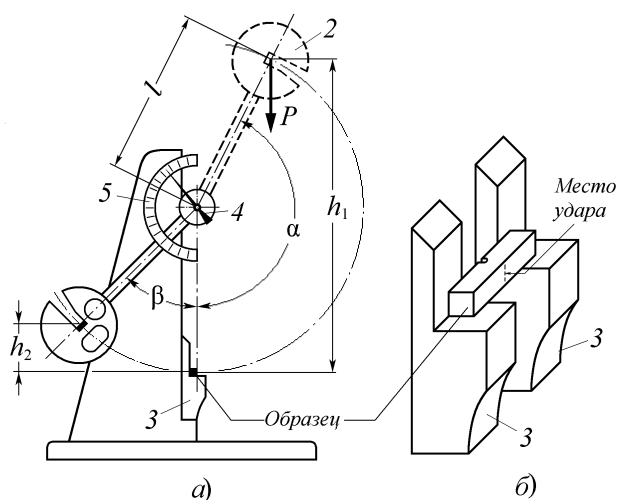


Рис. 6.11. Схема маятникового копра:
1 — образец; 2 — маятник; 3 — опоры; 4 — стрелка;
5 — шкала

производиться со стороны, противоположной концентратору. Маятник 5 поднимают на определенный угол α и фиксируют в этом положении. При падении маятник разрушает образец, затрачивая часть своей потенциальной энергии Ph_1 . После разрушения образца маятник по инерции отклоняется на некоторый угол β , на что расходуется работа Ph_2 . Величина $Ph_1 - Ph_2$ есть работа, затраченная на разрушение образца. Под ударной вязкостью понимают работу удара, отнесенную к начальной площади поперечного сечения образца в створе концентратора. Ударная вязкость рассчитывается по формуле

$$a = P(h_1 - h_2)/A_0 = Pl(\cos \alpha - \cos \beta)/A_0,$$

где P — вес маятника, l — длина маятника, A_0 — начальная площадь поперечного сечения образца в створе концентратора. Значения углов α и β определяется по показаниям стрелки 7, отклоняемой маятником, по шкале 8.

Занятие 7. Кристаллизация вещества из расплавов и пересыщенных растворов. Простейшие типы диаграмм состояния

7.1. Общие сведения. Терминология и определения

Сталь получают из чугуна сначала в виде расплава, являющегося истинным жидким раствором углерода в железе. По мере остывания расплав постепенно переходит в твердое кристаллическое состояние. Этот переход сопровождается процессами, обуславливающими структуру сплава и его свойства. С кристаллизацией вещества из расплава мы сталкиваемся при получении металлических сплавов, образованием горных пород из магмы, при получении продуктов обжига — керамического черепка, портландцементного клинкера. Формирование структуры вещества при остывании расплавов и других истинных растворов описывают с помощью диаграмм состояния — графиков в координатах состав — температура. При этом пользуются определенной терминологией.

Кристаллизация — переход из жидкого в твердое кристаллическое состояние.

Система — совокупность веществ, выделенных для рассмотрения.

Компоненты — вещества, составляющие систему. Например, сталь — система двух компонентов — железа и углерода.

Фаза — однородная по химическому составу, структуре и физическим свойствам часть системы, имеющая физические поверхности раздела от других фаз. Например, минералы в горной породе — это фазы данной системы. Химические элементы (Fe, C, Ca, Mg и др.), химические соединения (Fe_3C , H_2O , NaCl , CaCO_3 и др.) и твердые растворы, присутствующие в системе, являются фазами.

Строительные материалы в большинстве своем неоднородны (*гетерогенны*), то есть представляют собой многофазные системы. Гетерогенные материалы характеризуют не химическим, а *фазовым* составом

(в случае горных пород его называют минералогическим составом). Химическим составом характеризуют сами фазы.

Примером однокомпонентной системы может служить вода, которая переходит при 0 °С в однофазную систему — лед. Примером двухфазной системы является лед, образующийся при замерзании водного раствора NaCl и представляющий собой механическую смесь кристаллов воды и соли.

В зависимости от природы компонентов при переходе в твердое состояние может образоваться однофазная система (химическое соединение или твердый раствор) или многофазная система (механическая смесь).

Механическая смесь двух компонентов (рис. 7.1-а) образуется, когда компоненты *A* и *B* не дают химических соединений и твердых растворов.

Химическое соединение образует однофазную систему (рис. 7.1-б) из

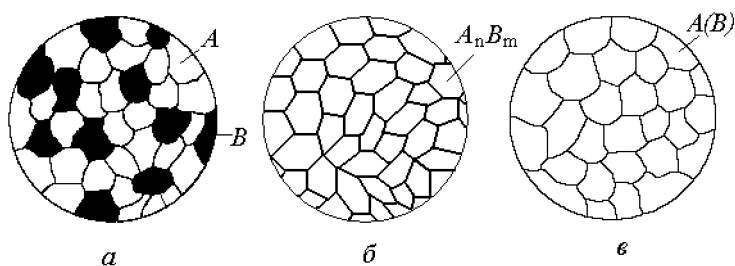


Рис. 7.1. Условные схемы кристаллической структуры: а – механической смеси; б – химического соединения; в – твердого раствора

кристаллов, отличных от других фаз. Состав кристаллов может быть выражен химической формулой (например, A_nB_m) и является неизменным, не зависящим от температуры и

концентрации исходных веществ.

Твердый раствор характеризуется однородностью (однофазностью) вещества, каковая была и у жидкого раствора до его кристаллизации. Только атомы (ионы) компонентов *A* и *B* в твердом растворе выстраиваются в определенном порядке, образуя кристаллическую решетку. В отличие от

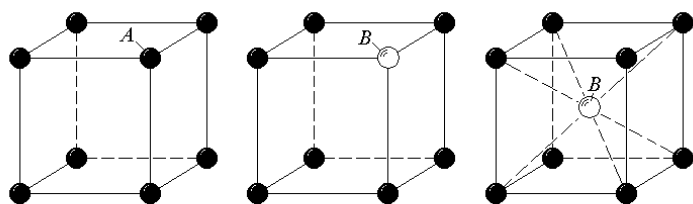


Рис. 7.2. Условные схемы кристаллической решетки: а – чистого компонента; б – твердого раствора замещения; в – твердого раствора внедрения

химического соединения соотношение компонентов в твердом растворе зависит от концентрации исходных веществ в жидкой фазе. В решетку основного

компонента A (рис. 7.2-а) атомы растворенного вещества B встраиваются либо путем замещения атомов A (рис. 7.2-б), либо путем внедрения в пространство между атомами A (рис. 7.2-в). Соответственно, различают твердые растворы *внедрения* и *замещения*.

7.2. Построение диаграмм состояния

Рассмотрим в качестве примера процессы, происходящие при охлаждении водного раствора поваренной соли различной концентрации, и

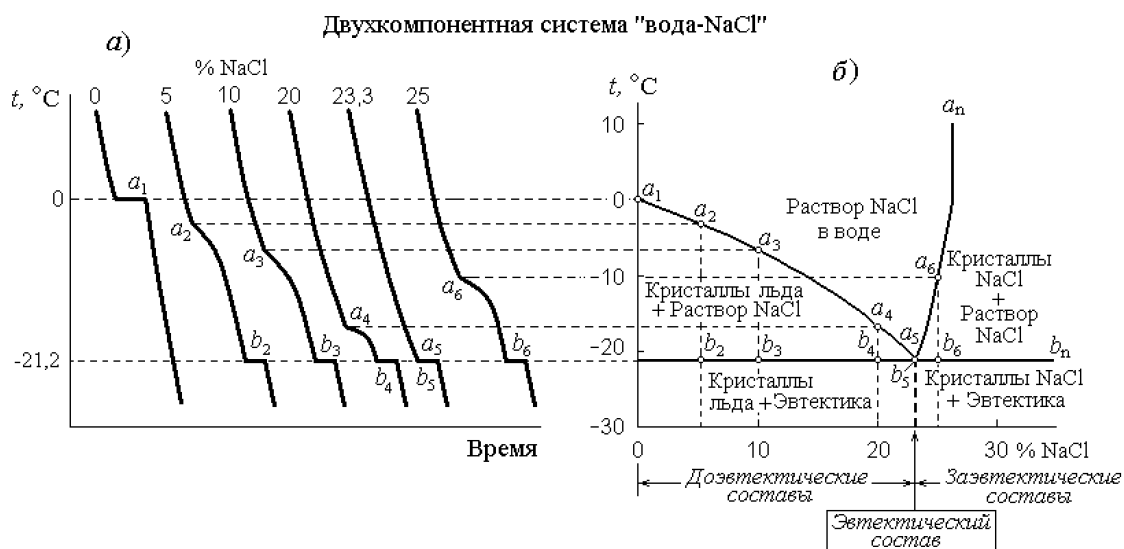


Рис. 7.3. Кривые охлаждения (а) и диаграмма состояния (б) водного раствора поваренной соли

построим для этой системы диаграмму состояния (рис. 7.3). Чистая вода (состав 0 % NaCl) имеет только одну критическую точку (a_1) на кривой охлаждения при 0 °C. В этой точке происходит задержка в понижении температуры в связи с тем, что переход вещества из жидкого состояния в твердое сопровождается выделением скрытой теплоты фазового перехода, благодаря которой температура поддерживается на постоянном уровне до тех пор, пока переход воды в лед не завершится. Если в воде растворена соль, то на кривой охлаждения наблюдаются две критические точки — a_2 и b_2 . При увеличении содержания соли в растворе верхняя критическая точка опускается все ниже, а нижняя — остается на одном и том же уровне минус 21,2 °C. При содержании NaCl в растворе 23,3 % точки a и b совпадают и этот

состав характеризуется только одной критической точкой при $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее увеличение концентрации раствора приводит к тому, что на кривых охлаждения снова появляется верхняя критическая точка (a_6), которая по мере увеличения содержания соли поднимается вверх по оси температур. Кривая a_1a_n показывает, какое максимальное количество поваренной соли можно растворить в воде при данной температуре. Так, при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воде максимально растворится $28,3\text{ }\%$ NaCl, но при понижении температуры соль будет выделяться из раствора в виде твердого кристаллического осадка, а содержание соли в растворе соответственно будет понижаться. При температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка a_6) содержание NaCl составит $25\text{ }\%$, а при $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $23,3\text{ }\%$. Таким образом, раствор с концентрацией соли выше $23,3\text{ }\%$ при охлаждении ниже линии $a_5a_6\dots a_n$ становится пересыщенным по соли и избыток соли выпадает из раствора. Раствор же с концентрацией соли ниже $23,3\text{ }\%$ при охлаждении ниже верхней критической точки становится пересыщенным по воде и из него выделяется чистая вода в виде кристаллов льда. При этом раствор обогащается солью, и концентрация ее повышается, пока не достигнет $23,3\text{ }\%$, что произойдет при температуре — $21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, что состав раствора с концентрацией соли $23,3\text{ }\%$ является особым, и поэтому получил название *эвтектического состава* (от греческого слова *эвтектика* — хорошо смешанный). Раствор эвтектического состава остается жидким до наиболее низкой температуры (в данном случае $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), которая также называется эвтектической. При этой температуре раствор переходит в твердое состояние, превращаясь в механическую смесь мелких кристаллов одного и другого компонента (воды и NaCl). Такую смесь называют *эвтектикой*. Очевидно, что нижние критические точки (b_2-b_6) на всех кривых охлаждения (см. рис. 7.3-а) отвечают образованию эвтектики из раствора, оставшегося после выделения из него либо кристаллов чистого льда в доэвтектической области составов, либо кристаллов соли в заэвтектической области.

Перенесем значения критических температур на график в координатах "состав — температура" (см. рис. 7.3-б). Точки a_1 – a_6 образуют *линию верхних критических точек*, иначе называемую *ликвидусом* [от liquidus (лат.) — жидкий]. Выше ликвидуса система находится в жидком состоянии. Точки b_2 – b_6 образуют *линию нижних критических точек*, иначе называемую *солидусом* [от solidus (лат.) — твердый]. Ниже солидуса система находится в твердом состоянии. Между ликвидусом и солидусом сосуществуют одновременно и жидкие, и твердые фазы. В областях диаграммы указывают фазы или структурные составляющие, существующие при значениях температур и составов, охватываемых данной областью. Первой указывается новая фаза, появляющаяся в системе при охлаждении (рис. 7.3-б).

7.3. Простейшие типы диаграмм состояния

Существует несколько простейших типов диаграмм состояния, характерных для ряда веществ, будь то сплавы, или растворы. Для двухкомпонентных систем ось составов изображается в виде отрезка, по концам которого указываются символы компонентов (условно A и B) (рис. 7.4-

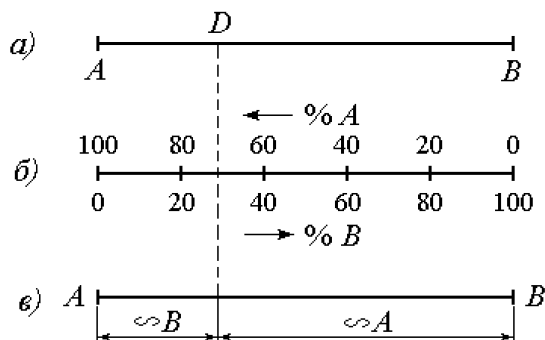


Рис. 7.4. Построение оси составов и правило отрезков

а). При движении по оси от точки A к точке B содержание компонента A в сплаве уменьшается от 100 % до 0, а содержание компонента B возрастает от 0 до 100 % (рис. 7.4-б). В любой точке оси сумма концентраций компонентов A и B равна 100 %. Состав, характеризуемый

точкой D на оси AB , можно определить либо построив шкалу концентраций, либо по *правилу отрезков*, согласно которому доля компонента A равна отношению длины отрезка DB к общей длине оси AB , а доля компонента B — отношению AD/AB (см. рис. 7.4-в).

Диаграмма состояния I типа (рис. 7.5) характерна для компонентов,

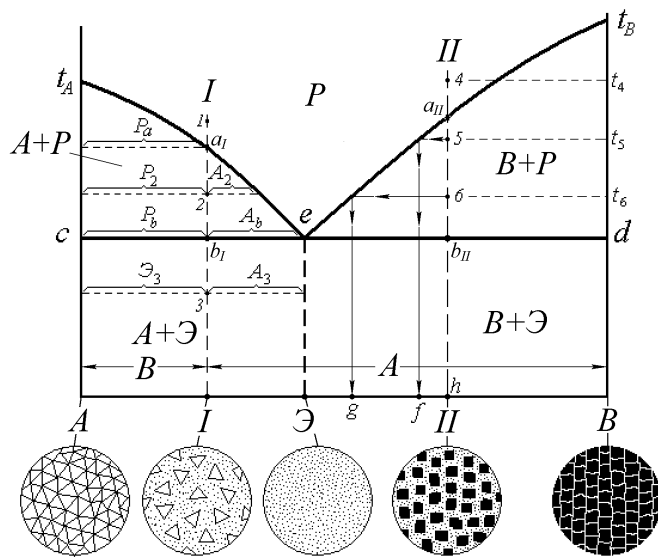


Рис. 7.5. Диаграмма состояния I типа

которые при кристаллизации из раствора (расплава) не образуют химических соединений и твердых растворов.

На этой диаграмме линия $t_A e t_B$ — ликвидус или линия температур начала кристаллизации сплава, а линия $c e d$ — солидус или линия температур конца кристаллизации сплава; t_A и

t_B — температуры кристаллизации, соответственно, компонентов A и B ; точка e — эвтектическая точка; P — расплав; $Э$ — эвтектика; I и II — произвольно выбранные составы сплавов.

Диаграмма состояния позволяет решать следующие 5 задач.

1. Можно определять температуры начала и конца кристаллизации сплава любого состава. Так для сплава I определяют положение точек a_I и b_I по оси температур.

2. Можно определять виды фаз и структурных составляющих, из которых состоит сплав при данной температуре. Для этого существует следующее правило. Взяв на диаграмме точку, абсцисса которой характеризует состав нашего сплава, а ордината — температуру, проведем от нее мысленно горизонтальную прямую влево и вправо до границ той области, в которой находится точка, и установим, какие фазы или структурные составляющие существуют на этих границах. Возьмем точку 2 в области $t_A e c$. Слева имеем температурную ось, положение которой по горизонтали отвечает составу чистого компонента A , а справа имеем границу с областью расплава P . Поскольку температура в точке 2, ниже t_A , и выше эвтектической температуры,

то в области t_{AEC} сплав состоит из твердой фазы A (выделившихся из расплава кристаллов компонента A) и жидкой фазы P (расплава). Это обстоятельство отразим записью " $A+P$ " в области t_{AEC} диаграммы. В области et_{BD} мы должны записать " $B+P$ ", в чем можем убедиться аналогичным образом. Следовательно, в этой области из расплава выделяется в твердом состоянии компонент B , который в заэвтектических составах содержится в избытке по сравнению с составом эвтектики.

Применяя наше правило к областям $AceЭ$ и $ЭedB$, мы получим, соответственно, " $A+Э$ " и " $B+Э$ ". Эвтектика неоднородна и поэтому является не фазой, а структурной составляющей (элементом структуры сплава). На диаграмме 100 % содержание эвтектики отмечается пунктирной линией. Можно не учитывать пунктирную линию и выбрать область $AcdB$, в которой нужно было бы записать " $A+B$ ". Тут нет противоречия, т. к. эвтектика состоит из этих двух компонентов, содержание которых пропорционально длине отрезков, соответственно, $ЭB$ и $AЭ$.

3. Можно определять процентное содержание каждой фазы или структурной составляющей в сплаве при данной температуре. Возьмем, например, точку 2 и проведем через нее горизонтальную линию до границ области. Эта линия является новой осью составов. По ней определяется содержание в сплаве при данной температуре компонента A , выделившегося из расплава, и содержание оставшегося расплава. Действительно, слева в крайней точке имеем 100 % компонента A , а справа (на границе с расплавом) — 100 % расплава, что находится в полной аналогии с правилом построения оси составов. Точка 2 делит эту ось на отрезки A_2 и P_2 , измерив которые, можно определить по правилу отрезков процентные содержания фаз A и P в сплаве I при температуре в точке 2. Характер изменения фазового состава сплава I при понижении температуры можно проследить, строя оси составов для различных точек вертикали I . Сравнение отрезков в точках a , 2 и b показывает, что при понижении температуры от точки a до точки b содержание компонента A возрастает от 0 ($A_a=0$) до $[A_b/(A_b+P_b)] \cdot 100 \approx 44$ %, а

содержание расплава снижается от 100 % до $[P_b/(A_b+P_b)] \cdot 100 \approx 56$ %. В точках b и 3 имеем $P_b = \mathfrak{A}_3$ и $A_b = A_3$, т. е. то количество компонента A , которое выделилось из расплава к концу кристаллизации, существует в твердом сплаве, а оставшийся расплав (около 56 %) полностью превращается в эвтектику.

В заэвтектической области все происходит аналогично с той лишь разницей, что вместо компонента A из расплава выделяется компонент B .

4. Можно определять состав фаз и структурных составляющих в сплаве при любой температуре. Проследим за изменением состава жидкости (расплава) в сплаве II при охлаждении. При температуре t_4 (точка 4) и ниже, вплоть до точки a , сплав — полностью жидкий, поэтому состав расплава и состав сплава — один и тот же, характеризуемый точкой h на оси составов. В точке a начинается кристаллизация расплава и из него выделяются первые кристаллы компонента B . В результате частичной потери этого компонента изменяется состав и количество жидкой фазы. Для определения состава расплава при температуре t_5 из точки 5 проведем горизонтальную прямую до границы с расплавом и опустим перпендикуляр на ось составов в точку f . При более низкой температуре t_6 состав расплава будет характеризоваться точкой g , а в конце кристаллизации (в точке b) он равен составу эвтектики. Следовательно, при охлаждении сплава II содержание компонентов A и B в жидкой фазе (состав расплава) изменяется по кривой ae . Аналогично можно определять и состав компонента B , однако это лишено смысла т. к. состав однофазного вещества постоянен и определяется вертикалью 100 % B .

5. Можно предсказывать структуру сплава в зависимости от его состава или определять состав сплава по его структуре.

Пусть условно, кристаллы компонента A будут треугольниками, а компонента B — квадратами, тогда структура эвтектики будет представлена смесью треугольников и квадратов, только очень мелких, практически неразличимых на фоне крупных кристаллов чистых компонентов. Площади, занимаемые в эвтектике треугольниками (компонентом A) и квадратами

(компонентом B) составляют, соответственно 57,5 и 42,5 %, что отвечает отрезкам $ЭВ$ и $АЭ$ оси составов. Для того, чтобы определить структуру сплава I , измерим длину отрезков $Э_3$ и $А_3$ и по ней вычислим процентное содержание в сплаве компонента A и эвтектики. Получим 44 и 56 %. Следовательно, площадь, занятая крупными треугольниками на картинке структуры сплава I , должна составлять 44 % от общей площади, а оставшаяся площадь должна приходиться на долю эвтектики, изображаемой точками. Аналогичным образом, измерив отрезки $Эh$ и hB и учитывая, что крупные кристаллы в данном случае — квадратики, получим структуру сплава II .

Для определения состава сплава по его структуре нужно измерить площади занимаемые элементами структуры и с помощью диаграммы определить содержания в сплаве компонентов.

Диаграмма состояния *II типа* (рис. 7.6) характеризует системы, в которых оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, а в твердом состоянии образуют устойчивое химическое соединение, которое может быть нагрето без разложения до точки плавления. Исходя из формулы

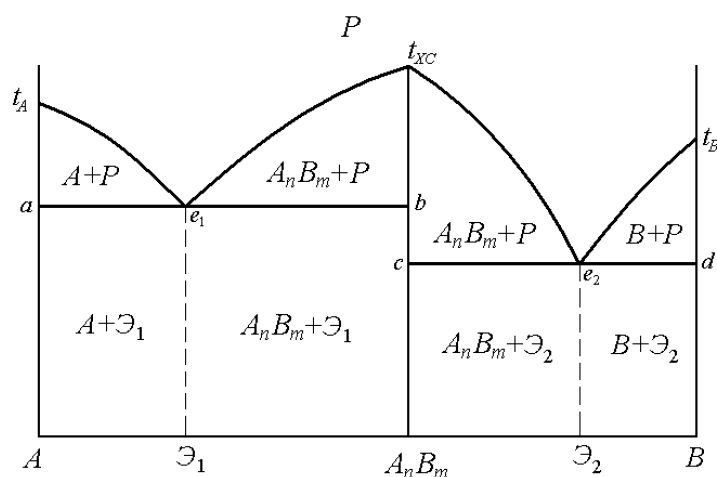
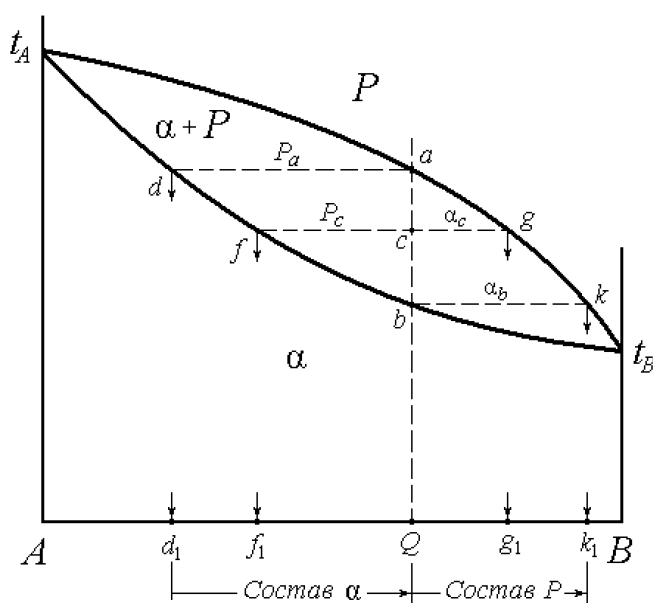


Рис. 7.6. Диаграмма состояния II типа

химического соединения A_nB_m , можно вычислить соотношение компонентов в нем и отметить на оси составов точку, отвечающую составу соединения. Из этой точки нужно провести вертикаль и отметить на ней температуру плавления химического соединения t_{xc} .

В структуре сплава химическое соединение дает характерные для него кристаллы, которые образуют механические смеси с кристаллами компонентов A и B . Поэтому диаграмма II типа составлена из двух диаграмм I типа. Одна из них (левая) относится к смесям компонента A и химического

Диаграмма состояния III типа (рис. 7.7). Компоненты неограниченно растворимы как в жидком, так и в твердом состояниях и не образуют химических соединений. В данной системе существует только две фазы — жидкий раствор (расплав) P и твердый раствор α . Линия t_{AatB} — ликвидус; t_{AbtB} — солидус. Кристаллизация сплава Q начинается в



точке a и заключается в том, что из расплава выделяются кристаллы твердого раствора α , первоначальный состав которых характеризуется точкой d_1 , являющейся проекцией точки d (в точке d мы имеем 100 % твердого раствора α). При температуре в точке c состав выделяющихся кристаллов α уже иной, отвечающий точке f_1 , а в конце

92

сплава Q в начале кристаллизации до состава k_1 в конце). Применяя правило отрезков в точках a , c и b , можно видеть, что при понижении температуры количество расплава уменьшается от 100 % (в точке a) до 0 (в точке b), а количество твердого раствора, наоборот, увеличивается от 0 (в точке a) до 100 % (в точке b).

