



**Н.А. МАШКИН
О.А. ИГНАТОВА**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КРАТКИЙ КУРС

НОВОСИБИРСК 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

Н.А. Машкин, О.А. Игнатова

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КРАТКИЙ КУРС

*Рекомендовано Новосибирским региональным
отделением УМО вузов Российской Федерации
по образованию в области строительства
в качестве учебного пособия для студентов
заочной формы обучения и второго высшего образования
по направлению 270800.62 «Строительство»*

НОВОСИБИРСК 2012

УДК 691

ББК 38.3

М 383

Машкин Н. А.

Строительные материалы. Краткий курс : учеб. пособие /
/ Н. А. Машкин, О. А. Игнатова ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т
(Сибстрин). – 2-е изд., перераб. – Новосибирск : НГАСУ
(Сибстрин), 2012. – 200 с.

ISBN 978-5-7795-0617-5

Учебное пособие представляет собой краткий курс лекций и содержит основные сведения о современных строительных материалах. Представлены краткие данные о структуре, свойствах материалов, основах технологии их производства, области эффективного применения.

Пособие предназначено для студентов заочной формы обучения по направлению 270800.62 «Строительство», а также для слушателей, обучающихся по системе подготовки второго высшего образования, и специалистов строительной отрасли.

Второе переработанное издание, 2001 г.

Печатается по решению издательско-библиотечного совета
НГАСУ (Сибстрин)

Рецензенты:

- П.М. Плетнев, д-р техн. наук, профессор СГУПС;
- А.П. Пичугин, д-р техн. наук, профессор НГАУ

ISBN 978-5-7795-0617-5 © Машкин Н.А., Игнатова О.А., 2012

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2012

Учебное издание

Машкин Николай Алексеевич
Игнатова Ольга Арнольдовна

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КРАТКИЙ КУРС

Учебное пособие

ISBN 978-5-7795-0617-5



Темплан 2012 г.

Редактор Э.Е. Полякова

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 54.НС.05.953.П.006252.06.06 от 26.06.2006 г.
Подписано к печати 21.12.2012. Формат 60×84 1/16 д.л.
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Ризография.
Объем 11,9 уч.-изд.л.; 12,75 п.л. Тираж 300 экз. Заказ №

Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано мастерской оперативной полиграфии
НГАСУ (Сибстрин)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
1.1. Классификация.....	11
1.2. Физические свойства	12
1.3. Механические свойства.....	16
1.4. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий.....	20
2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
2.1. Общие сведения о природных каменных материалах.....	24
2.2. Основные породообразующие минералы.....	25
2.3. Горные породы.....	28
2.4. Производство каменных строительных материалов	33
3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	
3.1. Общие сведения о минеральных вяжущих.....	39
3.2. Основы технологии производства минеральных вяжущих.....	40
3.3. Воздушные вяжущие вещества	
3.3.1. Известь воздушная	41
3.3.2. Гипсовые вяжущие.....	43
3.3.3. Магнезиальные вяжущие.....	45
3.3.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент	47
3.4. Гидравлические вяжущие вещества	
3.4.1. Портландцемент	48
3.4.2. Специальные виды цементов	57
3.4.3. Вяжущие вещества автоклавного твердения.....	59
4. БЕТОНЫ	
4.1. Общие сведения и классификация бетонов.....	61
4.2. Материалы для тяжелого бетона	64

4.2.1. Цемент	64
4.2.2. Мелкий заполнитель	64
4.2.3. Крупный заполнитель	67
4.2.4. Добавки для бетонов	69
4.3. Бетонные смеси и их свойства	71
4.4. Твердение бетона	74
4.5. Свойства бетона	76
4.6. Методика подбора состава бетона	80
4.7. Основы технологии бетонов	82
4.8. Специальные виды тяжелых бетонов	85
4.9. Легкие бетоны	87
4.10. Железобетон	90
4.11. Силикатные изделия автоклавного твердения	98
 5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	
5.1. Общие сведения	101
5.2. Кладочные и отделочные растворы	104
5.3. Специальные растворы.....	105
 6. СТЕКЛО И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ	
6.1. Состав и основные свойства стекла	108
6.2. Изделия из стекла.....	110
6.3. Ситаллы и литые каменные изделия.....	118
 7. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА	
7.1. Общие сведения о керамических строительных материалах	120
7.2. Основы производства керамических материалов	124
7.3. Керамические изделия.....	125
 8. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ	
8.1. Общие сведения о древесине	135
8.2. Свойства древесины	138
8.3. Методы повышения долговечности древесины.....	141
8.4. Строительные изделия из древесины.....	143