Структура твердых растворов представлена только одним типом кристаллов, которые из-за отсутствия изотермической кристаллизации (подобно эвтектике) получают сравнительно крупными.

Диаграмма состояния IV типа (рис. 7.8). Компоненты неограниченно растворимы в жидком состоянии, но ограничено в твердом и не образуют химических соединений. Пусть компонент B растворяется в компоненте A

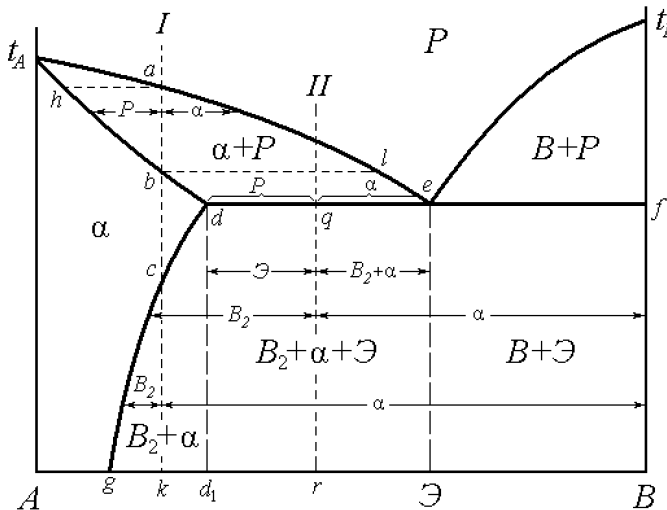


Рис. 7.8. Диаграмма состояния IV типа

максимально до концентрации d_1 , образуя твердый раствор α . С понижением температуры растворимость B в A падает по кривой dg . При достижении этой линии (состояния насыщения) из твердого раствора α так же, как из жидкого, выделяется избыточное количество растворенного компонента (в данном случае B) в виде кристаллов, которые называют вторичными и обозначают B_2 . В отличие от первичных кристаллов, выделяющихся из жидкости по линии et_B , они значительно более мелкие, т. к. выделяются в стесненных условиях (в твердом теле). Линия dg называется линией начала разложения твердого раствора. Линия t_Aet_B — ликвидус; t_Adef — солидус.

Рассмотрим кристаллизацию сплава I . Выше точки a сплав находится в жидком состоянии. В точке a из расплава начинают выделяться кристаллы твердого раствора α , состав которых изменяется по кривой hb , а расплав

изменяет свою концентрацию по кривой al . В точке b кристаллизация заканчивается и образовавшийся твердый раствор существует без изменений до точки c , ниже которой он становится пересыщенным и выделяет избыточный компонент B_2 , обогащаясь компонентом A . Содержание в сплаве вторичных кристаллов и твердого раствора определяется отрезками B_2 и α . (см. рис. 1.12).

В отличие от сплава I в сплаве II к концу кристаллизации (в точке q) остается некоторое количество расплава, определяемое отрезком dq . Выделяющиеся кристаллы α при этой температуре принимают состав точки d , а расплав — состав точки e , т. е. эвтектический. Этот расплав образует эвтектику, кристаллизуясь при постоянной температуре в точке q . В интервале температур $q-r$ происходит вторичная кристаллизация компонента B , который выделяется из твердого раствора α . Как видно из постоянства длины отрезков $\mathcal{E}$ и $B_2+\alpha$ на этом интервале суммарное содержание B_2 и α остается неизменным, а соотношение между ними изменяется в соответствии с отрезками B_2 и α .

Занятие 8. Структура и фазовый состав железоуглеродистых сплавов. Диаграмма состояния Fe–C

8.1. Общие сведения

Сталь и *чугун* — сплавы железа и углерода. Они различаются главным образом содержанием углерода: сталь содержит углерода до 2,14, а чугун — свыше 2,14 до 6,67 %. Технология стали и чугуна основана на процессах, протекающих в сплавах при нагревании и охлаждении, которые описываются диаграммой состояния.

В зависимости от содержания углерода и обусловленной этим структуры различают сталь: доэвтектойдную ($<0,8\%$), эвтектойдную ($0,8\%$) и заэвтектойдную ($>0,8\%$); чугун: доэвтектический ($<4,3\%$), эвтектический ($4,3\%$) и заэвтектический ($>4,3\%$)

В зависимости от формы содержащегося в чугуне углерода различают

белый и серый чугун.

Белый чугун содержит углерод в связанном состоянии — в виде химического соединения Fe_3C (*цементита*). Он имеет в изломе белый цвет (отсюда и название) и характерный блеск. Из-за очень высокой твердости, сообщаемой белому чугуну цементитом он практически не поддается механической обработке и используется в основном для получения стали.

Серый чугун, в котором весь углерод или большая его часть находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита, употребляется для получения изделий путем литья.

Сталь, содержащая углерода значительно меньше, чем чугун, является более пластичной и ударно-вязкой и поддается ковке и штамповке. Среди металлических сплавов, применяемых в строительстве, сталь имеет главенствующее значение.

8.2. Структура углеродистой стали

Чистое железо при охлаждении или нагревании претерпевает ряд превращений в твердом состоянии, которые обуславливают наличие критических точек на кривой охлаждения (рис. 8.1). В интервалах между

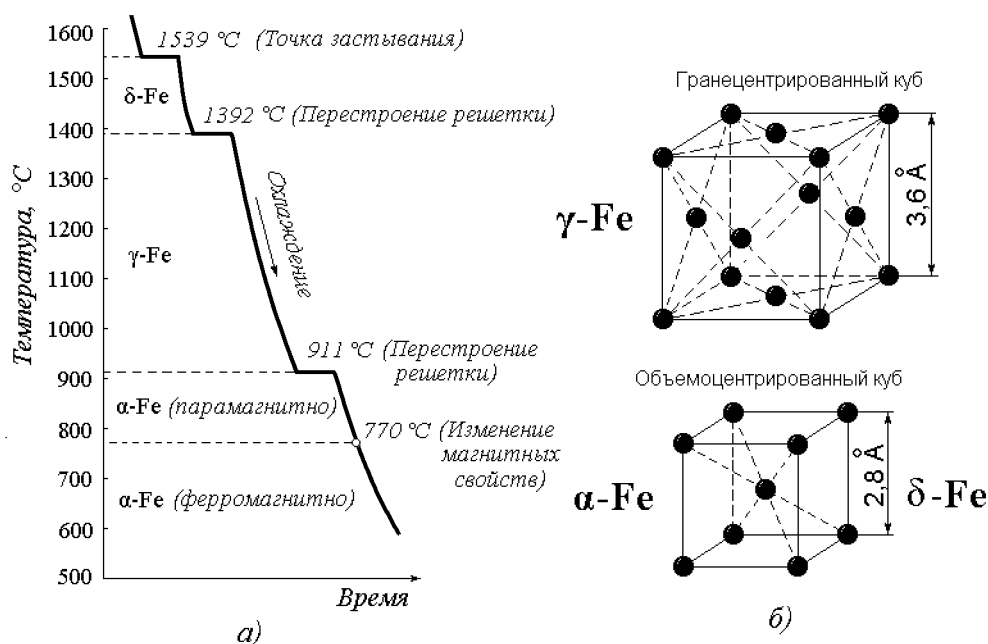


Рис. 8.1. Кривая охлаждения чистого железа (а) и структура кристаллической решетки модификаций железа (б)

этими точками железо существует в виде 4 различающихся по свойствам модификаций (α -, β -, γ - и δ -Fe), из которых γ -Fe имеет кристаллическую решетку "гранецентрированный куб" (ГЦК) с параметром 3,6 Å, а остальные — решетку "объемцентрированный куб" (ОЦК) с параметром 2,8 Å. Часто для простоты β -Fe и δ -Fe отдельно не выделяют и рассматривают как α -модификацию. Переход $\gamma \rightarrow \alpha$ (911 °C) при охлаждении или $\alpha \rightarrow \gamma$ при нагревании играет главную роль в формировании свойств стали.

Углерод растворим в железе как в жидком, так и в твердом состояниях, а также образует химическое соединение состава Fe₃C, называемое *цементитом* (Ц). Растворимость углерода в α - и γ -модификациях существенно различается. В более плотной решетке α -Fe углерод может оказаться только путем замещения атомов железа. Способными на это оказываются редкие атомы, поэтому растворимость углерода в α -железе ничтожно мала (не более 0,02 %). В γ -железе растворяется углерода до 2,14 %. В этом случае углерод внедряется между атомами железа, благодаря тому, что γ -решетка не так плотно упакована. Таким образом, в системе железо — углерод образуются два твердых раствора — *феррит* (твердый раствор замещения) и *аустенит* (твердый раствор внедрения).

Феррит (Ф) — твердый раствор углерода в α -железе, существует при температурах ниже 911 °C. Это почти чистое железо, почему и назван от слова ferrum — железо.

Аустенит (А) — твердый раствор углерода в γ -железе. Назван так в честь английского ученого Роберта Аустена (1843-1902).

Железо и углерод образуют аустенит при температурах выше 727 °C, ниже этой температуры аустенит распадается на феррит и цементит.

Таким образом, структура углеродистой стали при нормальной температуре образована двумя фазами (двумя типами кристаллов) — очень мягким и пластичным ферритом и очень твердым и хрупким цементитом. Содержание цементита в стали может изменяться в пределах от 0 до 32 %, а феррита — соответственно, от 100 до 68 %. Чем больше в стали углерода, тем

больше содержится в ней цементита и меньше феррита, и тем выше твердость и ниже пластичность стали. При содержании углерода менее 0,01 % сталь состоит из одного только феррита и представляет под микроскопом однородную кристаллическую структуру (рис. 8.2-а). Феррит и цементит образуют механическую смесь, подобную эвтектике. Кристаллы в ней практически неразличимы при увеличении микроскопа в 200 крат и она

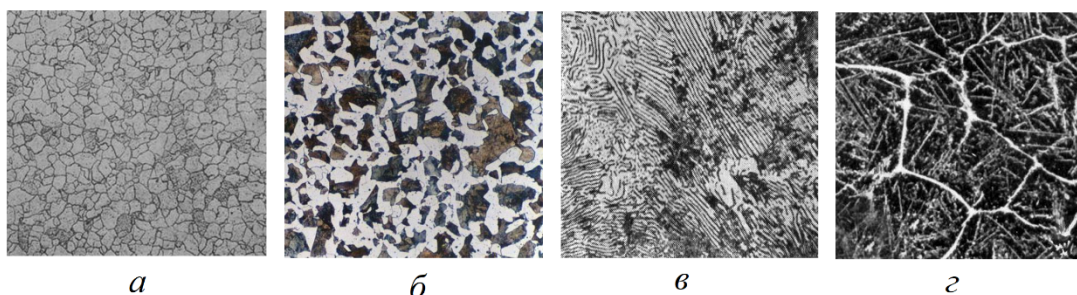


Рис. 8.2. Структура сталей с содержанием углерода: а – 0 % (феррит); б – 0,4 % (феррит+перлит); в – 0,8 % (перлит); г – 1,2 % (цементит+перлит); а, б, г – увеличение в 200 раз; в – увеличение в 1000 раз

представляется однородным веществом, в то время как кристаллы, например, феррита при том же увеличении являются достаточно крупными (см. рис. 8.2-б). Такая смесь, называемая *эвтектоидной* (похожей на эвтектику) или *перлитом* (П), получается при соотношении — 88 % феррита и 12 % цементита. Это соотношение удобнее характеризовать содержанием углерода, которое составляет 0,8 % (99,2 % железа). Если сталь содержит 0,8 % углерода, то по структуре она представляет собой перлит. Другие структурные составляющие отсутствуют. Структуру перлита можно видеть только при большом увеличении микроскопа (рис. 8.2-в). Если содержание углерода больше 0,8 %, то в структуре сплава наряду с перлитом появляются кристаллы вторичного цементита (рис. 8.2-г). При содержании углерода менее 0,8 % структура стали включает перлит и феррит (рис. 8.2-б).

Диаграмма состояния Fe–Fe₃C (рис. 8.3) является частью полной диаграммы Fe–C, расположенной слева от химического соединения Fe₃C, поэтому углерод как фаза в сплавах отсутствует, подобно компоненту В, отсутствующему в левой части диаграммы II типа (см. рис. 7.6).

Линия ACD — ликвидус, выше этой линии существует жидкий раствор углерода в железе (расплав P). $AECF$ — солидус, ниже солидуса все сплавы существуют в твердом состоянии. Область $AESG$ — область существования твердого раствора аустенита (A). GSE — линия начала разложения твердого раствора аустенита. Разложение заключается в выделении из аустенита ниже линии GS кристаллов феррита, а ниже линии SE — вторичного цементита. Разложение аустенита заканчивается на линии PSK . На этой линии при температуре 727°C оставшийся аустенит превращается в перлит (Π), то есть распадается на механическую смесь мелких кристаллов феррита (Φ) и вторичного цементита (Ц_2).

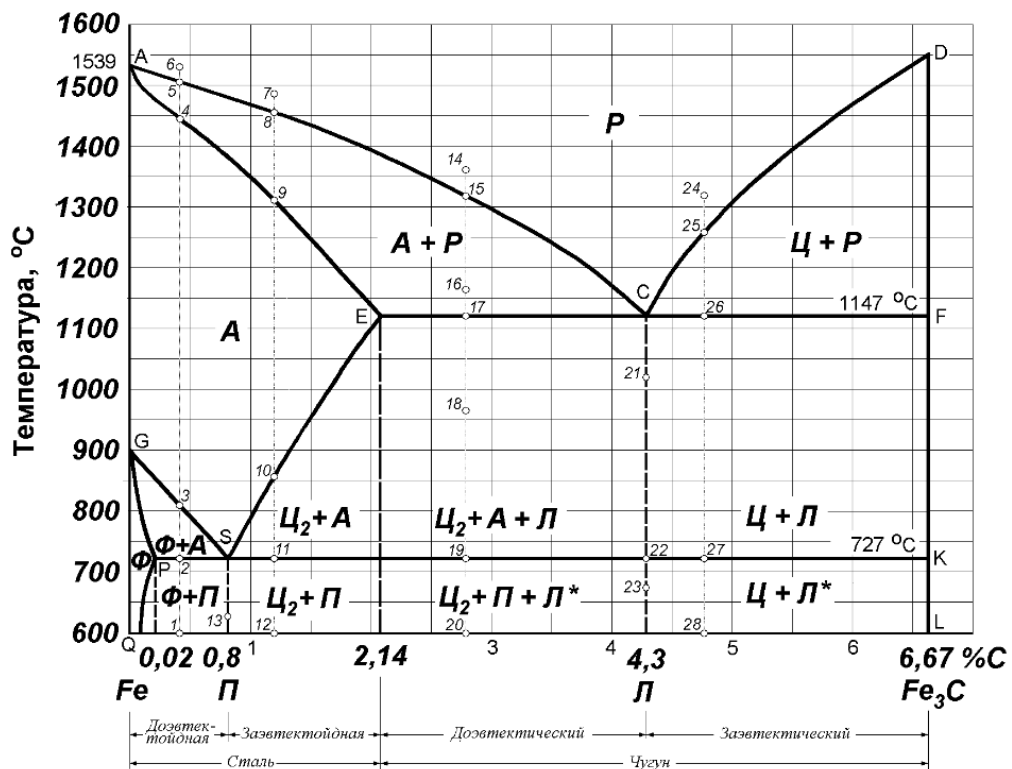


Рис. 8.3. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Сплав (чугун) с содержанием углерода 4,3 % является эвтектическим. Он имеет самую низкую температуру плавления (кристаллизации) 1147°C (точка C). Эвтектику в системе $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ назвали *ледебуритом* (Л) в честь немецкого ученого Альфреда Ледебура (1837–1906). При $t > 727^\circ\text{C}$ ледебурит представляет собой механическую смесь мелких кристаллов аустенита и цементита, а при $t < 727^\circ\text{C}$ — перлита и цементита.

Верхняя часть диаграммы Fe–Fe₃C (выше линии PSK) аналогична диаграмме IV типа (см. рис. 7.8). Здесь имеют место те же процессы выделения из расплава либо кристаллов твердого раствора (аустенита) в случае доэвтектических составов сплава, либо химического соединения (цементита) в случае заэвтектических составов. Расплав, оставшийся после выделения твердой фазы, превращается в эвтектику (ледебурит) и из твердого раствора (А) выделяются вторичные кристаллы растворенной фазы (Ц₂). В отличие от диаграммы IV типа в системе Fe–Fe₃C имеют место так называемые эвтектоидные превращения, заключающиеся в разложении твердого раствора (аустенита), совершенно аналогичном разложению жидкого раствора (расплава) при кристаллизации.

Рассмотрим доэвтектоидную сталь, содержащую 0,4 % углерода (точка 1). Если сталь нагревается, фигуративная точка смещается по диаграмме вверх, пересекая линии диаграммы. Положение точки по высоте характеризует температуру, а ее положение по горизонтали — химический состав стали (содержание в ней углерода). При изменении температуры химический состав стали не изменяется, поэтому точка остается все время на одной и той же вертикали. Пока температура не достигнет 727 °С (линия PS) сталь будет состоять из феррита и перлита, что отмечено буквами Ф+П в соответствующей области диаграммы. При 727 °С (точка 2) перлит (П) переходит в аустенит (А), это связано с перестроением кристаллической решетки (α -Fe переходит в γ -Fe). Такое превращение происходит только с железом, входящим в состав перлита (П), в феррите же (Ф) сохраняется α -модификация железа, и он остается в стали без изменения. При повышении температуры сверх 727 °С количество феррита уменьшается, он растворяется в аустените, и доля последнего растет в той же степени, в какой снижается доля феррита. Когда наша точка достигнет линии GS (точка 3) содержание феррита будет 0 %, а содержание аустенита 100 %. В отличие от чугуна для стали характерно то, что при нагревании она полностью переходит в фазу аустенита (область GSEB). Температура этого полного перехода зависит от

состава стали и определяется линией GSE. Дальнейший нагрев приводит к плавлению стали. Первые капли жидкой фазы (расплава Р) появятся при температуре в точке 4, лежащей на линии BE. При последующем повышении температуры количество расплава будет увеличиваться, а количество аустенита — уменьшаться, пока он полностью не растворится в расплаве. Это произойдет при температуре в точке 5, лежащей на ликвидусе (линии ACD). Выше ликвидуса лежит область расплава (Р).

При охлаждении сплава все будет происходить в обратном порядке. При очень медленном (равновесном) охлаждении образуется первоначальная структура стали, состоящая из феррита и перлита. Такую структуру называют равновесной. При быстром охлаждении возникают неравновесные (метастабильные) структуры, характеризующиеся высокой твердостью. На этом основана закалка стали.

Рассмотрим процессы, происходящие при охлаждении заэвтектоидной стали с содержанием углерода 1,2 %. При температуре в точке 8 начинается кристаллизация расплава; из него выделяются кристаллы аустенита. С понижением температуры, твердой фазы (аустенита) становится все больше, а жидкой — все меньше. В точке 9, лежащей на солидусе (линии BECF), заканчивается кристаллизация последних капель расплава, чем завершается его постепенный переход в аустенит. В виде аустенита сплав существует до температуры в точке 10, лежащей на линии GSE (линия начала разложения аустенита). Начиная с этой температуры аустенит разлагается — из него выделяется цементит. Этот цементит называют вторичным и обозначают Ц_2 по той причине, что выделяется он из твердой фазы (аустенита) и этим отличается как структурная составляющая от цементита, выделяющегося из жидкой фазы (расплава) в области CDF. Отличие между ними заключается только в размерах кристаллов и их расположении. Цементит (Ц), выделяющийся из расплава окружен жидкой фазой и не имеет ограничений в росте и расположении кристаллов. Вторичный цементит (Ц_2) выделяется в крайне стесненных условиях, поэтому его кристаллы — очень мелкие и

располагаются в виде узких прослоек по границам кристаллов аустенита. Под микроскопом вторичный цементит выглядит в виде тонкой сетки (рис. 8.2-з). Разложение аустенита (выделение из него вторичного цементита) заканчивается при температуре 727 °С в точке *11*, на линии PSK (линия конца разложения аустенита или линия эвтектоидных превращений). Всего к концу разложения выделится совсем немного вторичного цементита — в нашем случае — 6,8 % от общей массы сплава. Если же взять самую высокоуглеродистую сталь, содержащую 2,14 % С, то вторичного цементита в ней выделится 22,8 %. Следовательно, не весь аустенит переходит во вторичный цементит и к концу разложения его остается еще значительное количество (в нашем сплаве 93,2 %). Этот оставшийся аустенит при температуре 727 °С переходит в перлит, то есть распадается на смесь мелких кристаллов феррита и цементита.

Занятие 9. Решение задач по диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов

9.1. Указания к выполнению расчетно-графической работы

Данная работа заключается в решении ряда задач с использованием диаграммы Fe–С. Работа выполняется на стандартном бланке, который следует распечатать с прилагаемого файла (см. приложение «Расчетно-графическая работа»). Бланк содержит рисунок диаграммы, выполненный в масштабе и три таблицы для заполнения. На рисунке диаграммы необходимо нанести шкалы осей, названия осей и единицы измерения шкал. На температурных осях нужно нанести значения температуры линий эвтектических и эвтектоидных превращений; на оси составов указать символы фаз и структурных составляющих и содержание в них углерода; указать фазы и структурные составляющие в каждой области диаграммы.

В таблицы отчета нужно внести исходные данные согласно заданному варианту (см. приложение «Варианты задания»). Номер варианта указывает преподаватель.

Задаются 6 составов сплава (содержание углерода в сплаве, %) и по 3 значения температуры для каждого состава, при которых предположительно данный состав находится в равновесном состоянии. Каждый состав отмечается на диаграмме вертикальной пунктирной линией (всего 6 линий). На каждую пунктирную линию наносятся три точки, обозначающие заданные значения температуры.

По диаграмме требуется определить:

1. Температуру начала и конца кристаллизации сплава каждого из 6 заданных составов.
2. Температуру начала и конца разложения аустенита в сплаве каждого из 6 заданных составов.
3. Наименование фаз и структурных составляющих, из которых состоит каждый сплав при заданной температуре.
4. Процентное содержание каждой фазы и структурной составляющей в сплаве при данной температуре.
5. Состав (содержание углерода) каждой фазы и структурной составляющей в сплаве при данной температуре.
6. Предсказать (нарисовать) структуру стали трех заданных составов. Площади рисунков, занятые отдельными фазами и структурными составляющими должны быть пропорциональны процентному содержанию фаз и структурных составляющих в сплаве.

9.2. Пояснения к решению задач по диаграмме Fe–C

На занятии № 7 мы познакомились с задачами, которые можно решать по диаграмме состояния, и с правилами их решения. Применим эти правила для решения аналогичных задач по диаграмме состояния Fe–C (рис 9.1).

Задача 1. Определение температуры начала и конца кристаллизации сплава любого состава. Для этого по температурной оси, определяем положение точек, лежащих на ликвидусе и солидусе, и отвечающих составу сплава. Например, для стали, содержащей 0,42 % углерода (состав I),

кристаллизация расплава начинается при температуре в точке l_1 и заканчивается в точке s_1 . Можно сказать иначе: в точке l_1 начинается разложение расплава, которое заключается в выделении из него кристаллов аустенита. В точке s_1 заканчивается разложение расплава — он полностью переходит в аустенит. Для сплавов II, III и IV соответствующие точки l и s имеют индексы 2, 3 и 4.

Задача 2. Определение температуры начала и конца разложения твердых растворов в сплаве любого состава. В системе «железо — углерод» образуется два твердых раствора — феррит и аустенит. Из-за ничтожно малого количества углерода в феррите определение его состава затруднено мелким масштабом диаграммы, при котором область существования феррита сливается с вертикальной осью диаграммы. Поэтому условно будем считать в дальнейшем, что феррит — это чистое железо и не содержит углерода. Таким образом, данная задача будет решаться только в отношении аустенита. При охлаждении сплава I аустенит устойчиво (без разложения) существует,

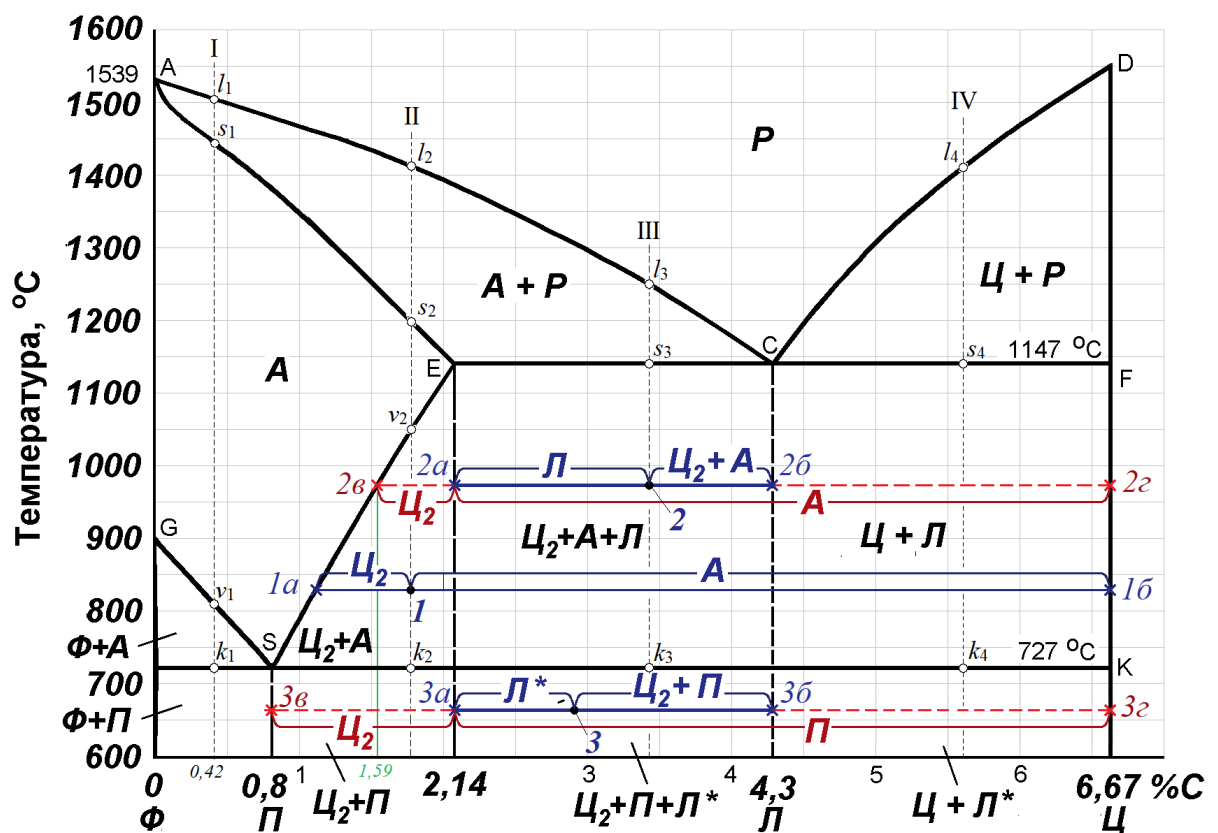


Рис. 9.1. Примеры решения задач по диаграмме Fe-C

начиная с температуры в точке s_1 и, закачивая температурой в точке v_1 , ниже которой начинается разложение аустенита — из него выделяется феррит. Выделение феррита (практически чистого железа) ведет к обогащению аустенита углеродом. Когда содержание углерода в оставшемся аустените повысится до 0,8 %, он распадется на смесь мельчайших кристаллов феррита и цементита, называемую перлитом. Это конец разложения аустенита. Он произойдет при температуре в точке k_1 (727 °C).

При остывании сплава II температурный интервал устойчивого существования аустенита, лежит между точками s_2 и v_2 . Разложение аустенита (выделение из него вторичного цементита) начинается при температуре точки v_2 , а заканчивается в точке k_2 . Выделение цементита, богатого углеродом, приводит к понижению содержания углерода в аустените. Когда содержание углерода в оставшемся аустените уменьшится до 0,8 %, он также, как и в сплаве I распадется на смесь мельчайших кристаллов феррита и цементита, называемую перлитом. То есть конец разложения аустенита всегда происходит при одной и той же температуре (727 °C) и заключается в фазовом превращении аустенита в перлит. Это не зависит от состава сплава и исходного состава аустенита.

Задача 3. Определение видов фаз и структурных составляющих, из которых состоит сплав при данной температуре. Фазовый состав сплавов изменяется при переходе через сплошные линии диаграммы, как в вертикальном (при изменении температуры), так и в горизонтальном (при изменении состава сплава) направлении. При переходе через пунктирные линии фазы изменяется только количественное соотношение между фазами и характер образуемой ими смеси. Три твердых фазы в системе Fe–C (феррит, аустенит и цементит) образуют при определенном соотношении две особые тонкодисперсные механические смеси, играющие роль элементов структуры сплава, и называемые структурными составляющими. Это перлит — смесь феррита и цементита и ледебурит, который образуется в конце разложения расплава и состоит из мелких кристаллов аустенита и цементита, но только до

температуры 727 °С. При этой температуре аустенит в ледебурите переходит в перлит. Пунктирные линии на диаграмме отвечают стопроцентному содержанию перлита и ледебурита в составах сплава, содержащих углерода 0,8 и 4,3 %, соответственно). Правило определения видов фаз и структурных составляющих было изложено в п. 7.3 занятия 7.

Задача 4. Определение процентного содержания каждой фазы или структурных составляющих в сплаве при данной температуре. Правило определения также излагалось в п. 7.3 занятия 7. Любая горизонтальная линия, проведенная внутри области и ограниченная ее границами (сплошными или пунктирными линиями) является частной осью составов. Положение этой линии по высоте указывает на температуру, при которой находятся сплавы, охватываемые данной осью. Состав конкретного сплава отмечается точкой, которая делит данную частную ось на части, по которым согласно правилу отрезков можно определить фазовый или структурный состав сплава. Следует помнить, что химический состав сплава (содержание в нем углерода) отмечается точкой на общей оси составов. Обе точки лежат на одной вертикале. С температурой изменяется только фазовый или структурный состав сплава, а химический состав остается неизменным.

Рассмотрим примеры построения частных осей составов для трех фигуративных точек на диаграмме Fe–C (рис. 9.1).

Точка 1. Точка 1 попадает в область разложения аустенита (А), когда из него выделяется цементит, называемый вторичным (Ц₂). Задача — определить процентное содержание цементита и аустенита в сплаве, состав и температура которого отвечают точке 1. Проведем через эту точку горизонтальную линию влево и вправо до сплошных линий диаграммы. Пунктирные линии в данном случае не принимаем во внимание, так как искомые составляющие сплава (А и Ц₂) являются фазами. На полученной частной оси составов имеем слева (точка 1а) 100 % аустенита (граница с областью существования аустенита), справа (точка 1б) 100 % цементита. Точка 1 делит ось на отрезки, которые нужно измерить и вычислить по ним процентное содержание фаз.

Точка 2. Точка 2 попадает в область состояния сплава, структурный состав которого более сложный, чем в предыдущем случае, хотя и образован теми же двумя фазами — аустенитом и цементитом. Содержание этих фаз можно определить аналогичным образом, как и для точки 1. Однако каждая из этих фаз распадается на два вида структурных составляющих. Так, аустенит существует в сплаве в виде относительно крупных кристаллов, выделившихся в процессе разложения расплава и мельчайших кристаллов, входящих в состав ледебурита. Цементит также частично входит в состав ледебурита, а другая его часть выделяется из аустенита и называется вторичным. Под микроскопом различаются три структурные составляющие — это крупные кристаллы аустенита, выделившиеся из расплава, вторичный цементит, образующий тонкую сетку по границам кристаллов аустенита, и тесная смесь мелких кристаллов аустенита и цементита, называемая ледебуритом.

Определить содержание в сплаве каждой из этих трех структурных составляющих можно в два этапа. Сначала определим процентное содержание ледебурита (Л) и суммарного количества аустенита и вторичного цементита ($\text{Ц}_2 + \text{А}$). Для этого построим частную ось составов между точками 2а и 2б. Действительно, в точке 2а имеем 100 % $\text{Ц}_2 + \text{А}$, так как это граница с данной областью, а в точке 2б имеем 100 % Л. По правилу отрезков получаем: содержание $\text{Ц}_2 + \text{А}$ составляет 39 %, а содержание Л — 61 %. Теперь определим соотношение между фазами Ц_2 и А. Проведем ось составов от границы с областью существования аустенита (точка 2в) до линии 100-процентного существования цементита (точка 2г). Эта ось должна делиться на отрезки не точкой 2, а точкой 2а. Почему это так, покажем ниже. Измерив отрезки находим содержания фаз Ц_2 и А, которые составляют, соответственно, 10,8 и 89,2 %. Однако в сплаве суммарное содержание фаз $\text{Ц}_2 + \text{А}$ составляет не 100, а только 39 %. При пересчете на 39 % получаем, соответственно, 4,2 и 34,8 %.

Точка 3. Задача решается точно так же, как и для точки 2, только здесь вместо аустенита существует перлит, 100 % которого имеет место на

вертикальной пунктирной линии, выходящей из точки S и обозначающей состав с содержанием углерода 0,8 %.

Задача 5. Определение химического состава фаз или структурных составляющих сплава в зависимости от температуры. Правило для решения данной задачи было рассмотрено в занятии 7, п. 7.3 на примере диаграммы состояния I типа. Химический состав фаз в случае диаграммы Fe–C характеризуется содержанием углерода, которое определяется по основной оси. Для этого нужно на данную ось опустить перпендикуляр из точки частной оси, в которой содержание данной фазы (структурной составляющей) 100 %. Определим, например, содержание углерода в аустените сплава III при температуре в точке 2. Для этого из точки 2 проведем горизонтальную линию влево до границы с областью аустенита (точка 2в). В этой точке, как и в самой области, аустенита 100 %. Опустим перпендикуляр на ось составов (зеленая линия), по которой получаем 1,59 % C.

Тот же результат получается для любой точки оси 2в–2г. То есть, состав аустенита в сплавах, находящихся правее линии SE, зависит только от температуры и не зависит от состава сплава.

Определим содержание углерода в аустените для точки k_3 при температуре 727 °C. Отнесем эту точку сначала к верхней области. Проведем горизонтальную линию влево до границы с областью аустенита. Точка S, принадлежащая этой области, показывает, что единственный состав аустенита, который может существовать при температуре 727 °C — это аустенит, содержащий 0,8 % углерода. Если отнести точку k_3 к нижней области, мы снова приходим в точку S, но теперь она указывает на существование перлита. Это критическая точка фазового перехода А→П при охлаждении и П→А при нагревании.

Следует помнить, что состав цементита, ледебурита, перлита и феррита (условно) не изменяется с температурой и составом сплава. В цементите (Ц и Ц₂) всегда 6,67 % углерода, в ледебурите (Л и Л*) — 4,3 %, в перлите — 0,8 %, в феррите 0 % (на самом деле — не более 0,02 %, но мы условились этим

пренебречь и считать за 0 %). Изменяется только состав жидкого и твердого растворов — расплава и аустенита в результате их разложения при остывании с выделением избытка растворенных веществ.

Покажем теперь, что в задаче 4, точка 2 при определении процентного содержания фаз Ц₂ и А нужно использовать отрезки $2a-2b$ и $2a-2c$. Для сплава, отвечающего точке 2, содержание углерода в аустените в конце кристаллизации, в точке s_3 , максимальное и составляет 2,14 %, а при температуре в точке 2 — 1,59 %. То есть, аустенит потерял 0,55 % углерода, которые идут на образование цементита. Можно рассчитать, какое количество цементита образуется, если для этого имеется 0,55 % углерода. Для образования 100 % Ц требуется 6,67 % С, но в сплаве цементита меньше 100 %, так как существует еще аустенит, содержащий 1,59 % С. Поэтому на долю вторичного цементита остается $6,67 - 1,59 = 5,08$ % С. Таким образом, содержание вторичного цементита составит $0,55 / 5,08 = 0,108$ или 10,8 %, а аустенита $100 - 10,8 = 89,2$ %, что совпадает со значениями, полученными при измерении отрезков $2a-2b$ и $2a-2c$.

Задача 6. Предсказание структуры стали в зависимости от ее состава.

Структура стали образована кристаллами двух фаз — феррита и цементита, которые дают три структурных составляющих: феррит, цементит и перлит. Сталь может иметь одну из трех характерных видов структур и, соответственно, по структуре, также, как и по содержанию углерода, ее можно разделить на доэвтэктоидную, эвтэктоидную и заэвтэктоидную (рис. 9.2). Структура доэвтэктоидной стали состоит из относительно крупных кристаллов феррита и областей, занятых перлитом, структура которого различима только при большом увеличении микроскопа. Структура эвтэктоидной стали на 100 % образована перлитом, представляющим собой механическую смесь мелких кристаллов феррита и цементита. По форме кристаллов перлит бывает зернистый, но чаще пластинчатый. Заэвтэктоидная сталь имеет структуру, состоящую из относительно крупных областей, занятых перлитом и узких прослоек вторичного цементита между перлитовыми зернами (см. рис. 9.2в).

Структура доэвтектоидных сталей состоит из одних и тех же структурных составляющих Ф+П независимо от содержания углерода. В зависимости от содержания углерода изменяется только соотношение между Ф и П.

Аналогично этому структура заэвтектоидных сталей с изменением содержания углерода изменяется также только количественно, качественно оставаясь состоящей из Ц_2 и П.

Структура эвтектоидной стали, содержащей постоянное относительное количество углерода 0,8 %, представлена перлитом и может изменяться только качественно, в зависимости от формы кристаллов в перлите — пластинчатой или зернистой.

Для предсказания структуры стали нужно по содержанию в ней углерода определить фазовый состав либо по правилу отрезков, пользуясь диаграммой состояния, либо путем вычисления. В последнем случае нужно решить систему уравнений:

$$C_{\text{спл}} = C_1 \cdot F_1 + C_2 \cdot F_2,$$

$$F_1 + F_2 = 1,$$

где F_1 и F_2 — доли фаз (структурных составляющих) 1 и 2; $C_{\text{спл}}$, C_1 и C_2 — содержание углерода, соответственно, в сплаве, 1-ой фазе и 2-ой фазе (структурной составляющей).

Например, сталь содержит 0,2 % С. По диаграмме устанавливаем, что структурными составляющими в сплаве являются феррит (0 % С) и перлит (0,8 % С). Составляем систему уравнений:

$$0,2 = 0 \cdot \Phi + 0,8 \cdot \Pi,$$

$$\Phi + \Pi = 1.$$

Решая систему, получаем: $\Pi = 0,25$ (25 %), $\Phi = 0,75$ (75%).

Структура нашей стали качественно не отличается от структуры на рис. 9.2а. Только зерна феррита должны занимать 75 % площади рисунка, а заштрихованные области перлита — 25 %.

Возьмем теперь сталь с содержанием углерода 2 %. Это заэвтектоидная сталь, состоящая из вторичного цементита (6,67 % C) и перлита (0,8 % C).

Составляем систему уравнений:

$$2 = 6,67 \cdot \text{Ц}_2 + 0,8 \cdot \text{П},$$

$$\text{Ц}_2 + \text{П} = 1.$$

Решая систему, получаем: $\text{Ц}_2 = 0,204$ (20,4 %), $\text{П} = 0,796$ (79,6 %).

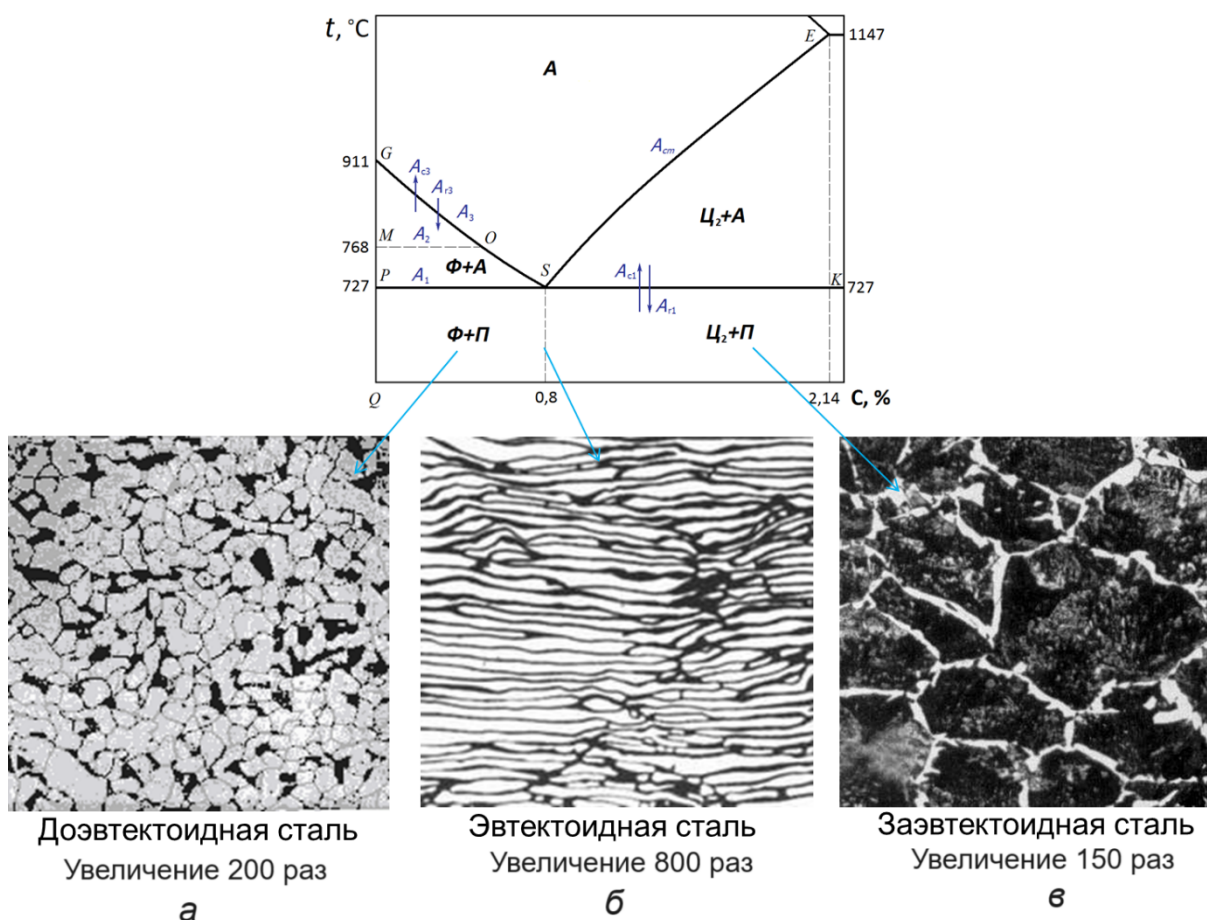


Рис. 9.2. Характерные структуры стали

Структура заэвтектоидной стали показана на рис. 9.2в. В нашем случае сетка вторичного цементита должна занимать 20,4 % площади рисунка, а заштрихованные области перлита — 79,6 %.

Занятие 10. Полимеры и материалы на их основе

10.1. Общие сведения о полимерах

Многие органические вещества обладают способностью наращивать молекулярную массу в результате соединения исходных молекул (мономеров)

в длинную цепь за счет высвободившихся по тем или иным причинам химических связей (активных центров). В зависимости от того, какие высвобождаются связи ионные или ковалентные различают ионный или радикальный³ механизмы укрупнения молекул. Поскольку макромолекулы полимеров, как правило, построены из одинаковых, многократно повторяющихся *элементарных звеньев* их удобно изображать так: $[-CH_2-CH_2-]_n$ — полиэтилен; $[-CH_2-CHCl-]_n$ — поливинилхлорид и т.д. Число элементарных звеньев n в макромолекуле равно $n=M/t$, где M — молекулярная масса полимера; t — молекулярная масса элементарного звена. У мономеров $n=1$.

По происхождению полимеры можно разделить на три группы: *природные* (например, белки, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, натуральный каучук), *модифицированные*, получаемые химической обработкой природных полимеров (эфиры целлюлозы, целлулоид, резина), *синтетические*, которые в свою очередь делятся на *полимеризационные* и *поликонденсационные*.

10.2. Основные реакции синтеза полимеров

Полимеризацией называют процесс последовательного присоединения свободных радикалов или ионов мономера к растущей цепи макромолекулы полимера (рис. 10.1). Активные центры при полимеризации образуются в

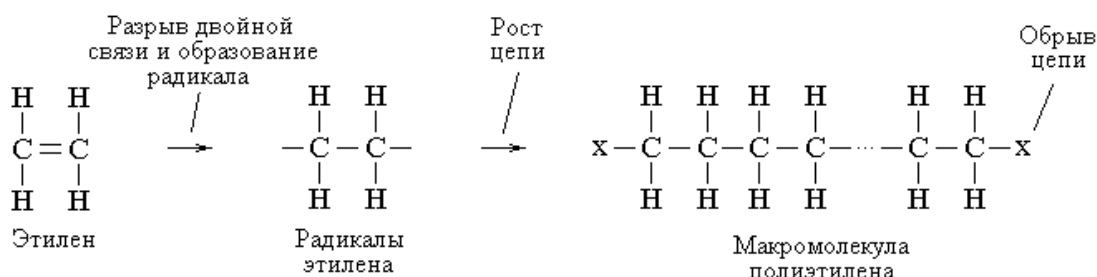


Рис. 10.1. Реакция полимеризации на примере получения полиэтилена

результате разрыва кратных или циклических связей. Если свободные связи образуются за счет отщепления от исходных мономеров функциональных

³ Радикалами называют части молекул органических соединений, которые при химических реакциях переходят из исходных продуктов в конечные без всяких изменений. В формулах их часто обозначают буквой R.

групп (активных концевых атомов или их сочетаний) и происходит выделение низкомолекулярных побочных продуктов, то процесс называют *поликонденсацией* (рис. 10.2).

Реакции образования полимеров протекают в три основные стадии:

1. *Инициирование* реакции (образование активного центра). Реакция полимеризации не начинается сама по себе. Необходимо затратить энергию для разрыва кратной или циклической связи, в результате чего образуются свободные радикалы или ионы. Образование активных центров происходит под влиянием давления, температуры, в присутствии катализаторов.

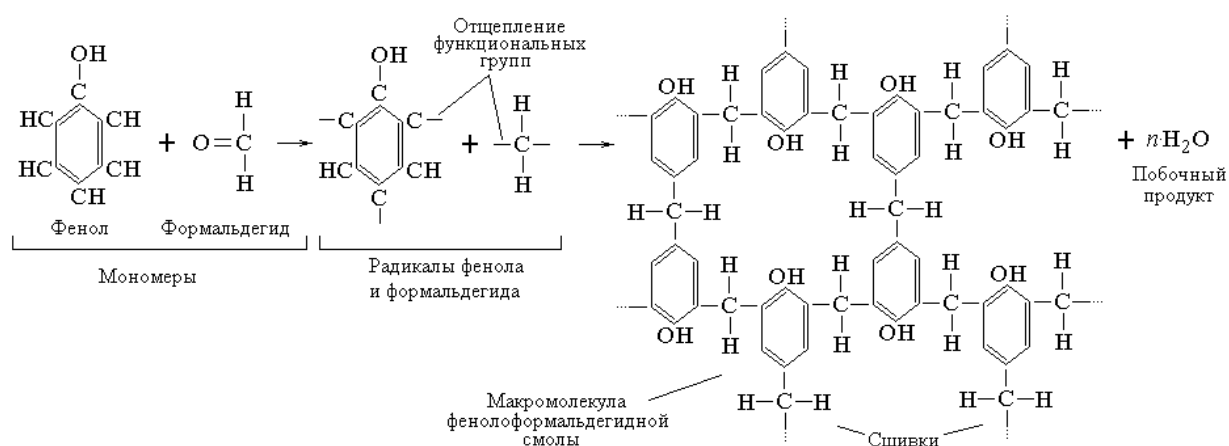
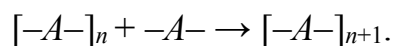


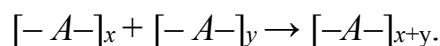
Рис. 10.2. Реакция поликонденсации на примере фенолоформальдегидной смолы

В отличие от полимеризации поликонденсация происходит самопроизвольно при взаимодействии функциональных групп.

2. *Рост цепи.* При полимеризации происходит последовательное присоединение мономеров к растущей полимерной цепи по схеме



При поликонденсации происходят независимые друг от друга акты объединения мономерных радикалов в короткие цепочки и образование из них полимерной цепи по схеме



3. *Обрыв цепи.* Конец полимеризации связан с исчезновением свободной связи у последнего звена макромолекулы. Это происходит в случае замыкания цепи малоактивной молекулой: $x[-A-]_n-x$.

Процесс поликонденсации может прекратиться, например, вследствие нарушения эквивалентного соотношения функциональных групп или установившегося равновесного состояния, когда одновременно протекают и образование цепей, и их распад. Ограничить молекулярную массу образующегося полимера можно введением монофункциональных соединений, которые блокируют функциональные группы одного из мономеров и останавливают рост полимерной цепи.