9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
9.1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах	146
9.2. Органические теплоизоляционные материалы	148
9.3. Неорганические теплоизоляционные материалы	152
9.4. Акустические материалы	157
10. КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ	
10.1. Общие сведения о гидроизоляционных материалах	161
10.2. Органические связующие	162
10.3. Рулонные материалы	166
10.4. Мастики, бетоны и герметики	171
11. ПОЛИМЕРНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
11.1. Общие сведения о полимерах и пластмассах	180
11.2. Технология и свойства полимерных материалов	184
11.3. Полимерные материалы и изделия в строительстве	186
12. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
12.1. Назначение лакокрасочных материалов	193
12.2. Классификация лакокрасочных материалов	194
12.3. Компоненты и их назначение	196
12.4. Общие технические свойства	198
12.5. Технология лакокрасочных материалов	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	202
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	203

ВВЕДЕНИЕ

Строительный материал – продукция природного происхождения или изготовленная в условиях промышленного производства, предназначенная для изготовления в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий и сооружений, строительных конструкций этих зданий и сооружений, выполнения защитных и отделочных покрытий зданий и сооружений, а также для изготовления в условиях промышленного производства строительных изделий и строительных конструкций.

Строительное изделие – это изготовленная из строительных материалов в условиях промышленного производства продукция, предназначенная для применения в качестве элемента строительных конструкций, зданий и сооружений.

Строительная конструкция – это изготовленная из строительных материалов или изделий в условиях промышленного производства часть зданий или сооружений, выполняющая определенные несущие, ограждающие или эстетические функции.

Номенклатура – перечень названий основных видов готовой продукции.

Сырье, сырьевые материалы – исходные вещества или их смеси (***сырьевая смесь***) из двух или большего числа компонентов, которые перерабатываются для получения строительных материалов и изделий.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Классификация

При изучении курса строительных материалов могут рассматриваться различные классификации строительных материалов: по роду сырья, из которого производятся материалы, общности технологических процессов их изготовления, функциональному назначению и областям применения. Например, по назначению строительные материалы можно подразделить на:

<i>Конструкционные:</i>	– природные каменные материалы; – искусственные каменные материалы (бетон, раствор, керамика, стекло); – металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы); – пластмассы; – древесные материалы; – композиционные материалы (асбестоцемент, бетонополимеры, стеклопластики)
<i>Специального назначения:</i>	– вяжущие вещества; – теплоизоляционные; – акустические; – гидроизоляционные; – отделочные; – материалы для пола и дорожные; – огнеупорные; – для защиты от радиации

В свою очередь, свойства строительных материалов зависят от их *состава и структуры*:

<i>Составы:</i>	– химический (химические элементы); – минералогический (минералы); – фазовый (агрегатный); – вещественный (компоненты – вещества)
-----------------	---

Структура определяется пространственным расположением атомов и молекул:

1.	<i>Макроструктура</i> (видимая невооруженным глазом):	– плотная; – конгломератная; – ячеистая; – мелкопористая; – волокнистая; – слоистая; – рыхло-зернистая
2.	<i>Микроструктура</i> (видимая под оптическим микроскопом)	– кристаллическая; – аморфная
3.	<i>Внутреннее строение</i> (определяется рентгено-структурным анализом, электронной микроскопией):	– атомы; – молекулы

Свойства материалов: физические (*параметры состояния, гидрофизические, теплофизические, защитные*); механические; технологические.