10.3. Строение полимеров

Полимеры, содержащие в цепи молекулы разные элементарные звенья, называют *сополимерами* в отличие от *гомополимеров*, состоящих из одинаковых элементарных звеньев. Сополимеры бывают *нерегулярными*: ... – $A-B-B-A-C-B-A-...$; *регулярными*: ...— $A-B-C-A-B-C-...$ и *блочными*: ... – $A-A-A-B-B-B-C-C-C-...$.

Макромолекулы по форме бывают *линейными*, *разветвленными* и *сетчатыми*. В последнем случае линейные цепи соединены в отдельных местах поперечными химическими связями, осуществляемыми через атомные группы. Сетчатые полимеры называют также *сшитыми* (см. рис. 10.2). В случае каучуков процесс сшивания линейных молекул называют *вулканизацией*.

Линейное строение (см. рис. 10.1) имеют все полимеризационные полимеры. Поликонденсационные полимеры могут иметь как линейные, так и сетчатые макромолекулы. При поликонденсации *бифункциональных* соединений (дающих радикалы с двумя свободными связями) образуются линейные полимеры. Если момеры являются более *функциональными*, то образуются сетчатые полимеры.

Полимеры, основная цепь которых состоит из атомов углерода, называются *карбоцепными полимерами*.

По отношению полимеров к нагреванию и действию растворителей их делят на *термопластичные* и *термореактивные*.

Термопластичными являются линейные и разветвленные полимеры. Они при нагревании размягчаются и плавятся, а при охлаждении восстанавливают первоначальные свойства. Это свойство используется при формировании изделий и при сваривании пластмасс. Термопластичные полимеры, как правило, растворимы в тех или иных органических растворителях, поэтому хорошо склеиваются.

Термореактивные полимеры, имеющие сшитые макромолекулы, не растворяются и не плавятся. Могут обрабатываться только механическим путем.

10.4. Простые пластмассы

Пластмассы — материалы на основе полимеров — можно разделить на *простые*, и *сложные или композиционные*.

Простые пластмассы не содержат наполнителей — различных порошкообразных, волокнистых или других веществ. Состоят в основном из одного полимера и небольшого количества добавок, таких как пластификаторы, стабилизаторы (замедлители старения), антипирины и другие. В простых пластмассах используют в основном линейные полимеры, которые термопластичны, легко свариваются и склеиваются, позволяют получать изделия прессованием, литьем под давлением, пневматическим и вакуумным формованием, экструзией.

Полиэтилен $[-CH_2-CH_2-]_n$ получают полимеризацией газа этилена тремя способами: при высоком (ВД), низком (НД) и среднем (СД) давлении. Полиэтилен выпускается в виде гранул (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Полиэтилен. Гранулы

Полиэтилен ВД характеризуется низкими значениями плотности ($0,92 \text{ г/см}^3$), температуры плавления и прочности, но устойчив к растворам кислот, щелочей, солей, органическим растворителям. Полиэтилены НД и СД по сравнению с полиэтиленом ВД обладают

повышенными значениями плотности ($0,96 \text{ г/см}^3$), прочности и температуры плавления, однако, они более склонны к старению. Стабилизатором полиэтилена служит сажа.

В строительстве применяются полиэтиленовые трубы (рис. 10.4) различного назначения, листы толщиной 1–5 мм и тонкие пленки в качестве гидроизоляционного, пароизоляционного, антикоррозионного и подделочного материала. Особое значение имеет теплоизоляционный материал — пенополиэтилен.



Рис. 10.4. Трубы ПНД

Полипропилен $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-]_n$ представляет собой продукт полимеризации газа пропилена. Полипропилен отличается значительной прочностью при растяжении, твердостью и ударной вязкостью. Он является более жестким и более теплостойким материалом, чем полиэтилен, но плотность его ниже ($0,90 \text{ г/см}^3$).



Рис. 10.5. Полипропилен. Трубы

Полипропилен быстро стареет под действием кислорода и прямого солнечного света. Применяют полипропилен для изготовления водопроводных труб (рис. 10.5), прозрачной паронепроницаемой пленки, чрезвычайно прочного синтетического волокна, которое используют в производстве технических тканей и геосинтетических материалов.

Полистирол $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$ получают полимеризацией стирола, представляющего собой бесцветную жидкость с характерным запахом (Т. кип. $145,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $\gamma_0=0,906 \text{ г/см}^3$).



Рис. 10.6. Изделия из полистирола

Полистирол представляет собой твердый аморфный продукт плотностью около $1,07 \text{ г/см}^3$. Полистирол прозрачен и бесцветен, но легко окрашивается в массу. Его используют для изготовления оптических стекол. Полистирол пропускает до 90 % излучения видимой части спектра. Полистирол нерастворим в

спиртах и в бензине, химически стоек в отношении кислот и щелочей, обладает очень высокой водостойкостью. Полистирол хрупок, его ударная вязкость составляет $160\text{--}200 \text{ Дж/м}^2$. В результате старения ударная вязкость снижается. Повышение ударной вязкости (получение ударопрочного полистирола) достигается сополимеризацией стирола с другими мономерами или сплавлением с синтетическими каучуками.

Полистирол применяют для изготовления декоративных стекол и изделий, цветных плиток для облицовки стен и т.п. Из ударопрочного полистирола изготавливают сантехническое оборудование, трубы, арматуру, мебельную и оконную фурнитуру, гидроизоляционные пленки. Полистирол применяется в лакокрасочной промышленности. Особое значение для строительства имеет вспененный полистирол (пенополистирол), который широко применяется для теплоизоляции стен (рис. 10.7).



Рис. 10.7 Пенополистирол. Листы

Поливинилхлорид (ПВХ) $[-CH_2-CHCl-]_n$ получают радикальной полимеризацией газа хлористого винила. Благодаря высокому содержанию хлора ПВХ не горит. При 130–150 °С начинается его разложение с выделением хлористого водорода. ПВХ обладает высокой устойчивостью к действию кислот и щелочей, смазочных масел. Под действием механических напряжений, света и тепла протекает процесс разложения полимера, сопровождающийся выделением HCl и присоединением кислорода. Для



Рис. 10.8. Линолеум

предотвращения разложения к ПВХ добавляют различные стабилизаторы.

На основе ПВХ получают разнообразные строительные материалы: линолеумы (рис. 10.8), гидро- и газоизоляционные пленки, вентиляционные, водопроводные и канализационные трубы,

водосточные желоба, пенопласты. Методом экструзии получают погонажные изделия: плинтусы, карнизы, раскладки, уголки, поручни для перил, облицовочные панели, сайдинг и другие профильные изделия. На бумажной основе получают как виниловые обои, линкруст и др..

Органическое стекло (плексиглас) — прозрачная пластмасса на основе полиметилметакрилата $[-CH_2-CH(COOCH_3)-]_n$, получаемого радикальной полимеризацией метилового эфира метакриловой кислоты в присутствии инициаторов. Полиметилметакрилат — полимер термопластичный, бесцветный и прозрачный. Он легко окрашивается красителями или

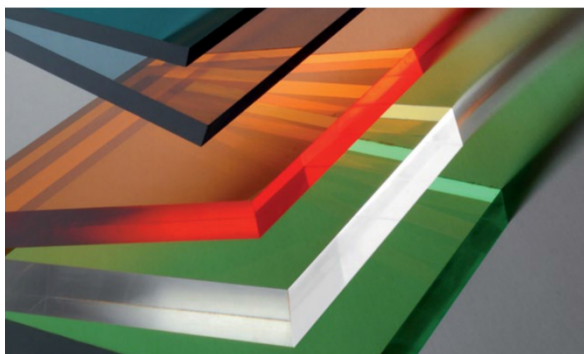


Рис. 10.9. Органическое стекло

пигментами, сохраняя прозрачность (рис. 10.9). Оргстекло пропускает до 91–92 % лучей видимой области спектра, 75 % ультрафиолетовых лучей и значительную часть инфракрасных лучей; обладает достаточной стойкостью к старению в естественных

условиях. В отличие от силикатного стекла обладает более высокой ударной вязкостью, но из-за низкой твердости быстро изнашивается и теряет прозрачность.

Органическое стекло легко сваривается и склеивается, поддается механической обработке и полировке.

Оргстекло применяется для остекления самолетов, теплиц, изготовления оптических стекол, предметов бытового назначения и других целей. Окрашенное стекло применяется для отделочных работ, изготовления светотехнических и других изделий.

10.5. Композиционные пластмассы

Сложные или композиционные пластмассы помимо полимера и добавок содержат минеральные или органические наполнители.

Связующие. В качестве связующего в сложных пластмассах применяются термореактивные полимеры, так как они, по сравнению с термопластичными, менее вязкие и гораздо легче пропитывают наполнители, кроме того, они менее горючи и обеспечивают работоспособность пластмасс при более высоких температурах. Формование пластмасс основано на применении легкоплавких или жидких исходных веществ, способных к отверждению. Отверждение связующих основано на поликонденсационном процессе. Наиболее распространены в сложных пластмассах следующие полимеры.

Феноло-формальдегидная смола (ФФС) является важнейшим представителем из группы феноло-альдегидных полимеров (рис. 10.10),



Рис. 10.10. Феноло-формальдегидная смола

получаемых при поликонденсации фенола или его гомологов (крезола, ксиленола) с формальдегидом или другими альдегидами, например, уксусным или масляным. Аналогичные смолы получают также путем поликонденсации фенола с фурфуролом.

Формальдегид $\text{H}-\text{CO}-\text{H}$ — газ, образуется в результате переработки метилового спирта или метана. Раствор формальдегида в воде известен под названием „формалин“.

Фенол $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ — белое кристаллическое вещество с характерным запахом, выделяется из каменноугольной или из сланцевой смолы; синтезируется из пропилена и бензола. При поликонденсации фенола или его гомологов с альдегидами могут быть получены смолы двух типов: термопластичные, называемые новолачными, и термореактивные, называемые резольными⁴.

Резольные (термореактивные) смолы, называемые также бакелитовыми, образуются в щелочной среде при избытке формальдегида и в случае трифункциональных фенолов (см. рис. 10.2). В процессе отверждения резольных смол различают три стадии. На начальной стадии (стадия А) смола, называемая *резолом* (здесь произошло совпадение с общим названием термореактивного полимера), плавится и растворяется в спирте и в ацетоне. В отличие от новолачной смолы, которая тоже термопластична, резол является неустойчивым продуктом поликонденсации и при нагревании постепенно теряет способность плавиться и растворяться (стадия Б, на которой смола получила название *резитол*), а затем переходит в неплавкое и нерастворимое состояние (стадия С — *резит*), что является следствием образования сетчатых

⁴ Указанные названия применяются только в отношении феноло-альдегидных полимеров.

макромолекул за счет связывания полимерных цепей метиленовыми мостиками.

Новолачные (термопластичные) смолы образуются как на основе трифункциональных, так и бифункциональных фенолов. Смола получается поликонденсацией при избытке фенола и в кислой среде. Макромолекулы новолачной смолы имеют линейную структуру. Новолачная смола, плавкая и растворимая, может быть переведена в нерастворимую и неплавкую форму путем добавления гексаметилентетрамина $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ (уротропина) и последующего нагревания. Этим свойством пользуются на практике для отверждения новолачной смолы при получении пластмасс.

На основе фенолоформальдегидных смол, смешивая их с наполнителями, красителями, отвердителями, получают конструкционные материалы — *фенопласты*.

Мочевино-формальдегидная (карбамидная) смола (МФС) входит в группу amino-альдегидных полимеров, другим представителем которой является меламина-формальдегидный полимер — продукт поликонденсации формальдегида с меламином.

Карбамидная смола получается поликонденсацией мочевины ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$) и формальдегида обычно в водном растворе. По физико-химическим свойствам карбамидные полимеры имеют много общего с ФФС, однако, отличаются от последних отсутствием цвета и запаха, а также светостойкостью и нетоксичностью.

Карбамидная смола применяется также, как и ФФС для изготовления прессовочных масс с различными наполнителями. Композиции на ее основе можно окрашивать в любые цвета. Отвержденная карбамидная смола безвредна для человека, поэтому *аминопласты* часто используют для изготовления пищевой тары.

Полиэфирные смолы. Это название объединяет четыре различные группы сложных⁵ гетероцепных полиэфиров: 1) алкидные смолы; 2) волокнообразующие полиэфиры; 3) ненасыщенные полиэфирные смолы; 4) поликарбонаты. В основной цепи всех перечисленных полимеров регулярно повторяются сложноэфирные группы $-\text{CO}-\text{O}-$.

Алкидные полиэфиры являются наиболее широко распространенным типом пленкообразующих веществ, составляющим до 70 % объема всей синтетической лакокрасочной продукции.

Волокнообразующие полиэфиры. К этой группе относится полиэтилентерефталат (лавсан, терилен, дакрон), представляющий собой полиэфир этиленгликоля и терефталовой кислоты. Это — линейный кристаллический полимер с температурой плавления около 265 °С.

*Ненасыщенные полиэфиры*⁶ (рис. 10.11) получают поликонденсацией ненасыщенных дикарбоновых кислот, чаще всего малеиновой или фумаровой с многоатомными спиртами. Отвержденный продукт имеет сетчатую трех-



Рис. 10.11. Ненасыщенные полиэфирные смолы

мерную структуру. Ненасыщенные полиэфиры армируют стеклянным волокном, получая высокопрочные пластмассы — стеклопластики, обладающие, помимо высокой механической прочности, химической стойкостью и малой истинной плотностью, что поставило их в один ряд с

конструкционными материалами — сталью и древесиной.

⁵ К простым полиэфирам относятся соединения, содержащие в основной цепи простую эфирную связь $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$. Эти полимеры получают полимеризацией.

⁶ Термин *ненасыщенные* означает, что в молекулах имеются двойные или тройные связи.

Поликарбонаты — это сложные полиэфиры угольной кислоты с общей формулой $[-O-R-O-CO-]_n$. Наибольшее практическое значение получил поликарбонат на основе дифенилпропана, выпускаемый под названиями: "дифлон" (Россия), "лексан" и "мерлон" (США), "макролон" и "макрофол" (Германия). Поликарбонаты отличает высокая атмосферо- и водостойкость, а

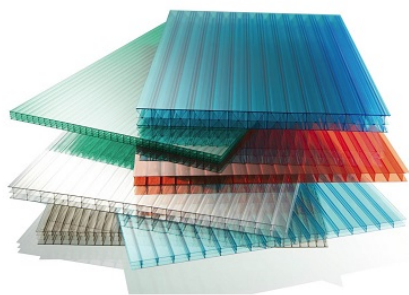


Рис. 10.12. Сотовый поликарбонат

также устойчивость к действию кислот и щелочей. Дифлон отличает высокая ударная прочность и прозрачность.

Изделия из поликарбонатов получают экструзией, литьем под давлением, вакуумным прессованием. В строительстве цельные и сотовые листы поликарбоната используются для

остекления зданий, выполнения прозрачных кровель и декоративных перегородок. Цельный листовой поликарбонат легко может быть изогнут без нагрева, что используется при создании выпуклых форм световых фонарей, кровель, навесов. Сотовый поликарбонат (рис. 10.12), в отличие от цельного, обладает хорошими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами.

Наполнители. Наполнителями в пластмассах служат: минеральные порошки (кварца, мела, асбеста, слюды, каолина, и др.); органические порошки (древесная мука); минеральное волокно (стеклянное, базальтовое, асбестовое,); органическое волокно (углеродное, хлопковое, древесное, синтетическое); листовые материалы (бумага, хлопчато-бумажные ткани, стеклоткани, стеклошпон, древесный шпон).

По виду наполнителя пластмассы можно разделить на *прессмассы*, *слоистые* и *армированные пластики*.

Прессмассы содержат смолу, порошкообразные или волокнистые наполнители, красители и различные добавки.

В изделия прессмассы перерабатываются горячим прессованием, литьем под давлением, экструзией или методом пресс-литья.

Их применяют для получения электротехнических изделий (штепсельных розеток, вилок, патронов, корпусов приборов и т. п.), деталей радиотехнического назначения. В строительстве применяются детали сантехники, дверная, оконная и мебельная фурнитура, вентиляционные решетки, светильники, профильные изделия (карнизы, уголки, рамки).

Слоистые пластики получили свои названия по виду листового наполнителя.

Текстолит (рис. 10.13) изготавливается на основе синтетической или хлопчатобумажной ткани, как правило, с полотняным переплетением. Ткань



Рис. 10.13. Текстолит

пропитывают раствором смолы с одной или с двух сторон, нанося раствор валиком лакировочной машины (это называется *лакированием*) или пропуская через ванну пропиточной машины. При получении листового

текстолита полотна нужных размеров собирают в пакеты и прессуют под давлением 8...15 МПа на гидравлических прессах при нагреве паром до 150...165 °С.

При изготовлении труб пропитанное полотно наматывается на оправку намоточного станка. После сушки готовую трубу снимают с оправки и прессуют в нагретых до 170 °С стальных прессформах под давлением 20 МПа.

Гетинакс (рис. 10.14) изготавливается по той же технологической схеме,

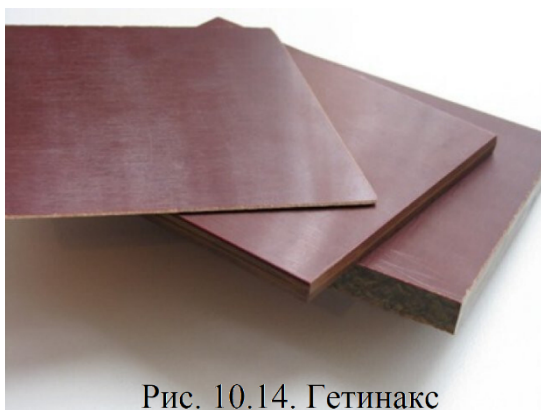


Рис. 10.14. Гетинакс

но в этом случае вместо ткани применяют непроклеенную бумагу из щелочной или сульфатной целлюлозы. В производстве плоских плит используют бумагу с высокой впитывающей способностью, а при изготовлении труб — с небольшой способностью впитывания, поскольку

бумагу в этом случае только лакируют.

На каждый миллиметр толщины листа гетинакса укладывается 5...10 листов бумаги. При получении декоративного бумажно-слоистого пластика средние слои обычно выполняются из листов бумаги, пропитанной фенольными смолами, а верхние отделочные листы пропитывают карбамидными или меламинами смолами, которые благодаря прозрачности, декоративным и клеящим свойствам позволяют получать поверхность высокого качества.

Стеклопластики. Наибольшее значение для строительных стеклопластиков имеют наполнители на основе стеклянного волокна. Это — *комплексные нити* из стеклянных волокон, которые могут быть кручеными и некручеными; *ровинги* (жгуты) — пряди некрученных комплексных нитей, намотанных крестовой намоткой в бухты; *стеклянные ткани и сетки* вырабатываются из крученных комплексных нитей или из ровинга и различаются в основном видом плетения. Сетки в отличие от тканей имеют разреженную структуру.

Нетканые материалы разделяются на *ориентированные* и *неориентированные*. К ориентированным наполнителям относится, например, *стеклошпон* — тонкий лист, состоящий из склеенных стекловолокон, ориентированных в определенном направлении (рис. 10.15). К неориентиро-



Рис. 10.15. Стеклошпон

ванным материалам относятся *стекломаты* (*стеклохолсты*) — рулонный материал, состоящий из беспорядочно расположенных непрерывных или штапельных (коротких) стекловолокон,

скрепленных между собой связующим составом или прошитых стеклянной нитью (рис. 10.16).



Рис. 10.16. Стеклохолст

Виды стеклопластиков. Стеклотекстолиты (рис. 10.17) — листовые материалы на основе стеклотканей. Производят стеклотекстолиты аналогично



Рис. 10.17. Стеклотекстолит

текстолиту путем прессования уложенных слоями заготовок стеклоткани с предварительно нанесенным связующим. Стеклотекстолиты различаются видом связующего полимера и маркой стеклоткани или стеклосетки. Стеклоткани могут иметь различную плотность и различный характер переплетения.

В качестве связующего применяются фенолоформальдегидные смолы и их модификации, полиэфирные смолы и др.

Стекловолоконные анизотропные материалы (СВАМы). К материалам этого типа относятся композиты на основе непрерывных волокон или нитей, положение которых ориентировано в заданном направлении.

Одним из первых таких материалов был СВАМ (рис. 10.18), получаемый на основе стеклошпона. Поскольку в стеклошпоне волокна располагаются только в одном направлении, то прочность его вдоль волокон очень велика, а



Рис. 10.18. СВАМ

поперек волокон (по склейке) очень мала. В зависимости от сочетания продольно и поперечно расположенных слоев стеклошпона СВАМ может иметь ту или иную анизотропию в плоскости листа. В отличие от стеклотекстолита, в котором волокна изогнуты в каждом переплетении ткани, волокна СВАМа прямые и могут воспринимать более высокие нагрузки.

Стекловолокниты — материалы на основе короткого стекловолокна (рис. 10.19). Технология их получения такая же, как и других прессмасс.

Применение стеклопластиков. Стеклопластики используются в качестве ограждающих и облицовочных панелей промышленных объектов, в

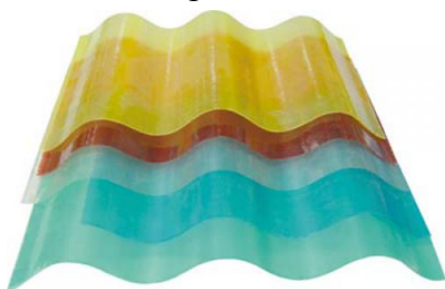


Рис. 10.19. Стеклошифер

бесшовных кровельных покрытиях, в качестве объемных декоративных элементов зданий, различных емкостей и резервуаров, в виде профилей, подобных стальному прокату и других изделий. Стеклопластиковая арматура применяется в бетоне и асфальтобетоне

дорожных покрытий.

10.6. Теплоизоляционные материалы на основе полимеров

Пенополиэтилен. Для получения этого пенопласта используют гранулированный полиэтилен. Вспенивание расплава осуществляют газами (азотом, углекислым газом, воздухом, пропаном), низкокипящими жидкостями (фреонами) и радиационным способом — воздействием ионизирующего излучения. При этом выделяется водород, который вспенивает полимер.

Пенополиэтилен имеет низкое водопоглощение (0,5...1,5 %) и высокую стабильность теплоизоляционных свойств.

Пенополиэтилен (рис. 10.20) выпускается в рулонах под различными



Рис. 10.20. Пенополиэтилен

торговыми названиями, например, *азуризол, изолон, пенолон, этафом, пенофлекс, теплон*, а также в виде лент и жгутов, применяемых для уплотнения стыков между панелями в крупнопанельном строительстве. Средняя

плотность этих материалов составляет от 33 до 200 кг/м³, теплопроводность λ — от 0,03 до 0,05 Вт/(м·К).

Пенополистирол бывает *прессовый, беспрессовый и экструзионный*.

Прессовый пенополистирол получают с использованием твердых газообразователей, разлагающихся при нагревании с выделением газообразных продуктов.

Прессование производят в прессформах закрытого типа при температуре 120...150 °С и давлении 10...15 МПа. Полученную заготовку охлаждают, извлекают из прессформы и подвергают вспениванию в обогреваемых камерах при 85...110 °С

Беспрессовый пенополистирол (рис. 10.21) производят из вспенивающихся гранул. Гранулы для вспенивания получают суспензионной полимеризацией стирола в присутствии газообразующего компонента, в



Рис. 10.21. Беспрессовый пенополистирол

качестве которого применяют, например, изопентан с температурой кипения 28 °С.

При нагреве выше 80 °С полистирол размягчается, а равномерно распределенный внутри гранулы изопентан вскипает и давлением своих паров вспучивает гранулу. После предварительного вспенивания гранулы помещают в закрытую форму, заполняя 60...70 % объема. В результате нагревания до 95...120 °С происходит дальнейшее вспучивание гранул. Растущие гранулы полностью заполняют объем формы, уплотняются, деформируются и сплавляются в местах контакта, в результате чего образуется блок пенопласта, который разрезается горячей проволокой на плиты.

Беспрессовый пенополистирол является одним из самых легких пенопластов, плотность которого лежит в пределах 12...50 кг/м³, а теплопроводность — $\lambda=0,03...0,04$ Вт/(м·К). Вследствие высокой пористости он имеет пониженную прочность (0,04...0,16 МПа при 10 %-деформации сжатия). Водопоглощение составляет от 0,5 до 4 % по объему.

Экструзионный пенополистирол (рис. 10.22) получают из сырья, не содержащего газообразователя. Газообразователь подается непосредственно в экструдер и вводится в расплав полимера в процессе его обработки. В качестве

газообразователей используются как жидкие (изопентан), так и газообразные (фторхлоруглеводороды) вещества.

Подготовка сырья состоит во введении добавок, в частности

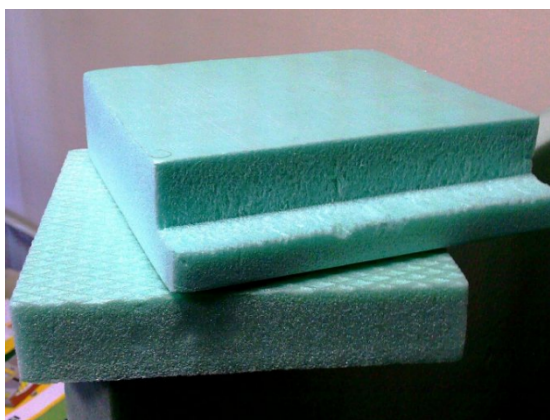


Рис. 10.22. Экструзионный пенополистирол

нуклеирующих агентов, которые необходимы для получения однородной и мелкоячеистой структуры.

Тонкие листы, толщиной 0,5...12 мм, экструдированы через кольцевую щель рукавным способом. Рукав разрезается затем на полотна. Более толстые листы (плиты) изготавливают экструзией через плоскощелевую головку.

Структура экструзионного пенополистирола характеризуется практически 100-процентной замкнутой пористостью и, соответственно, очень малым водопоглощением. Экструзионный пенополистирол обладает высокой прочностью на сжатие (0,3...0,7 МПа при 10 %-ной деформации) и стабильными теплоизоляционными характеристиками, не зависящими от влажностных условий эксплуатации. Коэффициент внутренней теплопроводности $\lambda=0,027...0,04$ Вт/(м·К) соответствует значению для беспрессового пенополистирола, несмотря на более высокую плотность (25...56 кг/м³).

Пенополистирол применяют для тепловой изоляции стен, перекрытий зданий, скатных крыш, кровель, полов, а также в качестве среднего слоя в трехслойных стеновых панелях типа «сэндвич».

Благодаря малому водопоглощению пенополистирол используют для наружной теплоизоляции подвалов зданий, инженерных коммуникаций, для предохранения от морозного пучения грунта в дорожных работах, в качестве несъёмной опалубки при бетонировании стен и фундаментов. Для устройства инверсионных кровель рекомендуется исключительно экструзионный пенополистирол.

Пенополиуретаны. В отличие от пенополистирола и пенополиэтилена, получаемых из готового полимера путем его вспенивания, пенополиуретан (ППУ) синтезируют из двух низкомолекулярных продуктов.

Потребители могут получить от поставщиков пенополиуретаны либо в виде готовых материалов, либо в виде исходных жидких компонентов. В последнем случае теплоизоляцию изготавливают на месте путем заливки приготовленной смеси в конструкцию.

Эластичный пенополиуретан. Наиболее распространенным представителем эластичного пенополиуретана является *поролон*. Его выпускают в виде полотнищ и лент. Средняя плотность поролона составляет $30...70 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности — $0,03...0,04 \text{ Вт/(м·К)}$. Эластичные пенополиуретаны характеризуются практически 100-процентной открытой пористостью.

Жесткий пенополиуретан. Жёсткий пенополиуретан (рис. 10.23) выпускают в виде плит, блоков и скорлуп. Он отличается высокой механической прочностью ($0,2...2,5 \text{ МПа}$) и низкой теплопроводностью $\lambda=0,03...0,06 \text{ Вт/(м·К)}$. Пористость жестких пенополиуретанов преимущественно замкнутая. Водопоглощение по объему составляет $2...5 \%$. Жёсткие плиты имеют среднюю плотность $60...200 \text{ кг/м}^3$.



Рис. 10.23. Жёсткий пенополиуретан

10.7. Рулонные кровельные материалы на основе полимеров

Полимерные кровельные материалы, как правило, на $20...30 \%$ дороже битумно-полимерных. Срок их службы оценивается в 50 лет. Различают следующие основные виды полимерных рулонных кровельных материалов, называемых мембранами.

ПВХ-мембраны (рис. 10.24) — однослойный рулонный материал, толщиной 1,2...2,5 мм производится из пластифицированного поливинилхлорида, относительное удлинение которого достигает 300 %. Этот материал выпускается различных цветов, а также прозрачным. Скрепление швов производится путем сварки горячим воздухом или склеиванием с помощью растворителей.

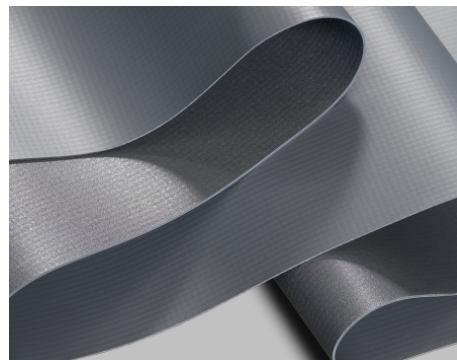


Рис. 10.24. ПВХ-мембрана

ТПО-мембраны (рис. 10.25) выпускаются на основе термопластичных полиолефинов, из которых используется в основном полиэтилен, содержащий



в ряде случаев до 30 % полипропилена, что повышает химическую стойкость. Этот материал, менее эластичен, чем ПВХ, плохо склеивается, но легко сваривается. Благодаря армирующей

полиэфирной сетке материал хорошо сопротивляется механическим воздействиям.

ЭПДМ-мембраны (рис. 10.26) изготовляют из искусственного каучука, называемого этилен-пропилен-диен-мономером. В России этот каучук носит аббревиатуру СКЭПТ (синтетический каучук этилен-пропиленовый тройной) и используется для кровель с 80-х годов XX века.



ЭПДМ (СКЭПТ) обладает высокой эластичностью (относительное удлинение 300 %) и гибкостью на холоде, но прочность его невысока. Для повышения прочности прибегают к армированию ЭПДМ-мембран, при этом их эластичность резко снижается. Применение ЭПДМ-мембран позволяет выполнять работы в любое время года и снизить вес кровли более чем в 10 раз.

Благодаря высокой технологичности и малому весу ЭПДМ-каучука, появилась возможность получения рулонов шириной от 3 до 15 м и длиной от

15 до 61 м. Поэтому в ряде стран получили распространение сборные быстромонтируемые ковры, изготавливаемые в заводских условиях. Небольшие по площади крыши могут перекрываться одним таким ковром.

10.8. Геосинтетические материалы

Геосинтетические материалы — это материалы в виде технических тканей, сеток, рулонных гидроизоляционных материалов, их комбинаций (геокомпозиты), сотовых каркасов, предназначенных для укрепления оснований, грунтовых откосов, защиты их от размыва, эрозии и оползания; укрепления дорожного полотна, в том числе асфальтобетонных покрытий; разделения смежных слоев грунта с разной крупностью зерен для предотвращения их смешивания; изолирования сооружений, территорий и оснований водонепроницаемыми экранами и пр. Различают следующие виды геосинтетических материалов.

Геомембраны — полимерные рулонные материалы, применяемые в противofiltrационных устройствах и для гидроизоляции. В производстве геомембран чаще всего используют полиэтилен высокого и низкого давления.

Геотекстили подразделяются на нетканые и тканые.

Нетканые геотекстили (рис. 10.27) изготавливаются из тонких (диаметром 60...300 мкм) волокон полипропилена или полиэстера, соединенных между собой сплавлением в местах контакта. Эти материалы проницаемы для воды и продуваемы для воздуха, обладают высокой стойкостью против гниения и воздействия кислот и щелочей. Однако под действием ультрафиолетовых лучей теряют прочность.

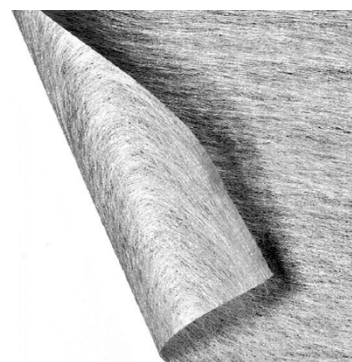


Рис. 10.27. Геотекстиль нетканый

Тканые геотекстили получают в результате переплетения нитей из полипропиленовых или полиэфирных волокон. В отличие от нетканых геотекстилей они характеризуются высокими значениями прочности и модуля

упругости, но малой растяжимостью. Обладают хорошими фильтрующими свойствами.

Геотекстили применяются в качестве разделяющей прослойки между слоями дорожной одежды, препятствуя их смешению. Используются в гидроизоляционном покрытии для армирования слоя битумной эмульсии или мастики. В дренажных системах геотекстили предотвращают заиливание и кольматацию пустот в отсыпке гравия.

Производятся десятки видов технических тканей с различной толщиной нитей и типом плетения.

Бентоматы (рис. 10.28) — трехслойные рулонные материалы, у которых средний слой из натрий-бентонитовой глины расположен между двумя слоями технической ткани. Слой бентонита армируется волокнистым наполнителем. Это позволяет разрезать маты без потери бентонита.



Натрий-бентонит хорошо впитывает воду и набухает, увеличиваясь в объеме до 15 раз. Бентомат, толщиной, например, 6 мм, набухает до 12...25 мм и обеспечивает такую же водонепроницаемость как слой каолиновой глины, толщиной 90 см.

Рис. 10.28. Бентомат

Бентоматы выпускаются в рулонах, шириной 3-4 м, длиной полотна в рулоне около 30 м и применяются в качестве гидроизоляции фундаментов.

Плоские и трехмерные армирующие решетки и сетки (рис. 10.29) применяют для армирования грунта оснований сооружений, дорожных покрытий, для защиты грунта от эрозии,



Рис. 10.29. Георешетка



Рис. 10.30. Сотовый геокаркас

укрепления склонов, создания искусственных газонов и т. п.

Сотовые геокаркасы (рис. 10.30) представляют собой сотовый каркас, заполняемый грунтом, песком, гравием. Применяется в качестве

противоэрозионной защиты крутых откосов, укрепления стенок каналов, при проведении ландшафтных работ.

Занятие 11. Испытание пластмасс (лабораторная работа № 4)

11.1. Общие сведения

Пластмассы — материалы на основе полимеров. Они могут состоять практически только из одного полимера (простые пластмассы) или включать в себя наполнители (сложные или композиционные пластмассы). Кроме того, в пластмассы вводят значительное число добавок (пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов, антисептиков, красителей и др.).

Полимеры играют роль связующего вещества в пластмассах. Они могут переходить из жидкообразного состояния в твердое и, тем, самым, связывают наполнители в единое сплошное тело. Полимеры — это органические смолоподобные вещества, молекулы которых состоят из большого числа многократно повторяющихся элементарных звеньев. В строительных пластмассах используют синтетические полимеры, которые получают в результате процессов полимеризации или поликонденсации. Реакцию полимеризации можно показать на примере полиэтилена (рис. 11.1). Исходным продуктом (мономером) является газ этилен, конечным продуктом — твердое вещество полиэтилен.

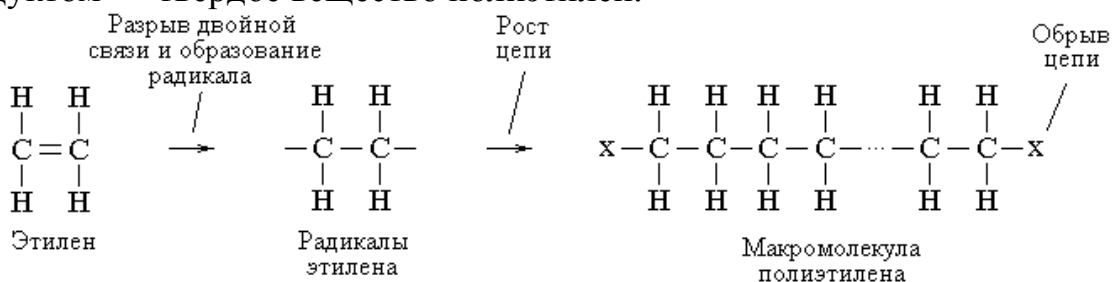


Рис. 11.1. Реакция полимеризации на примере получения полиэтилена

Реакция полимеризации характеризуется тем, что 1) образование свободных радикалов происходит за счет разрыва двойной связи, 2) химический состав элементарного звена макромолекулы не отличается от состава мономера и 3) не образуется побочных продуктов реакции.

На рис. 11.2 показана реакция поликонденсации фенолоформальдегидной смолы.

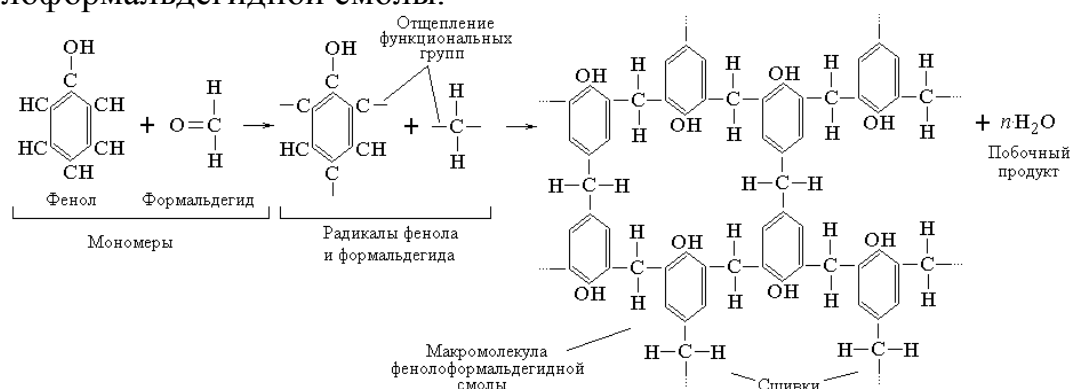


Рис. 11.2. Реакция поликонденсации на примере получения фенолоформальдегидной смолы

Основные черты реакции поликонденсации следующие: 1) образование свободных радикалов происходит за счет отщепления функциональных групп, 2) химический состав элементарного звена макромолекулы отличается от состава мономеров и 3) образуются побочные продукты реакции.

11.2. Общие свойства полимерных материалов

Полимеры и получаемые на их основе материалы обладают рядом положительных свойств: малой плотностью, высокой прочностью и эластичностью, газо- и водонепроницаемостью, низкой теплопроводностью, высокой химической стойкостью, легкостью механической обработки. Основные физико-механические свойства пластмасс приведены в табл. 11.1

Таблица 11.1 — Основные физико-механические свойства пластмасс

Наименование материала		Показатели*					
		σ_{10} , МПа	$R_{сж}$, МПа	R_p , МПа	δ , %	a , кДж/м ²	E , ГПа
Полиэтилен НД		—	—	15÷45	25÷1200	—	0,5÷0,8
Пластифицированный ПВХ		—	—	10÷20	120÷350	—	—
Винипласт (жесткий ПВХ)		—	80	45÷60	10÷40	50÷80	2,4÷4,2
Оргстекло	—	—	65÷160	50÷93	1,6÷10	8÷15	2,9÷4,2
	—	—	—	85÷110	12÷20	25÷33	3,0÷4,0
Пенополистирол ПСБ–С		0,1÷0,6	—	0,1÷0,4	—	0,1÷0,5	—
Стеклотекстолит		—	100÷260	130÷410	—	85÷525	18÷25
Бумажнослоистый пластик		—	—	70÷97	—	13÷21	18,5
Текстолит		—	130÷230	60÷80	—	30	18,5

* σ_{10} — прочность на сжатие при 10 % линейной деформации; $R_{сж}$ и R_p — пределы прочности при сжатии и растяжении; δ — относительное удлинение при разрыве; a — ударная вязкость; E — модуль упругости при растяжении.

Наряду с положительными свойствами пластмассам присущи и определенные недостатки: низкая теплостойкость, низкая твердость, высокое тепловое расширение, повышенная ползучесть, относительно быстрое старение, горючесть.

Старение полимеров. В процессе эксплуатации изделий из полимерных материалов происходит постепенное их старение под действием тепла, света, ионизирующего излучения, механических напряжений, воды, кислорода и других химических веществ. Старение заключается в разрыве связей основной цепи макромолекулы и понижении молекулярной массы, что может сопровождаться изменением химического состава. Разрыв макромолекул в присутствии кислорода воздуха способствует возникновению свободных радикалов, которые инициируют цепной процесс окислительной деструкции. Полимеры, содержащие в цепи кратные связи, быстрее подвергаются деструкции, чем предельные.

С целью замедления старения полимеров к ним добавляют стабилизаторы: антиоксиданты (ингибиторы термоокислительной деструкции), фотостабилизаторы (повышают устойчивость полимеров к фотохимической деструкции), антирады (тормозят старение полимеров под влиянием радиоактивных излучений), пассиваторы (снижают химическую активность полимеров).

С помощью *антипиренов* (см. п. 3.8) полимеры делают трудногорючими. При удалении источника пламени их горение прекращается. Такие материалы называют *самозатухающими*.

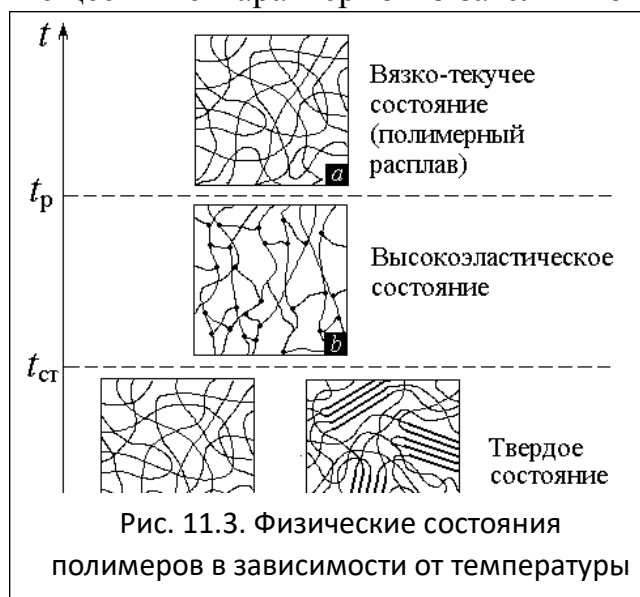
В отношении к нагреванию полимеры ведут себя по-разному. Полимеры с линейной структурой макромолекул, подобной полиэтилену (см. рис. 11.1) — *термопластичны*. Они при нагревании размягчаются и плавятся, а при охлаждении восстанавливают первоначальные свойства. Полимеры с сетчатой (сшитой) структурой макромолекул, подобной структуре фенолоформальдегидной смолы на рис. 11.2 — *термореактивны*. При нагревании они не плавятся, а деформируются, выделяют летучие продукты

разложения, обугливаются и сгорают. Все полимеризационные полимеры и материалы на их основе являются термопластичными. Эти полимеры используются только в простых пластмассах, так как имеют высокую вязкость расплава и плохо пропитывают наполнители (порошки, волокна, ткани, бумагу). Поликонденсационные полимеры в зависимости от соотношения исходных компонентов и от этапа реакции могут иметь, как линейную, так и пространственную структуру молекул. На начальном этапе получения пластмасс их используют в жидком состоянии, а затем производят химически или радиационно сшивку молекул, переводя полимер в твердое термореактивное состояние.

Свойства пластмасс в значительной степени зависят от температуры и влажности. Поэтому согласно ГОСТ 14359 образцы перед испытанием выдерживают при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5)\%$ в течение (91 ± 3) ч, если в нормативно-технической документации на конкретный материал не указаны другие условия. Такую операцию называют *кондиционированием*.

11.3. Высокоэластичность полимеров

Из трех обычных агрегатных состояний вещества полимерам доступно только два: твердое и жидкое. Газообразное состояние для полимерных веществ не характерно из-за слишком большой массы их молекул. Жидкое



состояние полимеров называют *вязко-текучим*, так как вязкость полимерных жидкостей (расплавов), как правило, велика из-за взаимного зацепления молекул. Вязко-текучее состояние возникает при нагревании линейных полимеров выше их температуры размягчения t_p . В этом состоянии полимеры имеют

аморфное строение (рис. 11.3, структура *a*), деформации их необратимы. При приложении постоянной силы они медленно текут. Если соединить молекулярные цепи полимерного расплава сшивками (структура *b*), то они не смогут перемещаться относительно друг друга и течение станет невозможным. С другой стороны, подвижность цепей между сшивками не ограничена, и свернутые участки цепи могут существенно распрямляться при растяжении, обеспечивая исключительно большие обратимые деформации, называемые *высокоэластическими*. Сцепление полимерных цепей в высокоэластическом состоянии вещества, исключающее его течение, не обязательно должно быть связано с ковалентными химическими связями между соседними макромолекулами. Роль сшивок могут играть зародыши кристаллической фазы (структура *d*), зацепления молекул, о которых шла речь выше, или небольшие застеклованные области.

При понижении температуры ниже температуры стеклования $t_{ст}$ полимеры переходят из высокоэластического в твердое состояние, в котором они могут иметь одну из двух структур: стеклообразную (*c*), или частично-кристаллическую (*d*). В последней кристаллические области (кристаллиты) разделены аморфными прослойками. Чисто кристаллическое состояние (когда все молекулы выстраиваются в строгом порядке) для полимеров не существует. Обычно зарождение кристаллов начинается одновременно во всех частях системы. В процессе роста беспорядочно ориентированных кристаллитов создаются стесненные условия, которые не позволяют макромолекулам целиком участвовать в кристаллизации.

Некристаллизующиеся полимеры (полистирол, полиметилметакрилат, поливинилхлорид) переходят в стеклообразное состояние, т. е. являются стеклами — прозрачными материалами. В частично-кристаллических материалах свет рассеивается в результате многократного отражения от поверхностей раздела между кристаллической и аморфной фазами.

Сопоставим значения температуры стеклования для жестких и эластичных пластмасс — пластомеров и эластомеров (табл. 11.1).

Таблица 11.1 — Температура стеклования полимеров

Пластомеры	$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	Эластомеры	$t_{ст}, ^\circ\text{C}$
Поликарбонат	145	Силиконовый каучук	-123
Политетрафторэтилен	120	Полиизобутилен	-74
Полиметилметакрилат	105	Бутилкаучук	-68
Полистирол	100	Бутадиенстирольный каучук	-65
Поливинилхлорид	81	Этилен-пропилен-диеновый каучук	-55
		Полисульфидный каучук (тиокол)	-43

Данные табл. 11.1 показывают, что при обычной эксплуатационной температуре $t_э$ пластомеры, для которых $t_{ст} > t_э$, находятся в стеклообразном или частично-кристаллическом состоянии, в то время, как эластомеры, имеющие $t_{ст} < t_э$, находятся в высокоэластическом состоянии. Только в этом и заключается различие в характере их деформаций. Независимо от типа полимера его деформация состоит из трех частей:

$$\varepsilon = \varepsilon_{упр} + \varepsilon_{вэ} + \varepsilon_{пл},$$

где $\varepsilon_{упр}$ — упругая (обратимая) деформация, заключающаяся в изменении валентных углов и межатомных расстояний; $\varepsilon_{вэ}$ — высокоэластическая деформация (обратимая), связанная с изменением конформаций макромолекул, обладающих «памятью формы»; $\varepsilon_{пл}$ — пластическая (необратимая) деформация, обусловленная беспрепятственным скольжением молекул относительно друг друга. Соотношение между этими видами деформаций зависит от температуры (рис. 11.4).

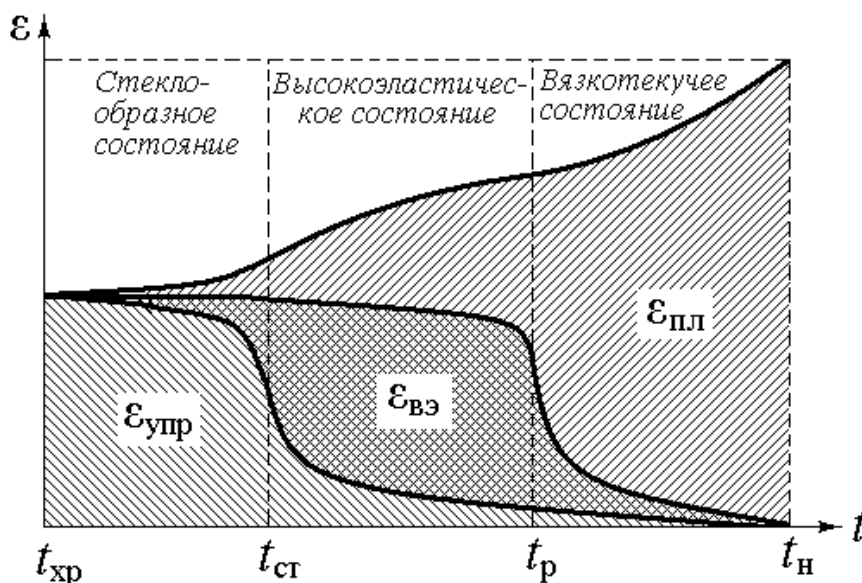


Рис. 11.4. Упругая, высокоэластическая и пластическая деформации полимеров в зависимости от температуры.