1.2. Физические свойства

<i>Параметры состояния</i>	
1. <i>Плотность:</i>	– абсолютная (истинная) $\rho = m/V_a$ – масса единицы объема абсолютно плотного материала (г/см^3, кг/м^3): $\rho = 1\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$ – органические материалы; $\rho = 2,2\text{--}3,3 \text{ г/см}^3$ – неорганические материалы; – средняя $\rho_m = m/V_e$, масса единицы объема материала в естественном состоянии: $\rho_m = 15 \text{ кг/м}^3$ – пенопласт; 500 кг/м^3 – древесина; 2400 кг/м^3 – бетон; 7850 кг/м^3 – сталь;

	– насыпная $\rho_n = m/V_n$, масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых или волокнистых материалов: $\rho_n = 1600 \text{ кг/м}^3$ – песок; $1100\text{--}1300 \text{ кг/м}^3$ – цемент; $250\text{--}1100 \text{ кг/м}^3$ – легкие заполнители
2. Пористость:	$\Pi = (1 - \rho_m/\rho) \cdot 100 \%$ – степень заполнения объема материала порами; $\Pi = 0 \%$ – стекло, битум, сталь, полимеры; $0,2\text{--}0,8 \%$ – гранит; $5\text{--}7 \%$ – тяжелый бетон; $75\text{--}85 \%$ – газобетон; $90\text{--}98 \%$ – пенопласты Поры бывают открытые и закрытые.
3. Удельная поверхность:	Площадь поверхности зерен $S_{y\phi}$ ($\text{см}^2/\text{г}$, $\text{м}^2/\text{кг}$): $S_{y\phi} = 300\text{--}500 \text{ м}^2/\text{кг}$ – цемент; $18\text{--}40 \text{ м}^2/\text{кг}$ – песок.
Гидрофизические свойства	
1. Гигроскопичность	– свойство материала впитывать водяной пар из влажного воздуха (сорбционная влажность)
2. Капиллярное всасывание	– свойство капиллярно-пористого материала поглощать воду при одностороннем контакте, характеризуется высотой подъема воды в материале
3. Водопоглощение	– способность материала впитывать и удерживать воду при контакте с ней всем объемом: – по массе $W_m = (\Delta m/m_c) \cdot 100 \%$; – по объему $W_v = (\Delta m/V_e \cdot \rho_e) \cdot 100 \%$
4. Коэффициент размягчения:	$K_{разм} = R_{вл}/R_{сух}$; $K_{разм} \geq 0,8$ – водостойкие материалы
5. Водонепроницаемость	– способность материала не пропускать воду под давлением. Марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W12 (давление воды в атмосферах)

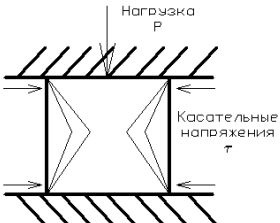
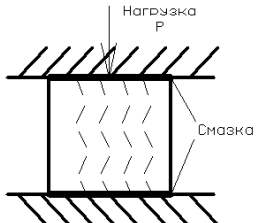
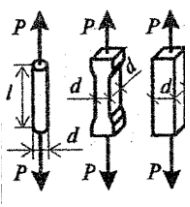
6. Газо- и паро-проницаемость	– способность материалов пропускать через свою толщину водяной пар или воздух (газы) при разности давлений на противоположных поверхностях материала; характеризуется коэффициентом паропроницаемости μ , мг/(м·с·Па)
7. Влажностные деформации	– изменение размеров тела при изменении влажности материала. $\varepsilon = \Delta l/l$ (мм/м, мм/мм, %). Различают деформации усадки и набухания
8. Морозостойкость	– способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и понижения прочности, характеризуется количеством циклов: F15, F25, F35, F50, ..., F500 Температура замораживания – 15–20 °С; снижение прочности ΔR – до 5 %; потеря массы Δm – до 5 %
Теплофизические свойства	
1. Теплопроводность:	$\lambda = q \cdot d / \Delta T$ Вт/(м·°С), где q – плотность теплового потока, Вт/м ² ; d – толщина, м; ΔT – температурный перепад. Ед. измерения – Вт/(м·°С). – Теплоизоляционные материалы – менее 0,175; – кирпич керамический – 0,8–0,9; – бетон тяжелый – 1,3–1,6; – гранит – 2,9–3,3 Вт/(м·°С) Эмпирические формулы для расчета теплопроводности: – формула Некрасова: $\lambda = 1,16 \left(\sqrt{0,0196 + 0,22\rho_m^2} - 0,16 \right);$ – для пенопластов: $\lambda = 0,026 + 0,00008 \rho_m$; – минераловатных изделий: $\lambda = 1,16 (0,03 + 0,00007 \cdot \rho_m)$