Температурный интервал по оси абсцисс ограничен температурой хрупкости $t_{\text{хр}}$, ниже которой гибкость макромолекул не проявляется, и температурой перехода в состояние ньютоновской жидкости $t_{\text{н}}$. Высокоэластическая деформация имеет место в основном в интервале между температурой стеклования $t_{\text{ст}}$ и температурой размягчения $t_{\text{р}}$. В этом интервале (в высокоэластическом состоянии) полимеры характеризуются очень высокими обратимыми деформациями. Их относительное удлинение составляет до 1000 %, а модуль упругости весьма низок — 0,1–0,3 МПа. Для низкомолекулярных веществ $\varepsilon_{\text{вз}}=0$ и $t_{\text{ст}}=t_{\text{р}}$. Для сравнения, модуль упругости стали составляет 10^5 – 10^6 ; оконного стекла — 10^4 – 10^5 ; полимерных стекол — 10^3 – 10^4 ; частично-кристаллических полимеров 10^2 – 10^3 МПа.

11.4. Испытание эластичных полимерных материалов на растяжение

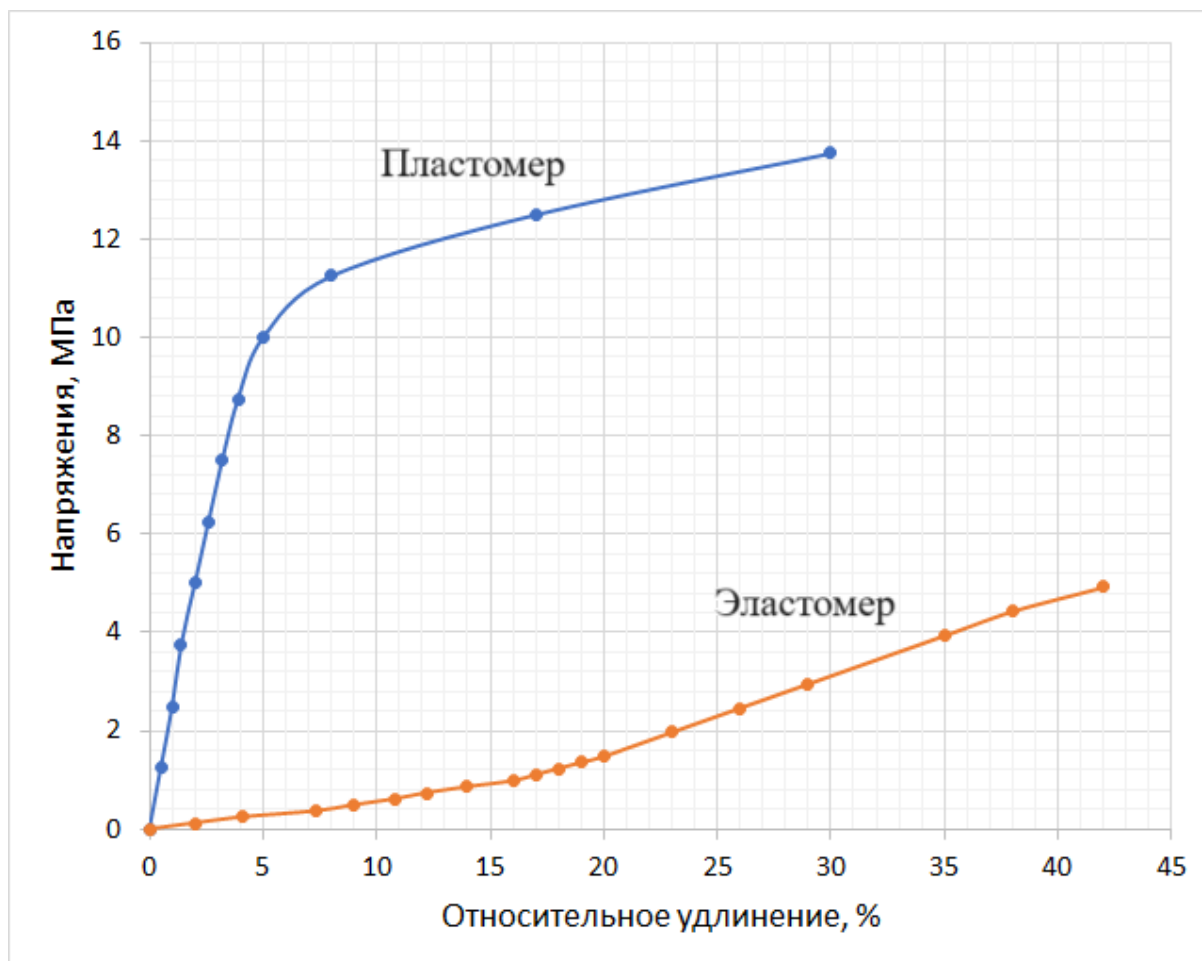
Испытанию подлежат два материала: один, относящийся к пластомерам, второй — к эластомерам. В качестве первого можно использовать поливинилхлоридную пленку, в качестве второго — силиконовый каучук.

Требуется определить для каждого материала: предел прочности при сжатии, начальный модуль деформации и относительное остаточное удлинение после разрыва, а также получить зависимость относительного удлинения образца от нагрузки.

Образцы подготавливают для испытания следующим образом. Из пленки вырезают полосу длиной 200 мм, шириной $(20,0 \pm 0,1)$ мм. Из погонажных изделий вырезают отрезки длиной, указанной в стандарте на данное изделие. Посередине длины образцов шариковой ручкой на расстоянии 100 мм наносят две риски, обозначающие начальную расчетную длину l_0 , изменение которой фиксируется на каждом шаге нагружения.

Образцы после кондиционирования замеряют в поперечном сечении, рассчитывают первоначальную площадь поперечного сечения S_0 и

испытывают на растяжение в разрывной машине. В процессе растяжения записывают ряд значений текущей нагрузки P и соответствующие им значения



расчетной длины образца l , по которым вычисляют напряжение $\sigma = P/S_0$ и относительное удлинение $\epsilon = (l - l_0)/l_0$. Строят график зависимости $\sigma = f(\epsilon)$ и вычисляют модуль деформации $E = \sigma/\epsilon$ по начальному участку графика в пределах линейности (рис. 11.5). Определяют предел прочности при растяжении $R_p = P_{\max}/S_0$ и относительное остаточное удлинение после разрыва $\delta = 100(l_k - l_0)/l_0$, где l_k — расчетная длина после разрыва.

Рис. 11.5. Графики зависимости напряжений от деформации растяжения эластичных полимерных материалов

11.5. Испытание полимерных материалов на сжатие

Испытание на сжатие выполняют, как правило, для жестких пластмасс, таких, как винипласт (жесткий поливинилхлорид), органическое стекло (полиметилметакрилат, фенопласты, аминопласты и другие. Поскольку такие материалы достаточно пластичны и при сжатии не подвергаются хрупкому

разрушению (отсутствует предел прочности), их прочность характеризуют условной величиной — потерей несущей способности или разрушающим напряжением при сжатии. За разрушающее напряжение при сжатии принимают значение напряжений при пределе текучести σ_y . Если пластмасса не имеет предела текучести, определяют напряжение σ_ϵ при нормативно установленной деформации сжатия ϵ для данного материала.

Образцы для испытания на сжатие должны иметь форму прямоугольной призмы, прямого цилиндра или прямой трубки. Размеры образцов для испытания должны удовлетворять условиям неравенства $\epsilon_c \leq 0,4x^2/l^2$, где ϵ_c — максимальная номинальная относительная деформация при сжатии, которая достигается при испытании; x — диаметр цилиндра, наружный диаметр трубы или наиболее короткая сторона поперечного сечения призмы; l — длина образца, измеренная параллельно направлению сжимающей силы. Обычно рекомендуется значение безразмерного коэффициента $x/l > 0,4$. Это соответствует максимальной деформации сжатия приблизительно 6 %.

Перед испытанием образцы кондиционируют и испытывают на гидравлическом прессе.

11.6. Испытание полимерных материалов на ударный изгиб. Метод определения ударной вязкости по Шарпи

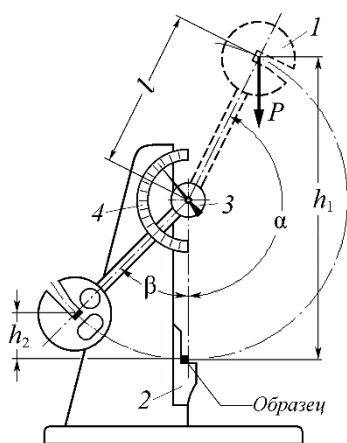


Рис. 11.7. Копер Шарпи:
1 — маятник;
2 — опоры образца;
3 — стрелка измерителя углов; 4 — шкала

Определение ударной вязкости на маятниковом копере Шарпи производят на образцах с надрезом и без надреза. При испытании образец пластмассы, лежащий на двух опорах, подвергается удару маятника посередине пролета по стороне, противоположной надрезу (в

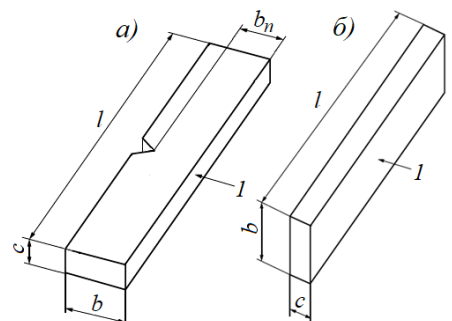


Рис. 11.6. Образцы. Направление удара (I): а — в ребро; б — плашмя

случае образцов с надрезом). Образец устанавливается под удар "плашмя" или "в ребро" (рис. 11.6).

Маятник поднимают на заданную высоту, закрепляют и затем без рывка отпускают для удара по образцу.

Работу, затраченную на разрушение образца, определяют как разность между потенциальной энергией маятника в исходном положении и энергией, затраченной на отклонение маятника после разрушения образца.

Результаты, полученные на образцах различных размеров и формы, изготовленных разными методами, несопоставимы.

Для образца без надреза ударную вязкость по Шарпи a (кДж/м²) вычисляют по формуле:

$$a = A / (b \cdot c),$$

где $A = Ph_1 - Ph_2$ — работа, затраченная на разрушение образца; b и c — ширина и толщина образца; h_1 и h_2 — соответственно, высота положения маятника до и после разрушения образца (вычисляется по углам отклонения маятника: $h_1 = l \cdot \cos \alpha$, $h_2 = l \cdot \cos \beta$), P — вес маятника, l — длина маятника.

11.7. Испытание жестких листовых пластмасс на растяжение

Образцы для испытания листовых пластмасс вырезают в форме,

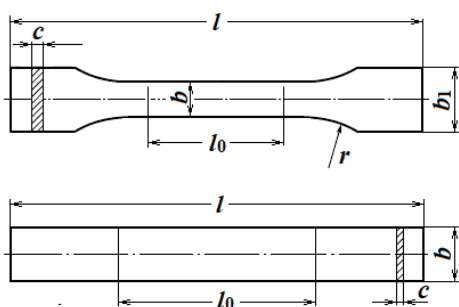


Рис. 11.8. Типы образцов для испытания на растяжение

показанной на рис. 11.8. Толщина s образцов соответствует толщине листа. Для испытания используют не меньше 5 образцов. Образцы кондиционируют и испытывают в разрывной машине, растягивая со скоростью, предусмотренной в нормативном документе на данный материал. При испытании измеряют

нагрузку и удлинение образца в момент достижения предела текучести и/или предела прочности.

Занятие 12. Испытания древесины (лабораторная работа № 5)

12.1. Общие сведения

Древесина — древнейший строительный материал — не утратила своего значения и в настоящее время, несмотря на ряд существенных недостатков, к которым относятся: способность к загниванию, горючесть, анизотропность, а также усушка и разбухание, которые приводят к короблению и растрескиванию изделий. Вместе с тем строительная древесина выгодно отличается от других материалов высокой прочностью при малой плотности (500–700 кг/м³), легкостью механической обработки. По прочности при сжатии вдоль волокон древесина не уступает бетону, а по прочности при изгибе значительно превосходит его. При этом древесина легче бетона примерно в 4 раза. По удельной прочности (отношению прочности к плотности) древесина занимает второе место, уступая только некоторым стеклопластикам. Пористо-капиллярное строение древесины обуславливает ее низкую теплопроводность, что позволяет использовать древесину в качестве стенового материала. Толщина стены из деревянного бруса при одинаковой теплозащите помещения в 2,5–3 раза меньше кирпичной.

Из многочисленных пород деревьев, произрастающих на территории России, промышленное значение имеют около полутора десятков наиболее распространенных из них. Из лиственных — это дуб, ясень, каштан, вяз, ильм, карагач, бархатное дерево, диморфант, лох. Из хвойных — сосна, лиственница, кедр, ель, пихта, тис.

12.2. Строение древесины

Строение древесины можно наблюдать невооруженным глазом (макростроение) и под микроскопом (микростроение) на трех разрезах ствола: поперечном, продольном радиальном и продольном тангентальном (рис. 12.1).

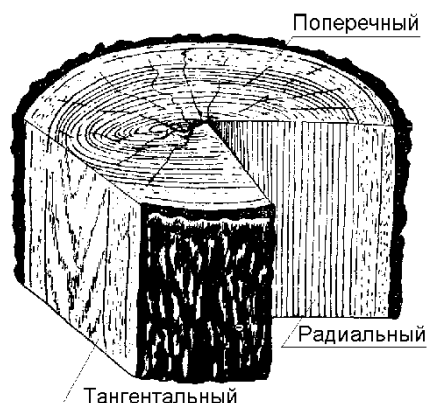


Рис. 12.1. Основные разрезы ствола

Сердцевина (рис. 12.2) в жизнедеятельности дерева участвует только в молодом возрасте и служит для запаса питательных веществ.

Кора состоит из наружного пробкового слоя (*корки*) и внутреннего слоя — *луба*, по клеткам которого идет нисходящий ток питательных веществ, выработанных листьями.

На границе между древесиной и лубом находится слой живых клеток, называемый *камбием*. Путем деления клеток камбия происходит утолщение ствола и ветвей. При делении одна из образовавшихся клеток остается камбиальной, а другая идет на образование древесины или луба, смотря по тому, в какую сторону она обращена. Деятельность камбия замирает на холодное время и возобновляется весной.

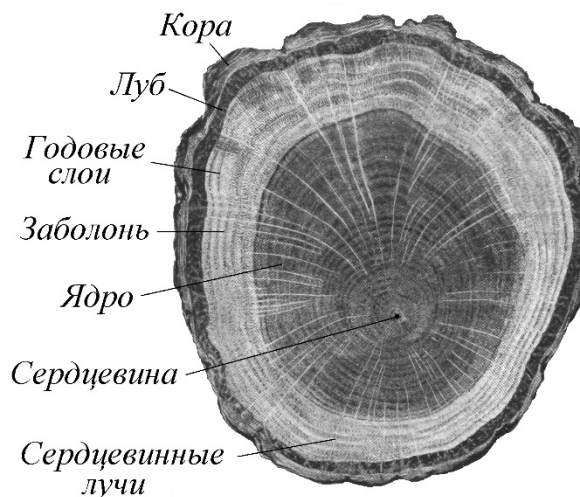


Рис. 12.2. Поперечный разрез дуба

Древесина пород умеренного климатического пояса на поперечном разрезе состоит из ряда чередующихся концентрических колец светлой и темной окраски, называемых *ранней* и *поздней древесиной*, соответственно времени их образования. Каждый слой, состоящий из ранней и поздней древесины, образуется за один вегетационный период и называется *годовым*

слоем. В начале вегетационного периода, ранней весной и в начале лета, дерево испытывает потребность в большом количестве влаги и питательных веществ, которые необходимы для распускания листьев и завязывания плодов. В этот период от слоя камбия в сторону древесины откладываются клетки, приспособленные для передвижения влаги. У хвойных пород — это широкополостные тонкостенные клетки — *трахеиды*, у лиственных крупные *сосуды*. Во второй половине вегетационного периода, в конце лета и осенью, дерево нуждается в упрочнении своего ствола, т. к. сильно загружено побегами, листвой, плодами. Поэтому поздняя древесина формируется из прочных толстостенных механических клеток.

Чем больше поздней древесины содержится в породе, тем она тяжелее и прочнее. Древесина у одних пород окрашена одинаково по всему сечению, а у других имеет в середине темноокрашенное *ядро*, состоящее из омертвевших клеток, пропитанных смолами и дубильными веществами (см. рис. 12.2). Древесина ядра — более плотная и менее влажная, чем древесина наружной (светлой) части, называемой *заболонью*. Заболонь является молодой древесиной, по проводящим клеткам которой происходит восходящее сокодвижение. В техническом отношении заболонь слабее ядра и имеет низкую стойкость против гниения, но хорошо гнется и позволяет получать гнутые изделия.

К породам, имеющим ядро, относятся: из хвойных — лиственница, сосна, кедр сибирский, тисс, можжевельник, а из лиственных — дуб, ясень, вяз, ильм, берест, орех грецкий, платан, яблоня, тополь, ива, рябина и др. У некоторых пород цвет центральной части неотличим от заболони, однако древесина в центре ствола, подобно ядру, имеет повышенную плотность и твердость и содержит значительно меньше влаги, чем заболонь. Эта часть ствола называется *спелой древесиной*. К спелодревесным породам относятся ель, пихта, бук, липа, клен полевой и др. На поперечном разрезе ствола можно видеть так называемые *сердцевинные лучи* (см. рис. 12.2), которые начинаются от сердцевины или на некотором расстоянии от нее и доходят до коры. В

растущем дереве сердцевинные лучи служат для проведения питательных веществ в горизонтальном направлении и запасания их.

По сердцевинным лучам древесина легко раскалывается. В то же время они повышают сопротивление древесины сжатию поперек волокон в радиальном направлении. Серцевинные лучи ускоряют сушку древесины и обуславливают различие между радиальной и тангентальной усушкой. Трещины усушки проходят по сердцевинным лучам.

Древесина состоит из *волокон*, вытянутых вдоль ствола. Каждое волокно во время жизни представляет собой растительную клетку, состоящую из оболочки и протопласта (протоплазмы и ядра).

Оболочка молодых клеток представляет прозрачную весьма тонкую (едва достигающую 0,001 мм) пленку, эластичную, растяжимую и легко проницаемую для воды и водных растворов. В процессе развития, в зависимости от выполняемых клеткой функций, оболочка ее претерпевает существенные изменения в размерах, строении и по составу. Наиболее частым изменением в составе клеточных оболочек является их *одревеснение* и *опробковение*.

Поры в стенках оболочек представляют собой совокупность двух отверстий, расположенных соосно в стенках двух смежных клеток.

12.3. Пороки древесины

Пороками называют нарушения правильного строения древесины и естественные повреждения в условиях произрастания, хранения и эксплуатации. К порокам древесины относятся сучки, трещины, пороки формы ствола и макростроения древесины, гнили, червоточины и другие.

Пороки нарушают однородность и целостность пилопродукции, снижают прочность древесины, повышают коробление и растрескивание, затрудняют механическую обработку, увеличивают количество отходов, ухудшают внешний вид изделий.

12.4. Важнейшие свойства древесины

Строение древесины обуславливает ее анизотропию и вызывает необходимость различать три взаимно перпендикулярных направления (вдоль волокон и поперек волокон: радиально и тангенциально), по которым свойства древесины существенно различаются.

Истинная плотность древесинного вещества у всех пород колеблется в очень узких пределах — 1540–1560 кг/м³, что объясняется практически одинаковым химическим составом их древесины.

Средняя плотность древесины зависит от пористости и от того, чем заполнены ее поры: воздухом или водой. Сравнивать породы можно только при стандартной влажности, равной 12 %. Для большинства пород при 12 % влажности плотность $\gamma_{12} < 1000$. У древесины гваякового дерева $\gamma_{12} = 1300$, у бальзы — 260 кг/м³. Если древесинное вещество занимает более 65 % объема сухой древесины, то она тонет в воде.

Коэффициент внутренней теплопроводности сухой древесины сосны вдоль волокон (0,35–0,37) примерно в 2–3 раза больше, чем поперек волокон [0,14–0,16 Вт/(м·°C)].

Влажность древесины оказывает отрицательное влияние на ее свойства. Различают две формы влаги, содержащейся в древесине: 1) *капиллярная* (свободная) влага, заполняющая полости клеток и межклеточные пространства, и 2) *гигроскопическая* (связанная) влага, пропитывающая стенки клеток. Древесину после долгого нахождения в воде с влажностью $W = 200$ –250 % называют *мокрой*; свежесрубленную древесину ($W = 30$ –50 % в ядровой части, и до 180 % в заболонной) — *сырой*; с влажностью, находящейся в равновесии с атмосферным воздухом, но не выше 20 % — *воздушно-сухой*; после горячей сушки ($W = 8$ –13 %) — *комнатно-сухой*; с $W = 0$ — *абсолютно-сухой*.

Абсолютно-сухая древесина на воздухе будет адсорбировать пары воды до тех пор, пока не установится равенство парциальных давлений пара в

древесине и в воздухе. Если влажность воздуха изменится, то и древесина изменит свою влажность, стремясь к равновесию с воздухом. Такую влажность называют *равновесной*, а способность древесины сорбировать влагу из воздуха — *гигроскопичностью*.

Влага, проникающая в древесину, в первую очередь захватывается стенками клеток (волокнами), пока не наступит их полное насыщение. Соответствующую влажность называют *точкой насыщения волокон* (ТНВ). Для большинства пород ТНВ лежит в пределах 23–31 %.

Если равновесная влажность $W_p \leq \text{ТНВ}$, то в древесине содержится только гигроскопическая влага и нет капиллярной. Последняя появляется при $W_p > \text{ТНВ}$.

При высыхании сырой древесины сначала испаряется капиллярная влага и, пока она не будет полностью удалена, гигроскопическая влажность остается равной ТНВ. Только после удаления всей капиллярной влаги, на что требуется около месяца атмосферной сушки, начинается удаление гигроскопической влаги, продолжающееся около года.

Усушка и разбухание древесины (уменьшение объема при сушке и увеличение объема при увлажнении) происходят при изменении только гигроскопической влажности (рис. 12.3). Вдоль волокон древесина усыхает и разбухает в 30–100 раз меньше, чем поперек. Это объясняется продольным

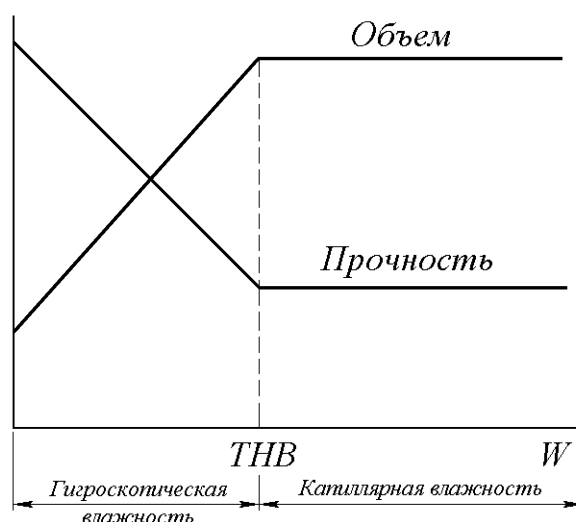


Рис. 12.3. Влияние влажности на объем (усушку — разбухание) и прочность древесины

расположением волокон так, что при их сближении размеры древесины уменьшаются главным образом в поперечном направлении.

При удалении гигроскопической влаги количество древесной массы в единице объема увеличивается, что влечет за собой повышение плотности и механических свойств древесины (прочности, упругости и твердости).

Линейная усушка в трех основных направлениях различна, что обуславливает коробление и растрескивание древесины при высыхании. Доски подвергаются поперечному короблению. Брус изменяет форму сечения различным образом в зависимости от расположения годовых слоев (рис. 12.4). Косослойная доска приобретает форму пропеллера.

Поглощение воды, как и ее испарение, происходит главным образом

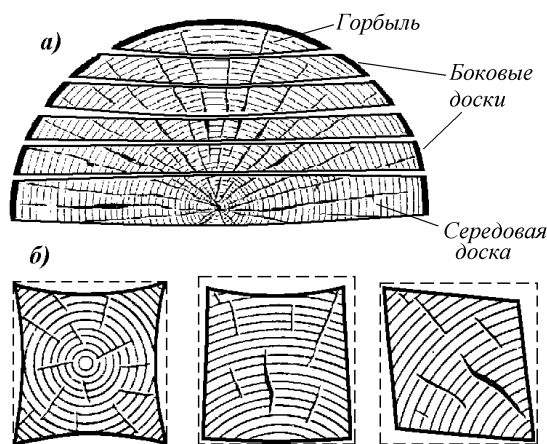


Рис. 12.4. Коробление пиломатериалов:

а — доски; б — бруса

через торцевые поверхности, поэтому бревна растрескиваются по торцам.

Усушка и разбухание заставляют делать припуски и зазоры, учитывая изменения в размерах элементов конструкции.

Прочность древесины. Так как древесина анизотропна, то при характеристике прочности необходимо

указывать направление действия сил по отношению к волокнам (вдоль или поперек волокон) и годовым слоям (радиальное или тангентальное направление). Для испытаний готовят образцы небольших размеров, не содержащие пороков древесины, почему их называют малыми чистыми образцами. Для стандартных испытаний образцы вырезают из *середовой доски* (см. рис. 12.4), отступив от сердцевины. При этом годовые слои должны быть параллельны любым двум противоположным граням образца.