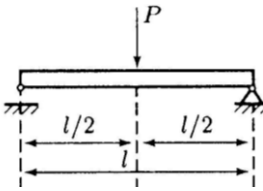
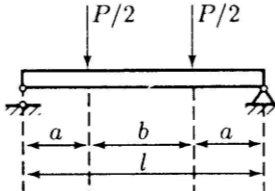
2. Термическое сопротивление:	$R = \delta/\lambda$ ($\text{м}^2 \text{°C/Вт}$), где δ – толщина слоя материала
3. Температурные деформации	– изменения размеров изделия при изменении его температуры $l_t = l_0 (1 + \alpha_t t)$, где α_t – коэффициент линейного температурного расширения (°C^{-1} , 1/град): $\alpha_t = (10\text{--}12) \cdot 10^{-6}$ – бетон и сталь; $(8\text{--}10) \cdot 10^{-6}$ – гранит; $(3\text{--}5) \cdot 10^{-6}$ – древесина; $(25\text{--}120) \cdot 10^{-6}$ – полимеры
4. Огнестойкость	– способность материалов противостоять действию огня при пожаре в течение определенного времени без существенного снижения прочности и значительных деформаций
5. Пожарная опасность	– основывается на разделении строительных материалов по свойствам, способствующим возникновению опасных факторов пожара и его развитию (<i>горючесть, воспламеняемость, дымообразующая способность, распространение пламени, токсичность</i>). <i>Негорючие</i> материалы (НГ) – под воздействием огня и высокой температуры не горят, не воспламеняются и не тлеют (бетон, кирпич, сталь). <i>Горючие</i> (Г) материалы подразделяют на четыре группы: Г1 (слабо-горючие); Г2 (умеренногорючие); Г3 (нормальногорючие); Г4 (сильно-горючие)

6. <i>Огнеупорность</i>	– способность материала выдерживать длительные воздействия высоких температур без разрушения и деформаций (без плавления): – менее 1350 °С – легкоплавкие; – 1350–1580 °С – тугоплавкие; – 1580–2000 °С – огнеупорные; – более 2000 °С – высшей огнеупорности
<i>Защитные свойства</i>	
1. <i>Радиационная стойкость</i>	– оценивается толщиной слоя половинного ослабления излучения
2. <i>Кислото- и щелочестойкость</i>	– свойства материалов, характеризующие способность противостоять разрушающему действию кислот и щелочей. Определяются по потере массы и прочности материала (%) при обработке растворами кислот или щелочей

1.3. Механические свойства

1. <i>Деформация</i>	– изменение формы и размеров тела под действием внешних сил $\varepsilon = \Delta l / l$ (мм/м, мм/мм, %)
2. <i>Упругость</i>	– свойство материала восстанавливать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Такие деформации называют <i>обратимыми</i> . Пример – сталь
3. <i>Пластичность</i>	– свойство материала при нагружении в значительных пределах изменять форму без образования трещин и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Такие деформации называют <i>необратимыми</i> . Пример – битум
4. <i>Хрупкость</i>	– свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без предварительной деформации. Хрупкими являются бетон, керамика, стекло, чугун

5. Прочность	– способность материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих в нем под действием внешних нагрузок
6. Предел прочности	– R – критическое напряжение, при котором наступает разрушение материала (нарушение сплошности). Если $P_{раз}$ в кгс, а S в см^2 , то R – в кгс/см^2 ; $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$ ($\text{Н/м}^2 = \text{Па}$)
7. Предел прочности при сжатии	– $R_{сж} = P_{раз}/S$ (МПа) равен частному от деления разрушающей силы $P_{раз}$ на площадь поперечного сечения образца S (куба, цилиндра). Зависит от размеров образца, скорости нагружения и т.д. а)  б)  Рис. 1.1. Характер разрушения образцов при сжатии: а – стандартный; б – с устранением сил трения
8. Прочность на растяжение	 $R_p = P/S$ (МПа) Рис. 1.2. Схемы испытаний на растяжение: стержня, восьмерки, призмы

9. Прочность при изгибе	а)  $R_{изг} = 3Pl/(2bh^2)$ б)  $R_{изг} = Pl/(2bh^2)$ Рис. 1.3. Схемы испытаний на статический изгиб: а – при приложении одной сосредоточенной изгибающей силы (хрупкие материалы – бетон, кирпич, цементный камень); б – при двух силах (пластичные материалы – древесина, сталь); <i>l</i> – расстояние между опорами; <i>b</i> и <i>h</i> – ширина и высота
	По прочности материалы разделяют на марки и классы. Марка бетона М – это предел прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 150 мм, изготовленных из бетонной смеси и твердевших в течение 28 суток в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W_{отн} \geq 90\%$), кг/см^2. Марки прочности для цемента: М400, 500, 550, 600. Разница между классом и маркой состоит в обеспеченности принятой величины. Для <i>марки</i> обеспеченность составляет 0,5 (принимается среднестатистическая величина). <i>Класс прочности на сжатие</i> В является гарантированным (с обеспеченностью 0,95) сопротивлением сжатию, МПа.
10. Коэффициент конструктивного качества	$K.K.K. = R/\rho_e$; <i>K.K.K.</i> = 17 – бетон тяжелый; 51 – сталь Ст3; 200 – древесина (сосна); 225 – стеклопластик

11. <i>Твердость</i>	– способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела (поверхностная прочность). Для природных каменных материалов определяется по относительной шкале твердости Мооса. Твердость древесины, металлов, бетона определяют, вдавливая стальной шарик на специальных приборах. $HB = P/S$, где P – нагрузка, S – площадь отпечатка, Н/мм²
12. <i>Ударная вязкость</i>	– способность сопротивляться ударным нагрузкам. Оценивается R_{y0} по работе, затраченной на разрушение материала, отнесенной к единице объема или площади образца (динамическая прочность): $R_{y0} = A/V$ Дж/м³ или $R_{y0} = A/S$ Дж/м² (для фундаментов машин, полов промзданий, мостов)
13. <i>Истираемость</i>	– способность материала сопротивляться истирающим воздействиям. Сопротивление истиранию определяют для полов, дорожных покрытий, лестничных маршей и др. Степень истирания материала выражают потерей массы образца, отнесенной к площади истирания: $I = \Delta m/S$ (г/см², г/м²)

Кроме этого, на производство и применение строительных материалов влияют **технологические свойства**, которые характеризуют способность материалов подвергаться обработке и переработке (шлифоваться и полироваться, изменять форму, плавиться, уплотняться и т.д.).

Эксплуатационные свойства – прежде всего, *долговечность* – свойство сохранять работоспособность изделия и конструкции до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. *Долговечность* измеряют предельным сроком

службы без потерь эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и режимах эксплуатации.

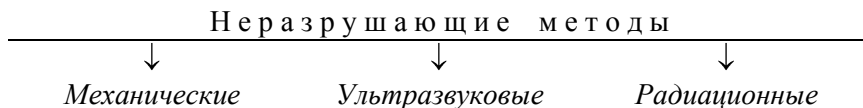
Санитарно-гигиенические требования к материалам

При производстве и эксплуатации строительных материалов могут выделяться вредные вещества. Их допустимое количество оценивается по предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны, в жилом помещении – в мг/м^3 . Например, ПДК в рабочей зоне: фенола – 0,3, формальдегида – 0,5, углекислого газа – 300 мг/м^3 .