Поскольку прочность зависит от гигроскопической влажности древесины (см. рис. 12.3), результаты испытаний приводят к стандартной 12 % влажности. Допускается фактическая равновесная влажность W древесины

при испытаниях в пределах от 9 до 15 %, т. е. $W < \text{ТНВ}$. Для пересчета используют формулу

$$R_{12} = R_W [1 + \alpha(W - 12)], \quad (12.1)$$

где R_{12} — предел прочности при влажности 12 %; R_W — предел прочности при фактической влажности древесины W в момент испытания; α — пересчетный коэффициент на влажность, который, независимо от породы древесины, принимают равным: при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе — 0,04; при скалывании вдоль волокон — 0,03; при ударном изгибе — 0,02.

Сопротивление сжатию вдоль волокон значительно выше сопротивления древесины поперек волокон. Образцы для испытаний на сжатие вдоль волокон имеют форму прямоугольной призмы размерами 20x20 и длиной вдоль волокон 30 мм.

Для приведения результатов к стандартной влажности, сразу после испытания определяют фактическую влажность образцов.

Сопротивление сжатию поперек волокон у древесины сравнительно мало. Все же довольно часто древесина работает под такой нагрузкой (шпалы, деревянные срубы, соединения деревянных деталей болтами). При сжатии поперек волокон происходит смятие древесины и нередки случаи, когда высота образца уменьшается до $\frac{1}{3}$ начального значения, а разрушение не наступает. Тогда ограничиваются определением нагрузки при заданном значении деформации.

Сопротивление статическому изгибу поперек оси ствола довольно высокое. Это позволяет применять ее в конструкциях в виде балок, стропил, ферм, подмостей, настилов.

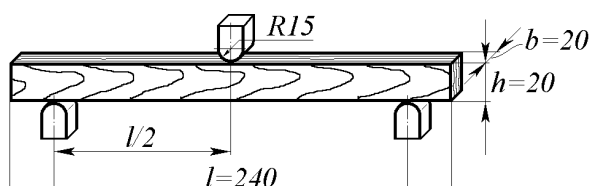


Рис. 12.5. Схема испытания древесины на сопротивление статическому изгибу

Испытанию подвергают образцы-балочки (20x20x300 мм), свободно лежащие на двух опорах и нагружаемые посередине пролета (в 240 мм) одной сосредоточенной силой

(рис. 12.5). Предел прочности при статическом изгибе вычисляют по формуле

$$R_{W\text{изг}} = 3P_{\max}l/(2bh^2),$$

где l — расстояние между опорами, b и h — ширина и высота образца.

Полученный результат приводят к стандартной влажности по формуле (12.1).

Пробу для определения влажности (длиной 30 мм) вырезают вблизи излома.

Временное сопротивление статическому изгибу в 1,5–2 раза выше сопротивления сжатию вдоль волокон и составляет порядка 70–100 МПа. Сопротивление изгибу в радиальном направлении несколько больше, чем в тангентальном (обычно на 6–7 %).

Сопротивление скалыванию вдоль волокон имеет большое практическое значение, т. к. разнообразные виды врезок, применяемые для соединений элементов в деревянных конструкциях, работают на этот вид нагружения. Форма и размеры образца для испытаний на скалывание и приспособление для закрепления образца по методу Перельгина показаны на рис. 12.6. Приспособление с образцом помещается на опорную плиту

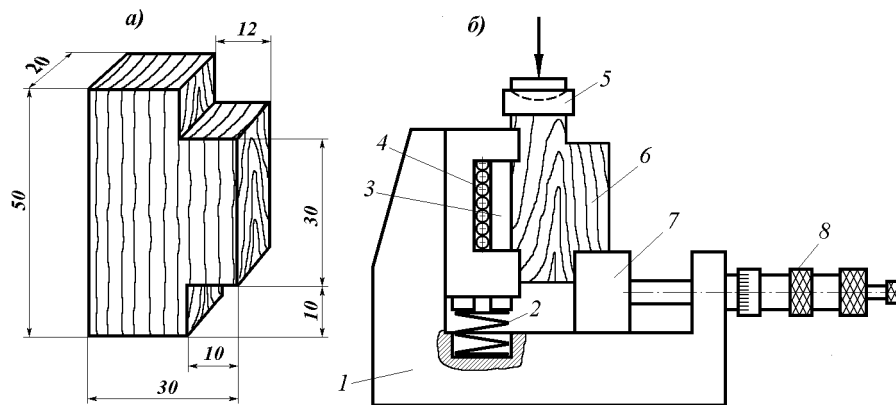


Рис. 12.6. Образец для испытания на скалывание в тангентальной плоскости (а) и приспособление для закрепления образца (б): 1 — корпус; 2 — пружина; 3 — подвижная планка; 4 — ролики; 5 — нажимная призма с шаровой опорой; 6 — образец для испытания на скалывание в радиальной плоскости; 7 — подвижная опора; 8 — устройство для прижима подвижной опоры

машины для сжатия, и образец доводится до разрушения плавно возрастающей нагрузкой. Предел прочности при скалывании получают делением максимального усилия на площадь скалывания. Для приведения результата к стандартной влажности по формуле (12.1) определяют влажность древесины, используя в качестве пробы большую часть расколотого образца.

Временное сопротивление скалыванию по сравнению со сжатием вдоль волокон составляет примерно $1/6$ – $1/7$ для хвойных и $1/4$ – $1/6$ для лиственных пород. В лиственных породах сказывается влияние сердцевинных лучей, что заметно повышает сопротивление тангентальному скалыванию по сравнению с радиальным. Для хвойных пород заметной разницы между этими направлениями не наблюдается. Сильно повышают сопротивление скалыванию такие пороки древесины, как волнистость, свилеватость, завитки, мелкие заросшие сучки и пр.

12.5. Применение древесины

Для строительных конструкций (каркасы зданий, обшивка стен, ограждающие конструкции и проч.) применяются как круглые лесоматериалы, так и пиломатериалы, получаемые при продольном распиливании бревен (пластины, четвертины, доски, бруски, брусья и др.). Для внешней отделки фасадов и внутренних помещений применяют строганные пиломатериалы, в том числе погонажные изделия (наличники, плинтусы, галтели, раскладки, бруски, штапик, фигурные рейки, поручни для перил, доски для чистового пола).

Наличники применяют для окантовки дверных и оконных проемов. Плинтусы и галтели служат для оформления угловых стыков между полом и стенами, стенами и потолком. Раскладки закрывают стыки листов облицовочного материала. Для отделки полов выпускаются штучный и наборный паркет и паркетные доски или щиты.

Из древесины изготавливают различные листовые и плиточные изделия для плотничных и столярных работ. Такие, как фанера, получаемая склеиванием под давлением нескольких листов шпона, столярные плиты, состоящие из реечного щита, оклеенного с обеих сторон шпоном в один или два слоя, древесноволокнистые и древесностружечные плиты и другие изделия.

Занятие 13. Испытание битумов (лабораторная работа № 6)

13.1. Общие сведения

Битумы (от лат. bitumen — горная смола, нефть) — это смолообразные термопластичные органические вещества, переходящие в вязкотекучее состояние при нагревании до 80–180 °С и отвердевающие при охлаждении без химических превращений.

Нефтяные битумы (рис. 13.1) широко используются как связующие и



Рис. 13.1. Нефтяной битум

пленкообразующие вещества для производства лакокрасочных материалов, кровельных и гидроизоляционных мастик, рулонных материалов, асфальтовых растворов и бетонов.

Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов и их соединений с кислородом, азотом, серой [элементарный состав: $C_xH_y-(O_2; N; S)$]. Содержание в битуме углерода составляет 75–85 %, водорода 8–11,5 %, кислорода 0,2–4 %, серы 0,5–7 %, азота 0,2–0,5 %.

При нагревании битума по мере повышения температуры из него выделяются (выкипают) сначала легкие фракции, имеющие консистенцию масел (плотность $\gamma = 0,6–1,0 \text{ г/см}^3$), затем — высоковязкие смолы ($\gamma = 1,0–1,1 \text{ г/см}^3$) и твердые неплавкие вещества — *асфальтены* ($\gamma = 1,1–1,15 \text{ г/см}^3$)

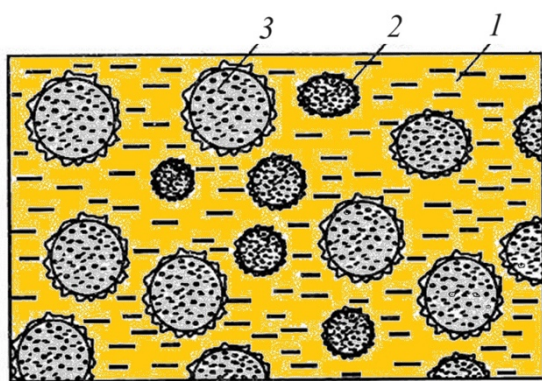


Рис. 13.2. Строение битума: 1 — масла; 2 — смолы; 3 — асфальтены

Битумы рассматривают как сложную коллоидную систему, в которой дисперсионной средой является маслянистая часть, а коллоидной фазой — асфальтены. Смолы играют роль стабилизатора, частично адсорбируясь на коллоидах. При переходе от масел к асфальтенам

происходит постепенное изменение битума от мягкого и легкоплавкого к

твердому и тугоплавкому.

Природные битумы встречаются как в чистом виде, так и в составе битуминозных горных пород. Это в основном песчаники, известняки и доломиты, поры которых пропитаны битумом. Извлечение битума из битумосодержащих пород является целесообразным только в случае его содержания, превышающего 10–15 %.

Из асфальтовых пород битум извлекают вываркой измельченной породы в кипящей воде или экстрагированием с помощью органических растворителей.

Искусственные нефтяные битумы по способу получения делятся на три группы:

1. Остаточные — полученные в остатке как при прямой перегонке нефти, мазута, гудрона, так и при крекинге нефти.
2. Окисленные — полученные путем окисления кислородом воздуха (продувкой через расплав при температуре 180–300 °С) остаточных битумов и других нефтяных остатков.
3. Смешанные — полученные смешением различных нефтяных остатков с дистиллятами и с окисленными или остаточными битумами.

Окисленные битумы имеют более высокую температуру размягчения (до 200 °С) по сравнению с остаточными битумами (до 100 °С). Их плотность выше, а пенетрация ниже, чем у остаточных битумов.

Смешением продуктов добиваются улучшения основных физико-механических характеристик битумов.

Дегти и пеки. *Дегти* — это вязко-текучие продукты конденсации летучих веществ, получаемых при сухой высокотемпературной перегонке различных топлив и других органических веществ.

Дегти в зависимости от исходного сырья подразделяются на: 1) каменноугольные; 2) буроугольные, 3) сланцевые, 4) торфяные, 5) древесные, 6) нефтяные.

Пеки (от голл. *Рек* — смола) — твердые остатки от перегонки дегтей,

нефтяных смол, жиров, восков и др.

13.2. Свойства нефтяных битумов

1. При нагревании до сравнительно невысокой температуры (35–130 °С) битумы размягчаются и приобретают способность к вязкому течению. Битумы не имеют точки плавления, их переход из твердого состояния в жидкое происходит при постепенном размягчении по мере нагревания. Чем выше температура, тем меньше вязкость битума. Для сопоставления различных битумов принята условная температура, называемая *температурой размягчения*. Это — температура, при которой битум приобретает стандартную вязкость (рис. 13.3). Определяют температуру размягчения с

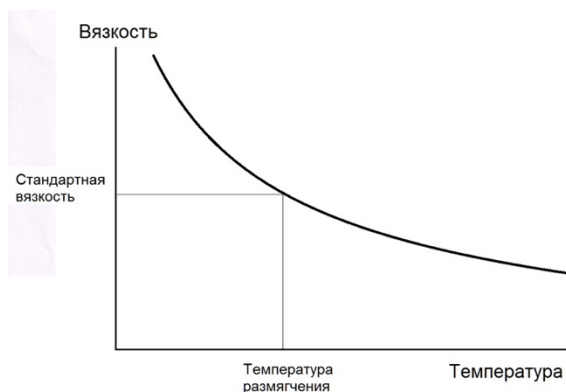


Рис. 13.3. Зависимость вязкости битума от температуры

помощью прибора «Кольцо и шар». Способность битума размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении лежит в основе его использования в качестве связующего вещества в строительных материалах.

2. Битумы растворимы в органических растворителях (бензине, керосине, толуоле и др.), что используется для изготовления холодных мастик.

3. В воде битумы нерастворимы и проявляют водоотталкивающие свойства. Однако, используя специальные добавки (эмульгаторы, стабилизаторы) и соответствующую технологию, можно получить устойчивый коллоидный раствор битума в воде (битумную эмульсию).

4. Битумы характеризуются высокой адгезией к металлам, кирпичу, бетону, древесине, благодаря чему применяются для получения приклеивающих мастик.

5. Материалы на основе битума обладают исключительно высокой водостойкостью и широко используются для гидроизоляции подводных и подземных частей сооружений, а также для окраски подводных частей речных

и морских судов.

6. В условиях атмосферы под действием солнечных лучей и кислорода воздуха битумы довольно быстро теряют свои положительные свойства (*стареют*).

Старение битума обусловлено: 1) испарением из битума легких фракций (*термодистилляция*), 2) окислением компонентов битума при воздействии тепла и УФ-излучения (*термоокислительное старение*). При окислении масла переходят в смолы, а смолы — в асфальтены. Оба процесса приводят к обогащению битума асфальтенами и, как следствие, повышению температуры размягчения, развитию усадки и охрупчиванию.

Поэтому битум имеет ограниченное применение для кровельных покрытий. Для подземных конструкций и под водой битум может служить без заметного старения. Битумные мастики целесообразно применять для приклеивания рулонных материалов. В этом случае они будут защищены от контакта с воздухом кровельным или гидроизоляционным покрытием.

13.3. Эмульсии, пасты и мастики на основе битумов и дегтей

Битумные эмульсии представляют собой дисперсные системы, в которых битум (деготь) диспергирован в воде в виде частиц размером около 1 мкм.

Эмульсии готовят в специальных машинах диспергаторах, гомогенизаторах, установках с использованием ультразвуковых колебаний. Приготовление эмульсии включает: разогрев битума (дегтя) до 50–120 °С, приготовление и подогрев эмульгатора до 80–90 °С, диспергирование битума (дегтя) в растворе эмульгатора. Содержание битума (дегтя) в обычных эмульсиях — 50–60%, в пастах — 60–70%.

Пасты являются высококонцентрированными эмульсиями. Эмульсии и пасты применяют для грунтовки основания и устройства гидроизоляции, приклеивания рулонных и штучных битумных материалов, в качестве связующего вещества в асфальтовых растворах и бетонах.

Битумные и дегтевые мастики получают смешением связующих веществ на основе битумов и дегтей с пылевидными или волокнистыми наполнителями и специальными добавками. В состав мастик может входить растворитель.

Мастики применяют для устройства мастичной кровли или гидроизоляции, для приклейки рулонных материалов, для герметизации швов. Битумные мастики бывают «горячие» и «холодные».

Горячие битумные мастики применяют в расплавленном виде (нагретыми до 160–200 °С). Готовят мастику варкой в специальных котлах при постоянном перемешивании. В расплавленный битум постепенно (порциями) вводят просушенный и подогретый наполнитель.

Холодные битумные мастики могут быть двух видов:

- 1) на разбавленных битумах;
- 2) на эмульгированных битумах.

Мастики на разбавленном битуме содержат в своем составе органический растворитель, который размягчает (разбавляет) битум. Эти мастики представляют собой смесь тугоплавкого битума, наполнителя (извести-пушонки, асбеста) и растворителя (солярового масла или керосина).

При приготовлении холодной битумной мастики битум расплавляют и небольшими порциями при непрерывном перемешивании вводят в него подготовленную смесь наполнителя и солярового масла.

Мастики на основе эмульгированных битумов готовят, смешивая битумные эмульсии или пасты с минеральным наполнителем. В отличие от разбавленных, эмульсионные мастики не токсичны, не имеют запаха, имеют меньшую стоимость. Их можно наносить на влажную поверхность. Однако они медленно отвердевают и не пригодны для сплошной приклейки полотнищ рулонных материалов, так как вода при испарении не находит выхода из-под покрытия.

Битумно-полимерные мастики изготовляют на битумах, модифицированных полимерными добавками, улучшающими свойства

битума. Они, так же как битумные, бывают горячими и холодными.

Существуют битумно-полимерные *отверждающиеся* мастики. Такие мастики отверждаются при добавке отвердителя.

13.4. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов

Рулонные кровельные материалы бывают основными и безосновными. Основные материалы изготовляют обработкой основы (кровельного картона, асбестовой бумаги, стеклоткани, металлической фольги) нефтяными битумами и дегтями. Безосновные получают прокаткой смесей, составленных из битумного связующего, порошкообразного или волокнистого наполнителя и добавок (пластификаторов, антисептиков и др.).

Рубероид изготовляют, пропитывая кровельный картон легкоплавким нефтяным битумом с последующим покрытием одной или обеих сторон тугоплавким битумом. Для повышения качества рубероида в состав кровельных слоев вводят наполнители и добавки, в том числе полимеры, антисептики и др.



Рис. 13.4. Рубероид

Лицевую поверхность кровельного рубероида покрывают крупнозернистой или чешуйчатой посыпкой. На нижнюю поверхность кровельного рубероида, и на обе стороны подкладочного рубероида наносят мелкозернистую или пылевидную посыпку, предотвращающую слипание материала в рулонах. Кровельный картон подвержен гниению, поэтому в состав битума вводят антисептик. В случае наплавленного рубероида вместо посыпки может быть использована полимерная пленка.

Пергамин — рулонный беспокровный материал, получаемый пропиткой кровельного картона легкоплавким нефтяным битумом. Пергамин служит подкладочным материалом под рубероид.

Кровельный толь получают пропиткой и покрытием кровельного картона каменноугольными или сланцевыми дегтями с последующей посыпкой обеих сторон кварцевым песком или минеральной крошкой. Толь без покровного слоя и посыпки применяют в качестве подкладочного материала при устройстве многослойных кровель, а также для паро- и гидроизоляции.

Гидроизол — беспокровный гидроизоляционный рулонный материал, изготовленный пропиткой асбестовой бумаги нефтяными битумами.

Стеклорубероид в отличие от рубероида имеет в качестве основы стекловолокнистый холст.

Фольгоизол — двухслойный рулонный материал, состоящий из тонкой рифленой или гладкой фольги, покрытой с одной стороны защитным составом из модифицированного резино-битумного связующего.

Изол — безосновный биостойкий гидро- и пароизоляционный рулонный материал, получаемый из резино-битумного связующего, наполнителя в виде тонкомолотых талька, известняка, асбестовых волокон и различных, в том числе, полимерных добавок.

13.5. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы на модифицированных битумах

Кровли, выполненные с применением рубероида и пергамина крайне недолговечны. Это обусловлено быстрым старением битума и загниванием картонной основы. Средняя периодичность ремонта таких кровель составляет 3 года. В то же время, в связи с низкой стоимостью, эти материалы наиболее выгодны для временных сооружений со сроком эксплуатации до 5 лет. В капитальном строительстве применяются более долговечные материалы на основе модифицированных битумов.

Модифицированный битум получают введением полимерных добавок. При этом существенно возрастает стойкость против старения, эластичность, теплостойкость, гибкость при отрицательных температурах. Содержание

полимера в связующем обычно не превышает 30 %.

Распространение получили следующие модификаторы: 1) атактический полипропилен (АПП-модификатор) иногда в смеси с изотактическим полипропиленом (ИПП); 2) стирол-бутадиен-стирольный сополимер (СБС-модификатор); 3) этилен-пропилен-бутеновый сополимер (ЭПБ-модификатор).

АПП-модифицированный битум, сохраняя присущие битумам высокие показатели адгезии и водонепроницаемости сообщает материалам высокую стойкость к старению, повышенную гибкость на холоде и высокую теплостойкость (не ниже 120 °С).

АПП относится к пластомерам, поэтому АПП-модифицированные материалы имеют эластичность и гибкость на холоде (до -15 °С) ниже, чем у СБС-материалов. Сгибание их при укладке на сильном морозе может привести к образованию трещин.

СБС-модифицированный битум получают с применением бутадиен-стирольного каучука — продукта сополимеризации бутадиена и стирола. СБС-каучук, являясь термопластичным эластомером, придает битуму очень высокую эластичность и гибкость при низких температурах (до минус 25 °С). Относительное удлинение СБС-модифицированного битума (без основы) достигает 1500 %. По теплостойкости же (90–100 °С) он уступает АПП-материалам.

ЭПБ-модифицированный битум получаемый на базе гетерополимера этилен-пропилен-бутена (ЭПБ) сочетает преимущества АПП-битумов (повышенная теплостойкость и устойчивость против старения) с достоинствами СБС-композиций (низкотемпературная эластичность). Для обеспечения фазовой инверсии требуется не менее 16 % ЭПБ-модификатора. Материалы на основе ЭПБ имеют самую высокую стойкость к старению.

Основные показатели окисленного и модифицированных битумов приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1 — Основные показатели окисленного и модифицированных битумов

Свойства	Окисленный битум	Модифицированный битум		
		СБС	СБС	СБС
Температурный порог гибкости, °С	5	-25	-15	-25
Теплостойкость, °С	70	90–100	120	120
Стойкость против старения	(-)	+	++	++
Эластичность	(-)	++	+	+

Рулонные битумно-полимерные материалы получают с использованием негниющей армирующей основы — стеклоткани, стеклохолста, полиэстера (нетканого материала на основе полиэфирных волокон). На основу с двух сторон наносят связующее вещество, состоящее из битума, полимерного модификатора и тонкодисперсного наполнителя. Затем каждую поверхность защищают минеральной посыпкой или полимерной пленкой.

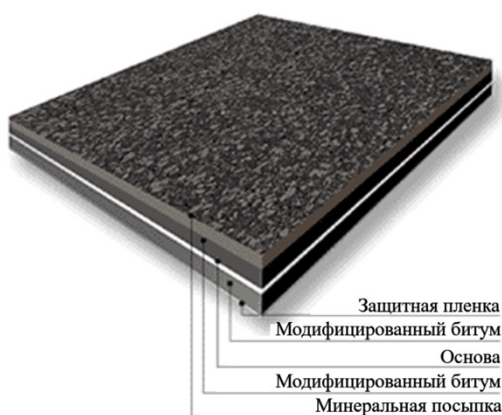


Рис. 13.5. Битумно-полимерный рулонный материал

Лицевая поверхность материала для верхнего слоя защищается от воздействия солнечных лучей и кислорода воздуха чаще всего крупнозернистой (песок, гранулят) или чешуйчатой (сланца) посыпкой. Для некоторых материалов используют алюминиевую или медную фольгу, служащую одновременно основой.

Нижнюю поверхность материала для верхнего слоя и обе поверхности материала для подстилающего слоя защищают либо мелкозернистой или пылеватой посыпкой, либо покрытием легко оплавляемой полиэтиленовой пленкой. К первому способу прибегают, если предполагается приклеивание полотнищ с помощью мастики. Во втором случае предполагается крепление материала путем наплавления.

Товарные названия рулонных битумно-полимерных материалов весьма

разнообразны, однако принципиальные различия между ними сводятся к двум факторам — виду основы и типу модификатора.

13.6. Листовые кровельные материалы на основе битумов

Битумная черепица. Битумная черепица, часто называемая кровельной плиткой, *гонтом* или *шинглсом*, представляет собой небольшие плоские листы, с фигурными вырезами по одному краю (обычно один лист имитирует 3–4 черепицы, которые могут иметь форму трапеции, шестиугольника, прямоугольника, волны). Существует много цветовых решений битумной черепицы. Этот материал по своей структуре, технологии и применяемым компонентам аналогичен рулонным материалам.

Битумной черепице не требуется высокая эластичность, как рулонным материалам. Усадка при старении локализуется в пределах каждой плитки и не вызывает напряжений в покрытии.

Битумный шифер. Волнистые битумные листы (битумный шифер) изготавливаются из переработанного прессованного картона, пропитанного битумом при высокой температуре и давлении. Волнистые битумные листы покрывают полимером или окрашивают по специальной технологии, придавая различные цвета: красный, коричневый, зеленый, черный и другие.

13.7. Асфальтовые бетоны и растворы

Асфальтовый бетон — материал, получаемый в результате отвердевания асфальтобетонной смеси, которая состоит из битумного связующего (смесь битума и минерального порошка) и заполнителей — мелкого (песка) с размерами зерен $D \leq 5$ мм и крупного с $D = 5–40$ мм (щебня или гравия). Асфальтовые бетоны подразделяются на мелкозернистые ($D \leq 15$ мм), среднезернистые ($D \leq 25$ мм) и крупнозернистые ($D \leq 40$ мм).

Асфальтовые бетоны применяются для устройства дорожных, тротуарных, аэродромных покрытий, укрепления и гидроизоляции откосов

гидротехнических сооружений, для устройства полов в промышленных цехах, складских помещениях и других целей.