1.4. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий

Кроме разрушающих методов определения прочности, с целью контроля качества материалов могут использоваться неразрушающие методы.

Неразрушающие методы испытаний основаны на взаимосвязи прочности с какой-либо другой характеристикой материала, определяемой с помощью физических приборов или ударных инструментов.



Механические методы

1. *Огнестрельный метод*: а) если объем воронки от револьверной пули 1 см^3 , то прочность бетона – 30 МПа (1930-е годы); б) позднее для этого использовали строительно-монтажный пистолет, с помощью которого загоняли дюбели длиной 60 мм и диаметром 5,5 мм. В зависимости от глубины проникновения определялась марка бетона.

2. *Метод процарапывания* – по твердости при процарапывании зубилом (штрихи до 1 мм – 10–20 МПа; малозаметные штрихи – более 20 МПа).

3. *Метод простукивания* – простукивание молотком (бетоны – до 20 МПа), вес молотка 300–400 г. До 10 МПа – звук глухой, остается вмятина с плавными краями; 10–20 МПа – звук чистый, беловатый след; более 20 МПа – звук звонкий, едва заметный след.

4. *Метод толчения* – кусочки цементно-песчаного раствора из бетонной конструкции разбивают с помощью специального копра до определенной величины зерен.

5. *Метод выдергивания металлических стержней* – прочность определялась по величине усилия при выдергивании арматурных стержней.

6. *По поверхностной твердости.* Используется шариковый молоток массой 250 г при локтевом ударе. Подобный принцип использован в молотке Кашкарова.

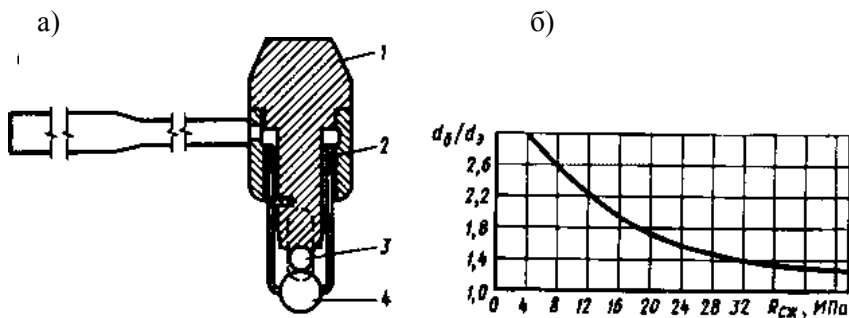


Рис. 1.4. Неразрушающий механический метод контроля прочности бетона: а – эталонный молоток Кашкарова; б – градуировочный график для определения прочности бетона;
1 – корпус; 2 – подпружиненный стакан;
3 – эталонный стержень; 4 – шарик

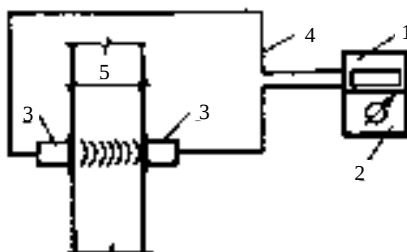
7. *Принцип упругого отскока.* О прочности бетона судят по величине упругого отскока металлического бойка от поверхности бетона (молоток Шмидта).

Ультразвуковая дефектоскопия

1. *Теневой метод* (контроль пустот и дефектов).

2. *Импульсный метод* позволяет контролировать прочность. Дефекты – в зависимости от скорости прохождения ультразвука через бетон и характера их поглощения.

а)



б)

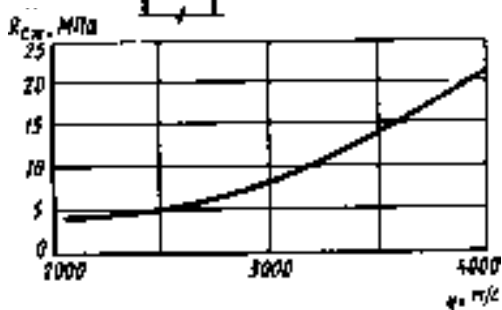


Рис. 1.5. Неразрушающий акустический метод определения прочности бетона: а – ультразвуковая дефектоскопия; б – градуировочный график зависимости «прочность бетона – скорость прохождения ультразвука»; 1 – усилитель со шкалой цифровой индикации; 2 – источник ультразвуковых колебаний; 3 – щупы; 4 – кабели; 5 – толщина прозвучиваемой конструкции

3. *Резонансный* (контроль толщины изделий, дефектов). Если частота ультразвуковых колебаний совпадает с собственной частотой изделия, возникает резонанс. Если резонанс происходит на других частотах, это означает, что есть дефект.

Радиационная дефектоскопия

1. *Рентгено-дефектоскопия* – обнаружение дефектов путем просвечивания конструкций широким пучком рентгеновских лучей. Используется в медицине, в аэропортах.

2. *γ -дефектоскопия* – обнаружение дефектов путем просвечивания узким пучком γ -лучей. Изображение проецируется на специальный экран.

3. *Нейтронная дефектоскопия*. Для просвечивания очень толстых изделий, пластмасс, разнородных материалов.

2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Общие сведения о природных каменных материалах

Опыт применения природных каменных материалов в строительстве насчитывает много тысячелетий. Это обусловлено: широкой распространенностью материалов; достаточной простотой добычи и обработки; прочностью и долговечностью (первые признаки разрушения кристаллических каменных материалов появляются через 200–300 лет); хорошими гигиеническими свойствами; красивой фактурой, гаммой цветов; огнестойкостью.

Классификация природных каменных материалов



Горные породы – природные образования определенного состава и строения, т.е. минеральная масса, состоящая из одного (мономинеральная) или нескольких минералов (полиминеральная).

В зависимости от условий образования горные породы делят на три группы: 1) магматические – образовавшиеся в результате охлаждения и затвердения магмы; 2) осадочные – в поверхностных слоях земной коры из продуктов выветривания и разрушения горных пород; 3) метаморфические – под действием температуры и давления.

Минералы – однородные по химическому составу и физическим свойствам составные части горных пород (обычно имеют химическую формулу). Содержащиеся в составе горных пород минералы разделяют на породообразующие и второстепенные. Первые участвуют в образовании горных пород и обуславливают их свойства; второстепенные встречаются в них только в виде примесей.

2.2. Основные породообразующие минералы

Важнейшие свойства минералов:

1. *Кристаллографические очертания* (форма кристаллов): игольчатая (роговая обманка); волокнистая (асбест); листовая чешуйчатая (слюда, графит); кубовидная (галит) и другие.

2. *Цвет*: бесцветный (горный хрусталь); зеленый (малахит); красный (рубин), кварц – белый, розовый, дымчатый.

3. *Прозрачность*: прозрачные (горный хрусталь, исландский шпат); полупрозрачные (изумруд); непрозрачные (графит).

4. *Блеск*:

а) металлический (пирит);

б) неметаллический: алмазный (интенсивный); стеклянный (горный хрусталь, кальцит); жирный (кварц, тальк); перламутровый (слюда, полевой шпат); матовый (халцедон); шелковистый (асбест).

5. *Твердость*

Шкала твердости	Предмет для определения твердости	Формула
1. Тальк	Графит мягкого карандаша	$\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
2. Гипс	Ноготь	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
3. Кальцит	Бронзовая монета	CaCO_3
4. Флюорит	Железный гвоздь	(плавиковый шпат) CaF_2
5. Апатит	Стекло	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
6. Полевой шпат	Стальной нож	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
7. Кварц		SiO_2
8. Топаз		$\text{Al}_2(\text{Fe}, \text{OH})[\text{SiO}_4]$
9. Корунд		Al_2O_3
10. Алмаз		C