Укладку асфальтобетона осуществляют чаще всего в горячем состоянии. В некоторых случаях для верхних слоев дорожных покрытий или при ремонтных работах используют холодные составы на битумных растворителях (лигроине и др.). Иногда холодный асфальт изготавливается на битумной эмульсии.

Асфальтовый раствор. Если в составе заполнителей используется только песок, то материал называется асфальтовым раствором. Асфальтовый раствор содержит обычно 9–11 % битума по весу. Расход битума в асфальтобетонах равен примерно 4–9 %. Асфальтовый раствор используется в основном для тех же целей, но по сравнению с асфальтобетоном он обладает более высокой деформационной способностью, что требует применения высоковязких битумов.

13.8. Методы испытаний нефтяных битумов

Определение температуры размягчения. по методу «Кольцо и шар» по ГОСТ 11506–73. Перед испытанием битум обезвоживают нагреванием до температуры на 80–100 °С выше ожидаемой температуры размягчения. Расплавленный битум процеживают через сито, тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха и заливают в два кольца, разогретых до предполагаемой температуры размягчения битума. Кольца помещают на стеклянную пластинку, покрытую смесью декстрина с глицерином (1:3) или талька с глицерином (1:3). После охлаждения избыток битума срезают горячим ножом вровень с краями колец.

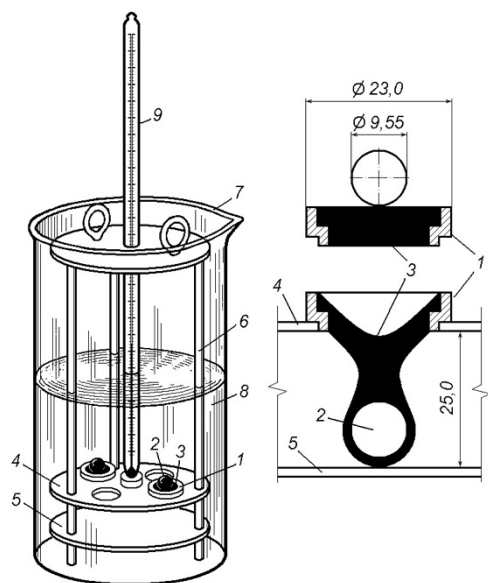


Рис. 13.6. Прибор "Кольцо и Шар" для определения температуры размягчения битума: 1 – кольцо; 2 – шар; 3 – битум; 4 – верхняя полочка; 5 – нижняя полочка; 6 – стойка штатива; 7 – стеклянный стакан; 8 – вода; 9 – термометр

Проведение испытания. Кольца с битумом устанавливают в отверстиях средней полочки штатива (рис. 3.6). По оси штатива устанавливают термометр так, чтобы ртутный резервуар располагался на одном уровне с битумом в кольцах. Штатив с образцами помещают в стеклянный стакан (баню), заполненный дистиллированной или кипяченной водой с температурой $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$. Уровень воды над кольцами должен быть не менее 50 мм. По истечении 15 мин штатив приподнимают, и на битум по центру

каждого кольца пинцетом кладут стальные шарики, охлажденные до $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$. Штатив с образцами опускают обратно в баню, избегая появления пузырьков воздуха на поверхности битума. Воду в стакане нагревают со скоростью $(5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ в минуту. При этом плоскость колец должна быть строго горизонтальной. Для обеспечения равномерности нагрева по высоте бани применяют механическую или ручную мешалку. Для битумов с температурой размягчения свыше 80°C в баню наливают смесь воды с глицерином (1:2); для битумов с температурой размягчения свыше 110°C в баню наливают глицерин.

Для каждого образца отмечают температуру, при которой шарик, продавливая битум, коснется нижней полочки прибора.

Определение глубины проникания иглы (пенетрации) по ГОСТ 11501–

78. Обезвоженный и расплавленный битум процеживают через металлическое сито и заливают в две пенетрационные чашки 3 (рис. 13.7) так, чтобы поверхность битума была не ниже верхнего края чашки более, чем на 5 мм, и

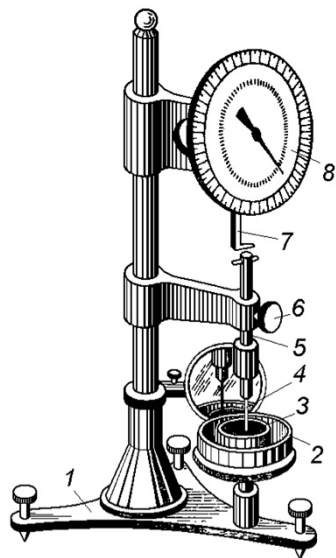


Рис. 13.7. Пенетромтр: 1 – основание; 2 – кристаллизатор с водой; 3 – чашка с битумом; 4 – игла; 5 – перемещающийся стержень с грузом; 6 – стопорный винт; 7 – кремальера; 8 – лимб

тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Образцы охлаждают на воздухе в течение 60–120 мин, затем помещают на 90–120 мин в баню для термостатирования при температуре 25 °С. Пенетромтр 1 устанавливают горизонтально по уровню и проверяют точность показаний измерителя глубины.

Проведение испытания. Температура битума при испытании должна составлять 25 °С. Поэтому после термостатирования образец битума помещают в плоскодонный сосуд 2 с водой вместимостью не менее 0,5 л,

наполненный водой с температурой 25 °С. Высота жидкости над поверхностью битума должна быть не менее 10 мм. Сосуд с образцом устанавливают на столик пенетромтра. Острые иглы 4 подводят к поверхности битума. Кремальеру 7 опускают вниз до соприкосновения со стержнем иглодержателя 5 и берут начальный отсчет по лимбу 8. Нажимают кнопку 6 и, удерживая ее, дают игле погружаться в течение 5 с. Кремальеру 7 снова доводят до соприкосновения со стержнем 5 и берут второй отсчет. Разность отсчетов в градусах пенетрации есть результат испытания (1 градус пенетрации равен глубине проникновения иглы 0,1 мм).

Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу промывают бензином или другим растворителем и вытирают насухо. За результат испытания

принимают среднее арифметическое значение трех (не менее) измерений. Результаты испытания округляют до целого числа.

Определение растяжимости (дуктильности) по ГОСТ 11505–75.

Перед испытанием битум обезвоживают нагреванием при помешивании стеклянной палочкой. Обезвоженный и расплавленный битум процеживают через металлическое сито и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха.

Проведение испытания.

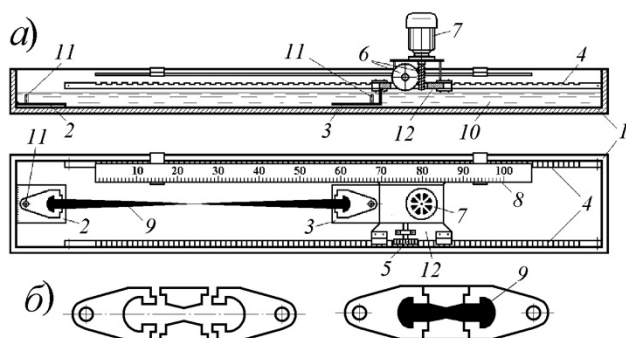


Рис. 13.8. Дуктилометр Дау-Смита (а) и разъемная форма (б): 1 – металлическая ванна; 2 – неподвижная опора; 3 – подвижная опора; 4 – кремальера (зубчатая рейка); 5 – шестерня; 6 – червячная пара; 7 – электродвигатель; 8 – измерительная линейка; 9 – битум; 10 – вода; 11 – штифт; 12 – каретка

Подготовленный битум расплавляют и наливают в латунные формы-восьмерки 9 (рис. 13.8), установленные на стеклянной пластинке. Заполненные формы охлаждают на воздухе и срезают излишек битума горячим ножом. Пластинку с образцами

помещают в ванну 10 дуктилометра 1 и выдерживают при температуре 25 °С в течение 1 ч. Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм. По истечении 1 ч формы с битумом снимают с пластинки и закрепляют в дуктилометре, надевая отверстия в проушинах формы на штифты 11, один из которых находится на неподвижной опоре 2, а другой — на перемещаемой опоре 3. После этого отнимают боковые части форм и включают электродвигатель 7, который через червячную пару 6 вращает шестерню 5 и перемещает салазки 12 по зубчатой рейке 4. Растягивают образец битума со скоростью 5 см/мин. По линейке 8 определяют длину образца битума (см) в момент разрыва.

13.9. Требования к нефтяным битумам

Марки нефтяных битумов и требования к ним согласно ГОСТ 22245–90

"Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия", ГОСТ 6617–2021
 «Битумы нефтяные строительные. Технические условия» и ГОСТ 9548–2023
 «Битумы нефтяные кровельные. Технические условия» приведены в табл.
 13.2.

Таблица 13.2 — Требования стандартов к нефтяным битумам

Вид битума	Марка битума	Пенетрация при 25 °С, град.	Температура размягчения, °С, не ниже	Растяжимость при 25 °С, см, не менее	Температура вспышки, °С, не ниже	Температура хрупкости, °С, не выше
Дорожные	БНД 200/300	201–300	35	–	220	- 20
	БНД 130/200	131–200	40	70	220	- 18
	БНД 90/130	91–130	43	65	230	- 17
	БНД 60/90	61–90	47	55	230	- 15
	БНД 40/60	40–60	51	45	230	- 12
	БН 200/300	201–300	33	–	220	- 14
	БН 130/200	131–200	38	80	230	- 12
	БН 90/130	91–130	41	80	240	- 10
	БН 60/90	60–90	45	70	240	- 6
Строительные	БН 50/50	41–60	50–60	40	230	–
	БН 70/30	21–40	70–80	3,0	240	–
	БН 90/10	5–20	90–105	1,0	240	–
Кровельные	БНК 40/180	160–210	37–44	–	240	–
	БНК 45/190	160–220	40–50	–	240	–
	БНК 90/30	25–35	80–95	–	240	- 10

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

ВШ Промышленно-гражданского и дорожного строительства

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине " Строительные материалы "

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЯ
ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ**

Вариант № _____

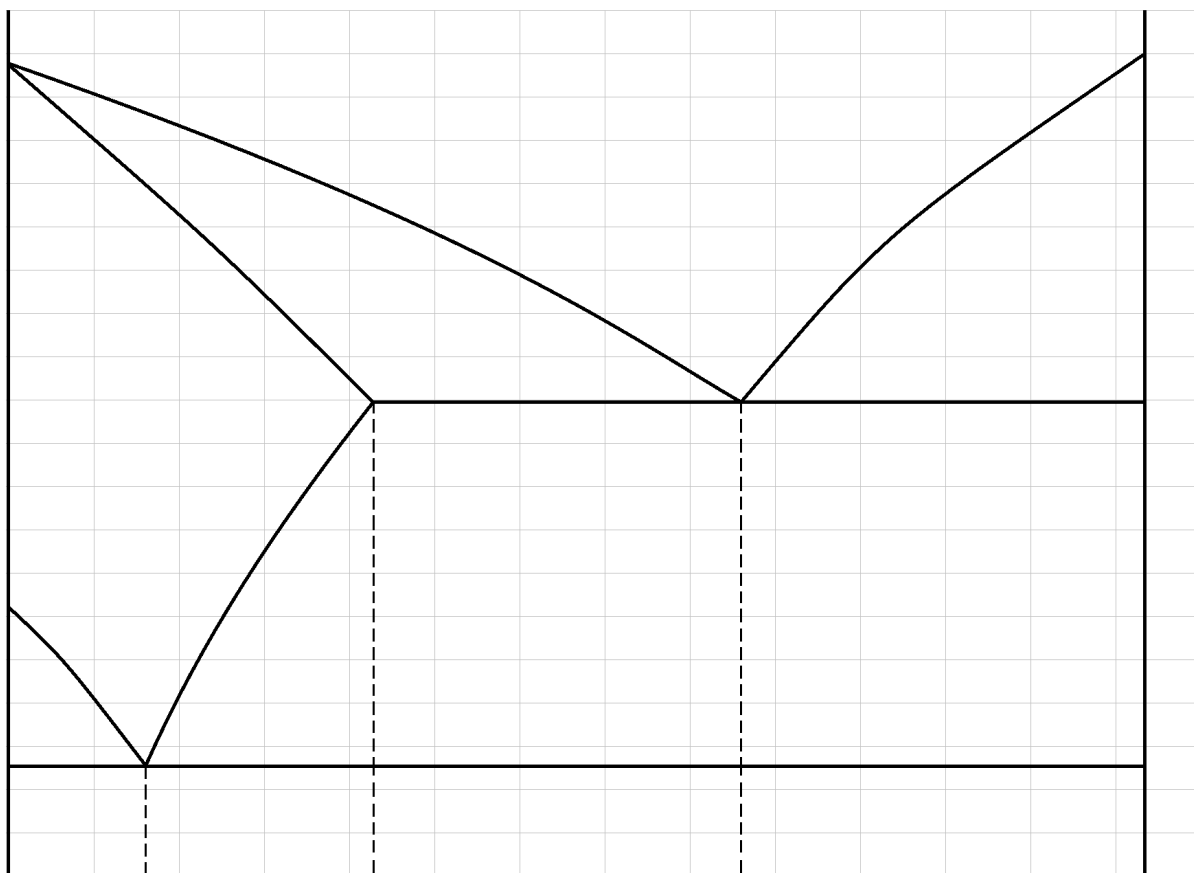
Выполнил студент _____

Группы _____

Принял _____

Санкт-Петербург

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов



ЗАДАНИЕ

Данная работа заключается в решении задач с использованием диаграммы Fe-C. Работа выполняется на стандартном бланке, который следует распечатать с прилагаемого файла. Бланк содержит рисунок диаграммы, выполненный в масштабе и три таблицы для заполнения.

1. На рисунке диаграммы необходимо нанести шкалы осей, названия осей и единицы измерения шкал. На температурных осях нужно нанести значения температуры линий эвтектических и эвтектоидных превращений; на оси составов указать символы фаз и структурных составляющих и содержание в них углерода; указать фазы и структурные составляющие в каждой области диаграммы.

2. Во все таблицы нужно внести исходные данные согласно заданному варианту (см. приложение «Варианты задания»). Номер варианта указывает преподаватель.

Задается 6 составов сплава (содержание углерода в сплаве, %) и по 3 значения температуры для каждого состава, при которых предположительно данный состав находится в равновесном состоянии. Каждый состав отмечается на диаграмме вертикальной пунктирной линией (всего 6 линий). На каждую пунктирную линию наносятся три точки, обозначающие заданные значения температуры.

3. Определить температуры начала и конца кристаллизации каждого сплава и температуры начала и конца разложения аустенита в сплаве каждого из 6 заданных составов. Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты определения критических температур в системе Fe-C

№ п/п	Наименование сплава	Содержание углерода в сплаве, %	Температура, °C			
			кристаллизации		разложения аустенита	
			начало	конец	начало	конец
1	Доэвтектойдная сталь					
2	Эвтектойдная сталь					
3	Заэвтектойдная сталь					
4	Доэвтектический чугун					
5	Эвтектический чугун					
6	Заэвтектический чугун					

4. В табл. 2 указать наименования фаз и структурных составляющих, из которых состоит каждый сплав при заданной температуре (графа 4).

Определить процентное содержание каждой фазы и структурной составляющей в сплаве при данной температуре. Результаты занести в графу 5.

Определить содержание углерода в каждой фазы и структурной составляющей при данной температуре. Результаты занести в графу 6.

Таблица 2 – Результаты определения фазового состава сплава и химического состава фаз и структурных составляющих

№ п/	Сплав		Фазы и структурные составляющие сплава		
	Наименование	Температура, °С	Наименование (полное)	Содержание в сплаве, %	Содержание углерода, %
1	2	3	4	5	6
1	Доэвтектойдная сталь, содержащая _____% С				
2	Эвтектойдная сталь				
3	Заэвтектойдная сталь, содержащая _____% С				

Таблица 2 (продолжение)

№ п/	Сплав		Фазы и структурные составляющие сплава		
	Наименование	Температура, °С	Наименование (полное)	Содержание в сплаве, %	Содержание углерода, %
1	2	3	4	5	6
	Доэвтектический чугун, содержащий _____% С				
	Эвтектический чугун				
	Зэвтектический чугун, содержащий _____% С				

5. В табл. 3 нарисовать карандашом структуру стали трех заданных составов. Площади рисунков, занятые отдельными фазами и структурными

составляющими должны соответствовать процентному содержанию фаз и структурных составляющих в сплаве. На рисунках указать фазы и их процентное содержание в сплаве

Таблица 3 – Структуры стали

Состав стали	Структура
Доэвтектойдная сталь, содержащая _____% С	
Эвтектойдная сталь	
Заэвтектойдная сталь, содержащая _____% С	

--	--

Приложение 2. Варианты заданий

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ И УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ «РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ»

Расчетно-графическая работа «Решение задач по диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов» выполняется в табличной форме на прилагаемом бланке.

Постановка задачи

Задано: 6 составов сплава и по 3 температуры для каждого состава.

Определить:

1. Наименование фаз и структурных составляющих, из которых состоит каждый сплав при заданной температуре.
2. Процентное содержание каждой фазы и структурной составляющей в сплаве при данной температуре.
3. Состав каждой фазы и структурной составляющей (содержание углерода) в сплаве при данной температуре.
4. Нарисовать (условно) структуру стали трех заданных составов.

Варианты исходных данных для расчета

Вариант	Показатели	Сталь			Чугун		
		доэвтектоидная	эвтектоидная	заэвтектоидная	доэвтектический	эвтектический	заэвтектический
1	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,4	2,5	4,3	5,6
	Температура, °C	1400	1425	1000	1350	1150	1350
		750	727	800	1100	750	1050
		700	650	600	550	500	450
2	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,6	2,3	4,3	5,8
	Температура, °C	950	1450	1350	1350	1175	1225
		750	727	850	1050	775	1100
		420	650	340	700	725	725
3	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,0	2,8	4,3	4,8
	Температура, °C	1350	1400	1450	1250	1190	1175
		775	727	750	1050	785	1100
		725	600	500	300	200	100
4	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,8	2,9	4,3	5,8
	Температура, °C	1250	1100	1200	1250	1300	1175

		760	727	950	1100	795	1050
		300	725	0	725	700	450
5	Содержание углерода, %	0,3	0,8	0,9	2,4	4,3	6,0
	Температура, °C	1275	1050	950	1200	1310	1450
		800	727	727	1146	805	1100
		200	500	600	300	725	0
6	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,6	2,6	4,3	5,8
	Температура, °C	1350	1350	1400	1175	1570	1350
		775	727	800	825	995	850
		725	0	500	650	700	720
7	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,0	2,7	4,3	5,5
	Температура, °C	975	1300	1400	1175	1560	1225
		800	727	750	850	1005	825
		0	300	725	400	700	50
8	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,1	3,0	4,3	5,0
	Температура, °C	1000	1250	1500	1175	1540	1175
		730	727	750	850	1115	825
		50	20	500	0	725	700
9	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,2	3,9	4,3	5,4
	Температура, °C	1225	1450	1425	1148	1530	1175
		750	727	825	825	1020	850
		0	725	700	50	20	500
10	Содержание углерода, %	0,7	0,8	1,3	3,1	4,3	4,8
	Температура, °C	1025	1150	1600	1175	1520	1225
		730	727	800	800	1030	825
		50	20	500	0	725	700
11	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,4	3,8	4,3	4,6
	Температура, °C	1000	1000	1100	1175	1035	1150
		750	720	728	750	850	900
		200	400	0	725	700	600
12	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,5	3,2	4,3	4,5
	Температура, °C	1050	950	1300	1200	1150	1150
		740	727	825	1050	825	1050
		300	0	725	700	500	650
13	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,7	3,7	4,3	4,7
	Температура, °C	1100	800	1300	1150	1325	1175
		750	727	750	1000	835	1025
		100	150	725	600	0	450
14	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,2	3,3	4,3	5,1
	Температура, °C	1150	750	1400	1150	1350	1150
		750	727	800	1025	845	1000
		550	725	600	0	720	300
15	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,8	3,6	4,3	5,3
	Температура, °C	1225	1450	1250	1150	1375	1150
		775	727	850	975	855	1000
		458	326	710	725	600	0
16	Содержание углерода, %	0,7	0,8	1,0	3,4	4,3	5,5
	Температура, °C	1275	850	1425	1150	1390	1150
		730	727	730	1025	865	1025
		250	725	700	0	500	20

17	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,3	3,5	4,3	5,7
	Температура, °C	1075	1450	1350	1150	1490	1200
		760	727	1250	950	900	1000
		0	725	700	400	200	300
18	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,6	2,4	4,3	4,9
	Температура, °C	1125	900	1250	1175	1510	1150
		750	727	900	775	1045	800
		150	25	0	725	700	50
19	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,8	2,9	4,3	5,0
	Температура, °C	1175	1425	1100	1275	1480	1150
		750	727	950	800	1055	775
		725	600	0	400	300	200
20	Содержание углерода, %	0,6	0,8	2,0	2,5	4,3	5,2
	Температура, °C	1200	775	1125	1275	1470	1150
		740	727	727	750	1065	750
		700	55	725	600	0	245
21	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,2	2,8	4,3	5,4
	Температура, °C	1250	800	1100	1275	1460	1150
		775	727	750	1025	1075	1025
		125	725	700	0	50	20
22	Содержание углерода, %	0,7	0,8	0,9	2,6	4,3	5,6
	Температура, °C	1300	875	1000	1275	1440	1150
		730	727	727	1000	1085	1000
		125	0	700	400	725	75
23	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,7	2,7	4,3	5,6
	Температура, °C	1325	900	1350	1150	1400	1200
		740	727	900	1025	875	1025
		150	250	725	0	100	200
24	Содержание углерода, %	0,4	0,8	2,0	3,8	4,3	5,4
	Температура, °C	925	950	1250	1150	1425	1200
		740	727	1100	975	885	1000
		354	36	200	725	700	140
25	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,1	2,5	4,3	5,3
	Температура, °C	975	1100	1400	1200	1450	1200
		730	727	750	1000	895	975
		420	600	725	0	300	550
26	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,3	3,0	4,3	4,9
	Температура, °C	1025	1200	1375	1200	1475	1200
		750	727	775	975	905	950
		200	300	600	725	0	20
27	Содержание углерода, %	0,7	0,8	1,5	2,2	4,3	5,6
	Температура, °C	1075	1300	1300	1200	1500	1250
		730	727	825	950	915	925
		400	300	25	0	725	600
28	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,7	3,2	4,3	4,6
	Температура, °C	1125	1400	1400	1200	1525	1148
		740	727	800	925	925	950
		250	600	700	400	300	650
29	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,6	3,4	4,3	5,8
	Температура, °C	1350	925	1300	1200	1430	1200

		740	727	825	1000	1095	775
		250	725	230	69	0	600
30	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,9	2,3	4,3	5,5
	Температура, °C	950	1000	1350	1325	1420	1200
		750	727	950	800	1105	800
		520	720	70	60	0	725
31	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,2	2,9	4,3	5,2
	Температура, °C	1000	1150	1350	1225	1410	1200
		760	727	775	800	1115	1000
		560	350	0	200	600	725
32	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,4	3,8	4,3	5,1
	Температура, °C	1050	1250	1200	1175	1380	1200
		760	727	800	750	1125	800
		20	60	150	725	600	200
33	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,6	2,5	4,3	4,8
	Температура, °C	1100	1350	1200	1325	1370	1200
		800	727	800	1100	1135	1100
		600	725	650	0	20	350
34	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,8	4,0	4,3	5,5
	Температура, °C	1150	1425	1500	1148	1360	1300
		750	727	1000	900	935	925
		340	725	0	350	20	75
35	Содержание углерода, %	0,7	0,8	1,9	2,4	4,3	5,8
	Температура, °C	1175	1450	1450	1200	1550	1300
		730	727	950	925	945	900
		0	725	320	65	450	180
36	Содержание углерода, %	0,4	0,8	1,0	3,6	4,3	4,5
	Температура, °C	1225	1425	1500	1200	1575	1150
		750	727	727	900	955	875
		180	0	650	725	250	75
37	Содержание углерода, %	0,6	0,8	1,5	2,6	4,3	5,0
	Температура, °C	1300	750	1500	1200	1600	1275
		750	727	900	875	965	900
		725	625	400	20	325	0
38	Содержание углерода, %	0,5	0,8	1,2	3,4	4,3	6,0
	Температура, °C	1325	950	1500	1225	1590	1450
		750	727	750	900	975	875
		725	0	100	650	20	200
39	Содержание углерода, %	0,7	0,8	1,6	4,0	4,3	5,4
	Температура, °C	975	1000	1350	1148	1580	1325
		730	727	800	875	985	850
		600	700	725	550	430	20
40	Содержание углерода, %	0,3	0,8	1,9	3,8	4,3	4,7
	Температура, °C	1200	1400	1450	1150	1340	1200
		820	727	1000	875	1145	1050
		125	325	725	575	80	0