6. *Спайность* – способность раскалываться при ударе по кристаллографическим плоскостям:
- весьма совершенная степень (слюда, гипс, графит – пластинки);
 - совершенная (кальцит, полевой шпат – правильные формы);
 - средняя (роговая обманка, флюорит – обломки со следами спайности);
 - несовершенная (апатит – почти не видно плоскостей спайности);
 - весьма несовершенная (корунд, кварц – спайность отсутствует).
7. *Излом* – характеристика поверхности раскалывания:
- ступенчатый (кальцит, полевой шпат);
 - раковистый (горный хрусталь);

- землистый (асбест-серпентин);
- игольчатый (асбест);
- зернистый (мрамор);
- занозистый (роговая обманка).

8. *Плотность*: от 1 до 23 г/см³, у породообразующих минералов – 2,5–3,5.

Минералы магматических горных пород

Кварц – SiO₂; сжатие – 2000 МПа, растяжение – 100 МПа, плавление 1700 °С, цвет – белый, серый, прозрачный (горный хрусталь), фиолетовый (аметист), дымчатый (раухтопаз), черный (морион).

Полевые шпаты (светлоокрашенные) – 2/3 горной породы, прочность сжатия – 120–170 МПа:

– *ортоклаз* (прямораскалывающийся) – K₂O·Al₂O₃·6SiO₂, в кислых (гранитах) и средних (сиенитах), плавление 1450 °С;

– *плагиоклазы* (косораскалывающиеся) – Na₂O·Al₂O₃·6SiO₂ до 2SiO₂; основные породы – габбро, базальт; в процессе выветривания за счет взаимодействия с углекислотой образуется каолинит.

Роговая обманка (амфибол) – бурая, черная, занозный излом, цвет – янтарный, твердость 6, сопротивляется удару.

Слюда (алюмосиликаты) – твердость 2–3. Низкая морозостойкость пород.

– *мусковит* – калиевая слюда (бесцветный, тугоплавкий, химически стойкий минерал);

– *биотит* – магнезиально-железистая слюда черного цвета.

Минералы осадочных горных пород

Кремнеземы:

– *опал* – SiO₂·mH₂O – аморфный кремнезем, воды – 2–34 %, бесцветный, молочно-белый (желтый, голубой, черный), твердость 5–6, плотность 1,9–2,5 г/см³;

– *халцедон* – SiO_2 – волокнистый кварц (продукт кристаллизации опала), блеск матовый, плотность 2,6, твердость 6;

– кварц – SiO_2 – магматического происхождения и кварц осадочный.

Карбонаты:

– *кальцит* – CaCO_3 – бесцветный, белый (желтый, розовый, голубой), блеск стеклянный, плотность 2,7, вскипает в соляной кислоте;

– *доломит* $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – вскипает только в порошке и при нагреве, огнеупорен;

– *магнезит* MgCO_3 – бесцветный, белый, серый, желтый; огнеупорен.

Глинистые минералы:

– *каолинит* – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – твердость 1, жирный блеск; образуется при разложении полевых шпатов и слюд; входит в состав глин;

– *гидрослюды* – вермикулит; при обжиге увеличивается в объеме в 20 раз;

– *монтмориллонит* – сходен с каолинитом, но имеет особое строение кристаллической решетки, обуславливающее пластичность глин.

Сульфаты:

– *гипс* – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – белые кристаллы или слегка окрашенные, твердость 2, блеск стеклянный, плотность 2,3;

– *ангидрит* – CaSO_4 – белый, серый, голубой, блеск стеклянный, плотность 3.

2.3. Горные породы

Условия образования и взаимосвязь различных групп горных пород представлены на схеме.



По условиям охлаждения магмы **изверженные** горные породы подразделяются на группы в зависимости от разных признаков:

- **глубинные** (медленное остывание магмы в толще земной коры под значительным давлением верхних слоев) – гранит, сиенит, диорит, габбро;
- **излившиеся** (быстрое охлаждение магмы близко к поверхности или на поверхности земной коры) – порфиры, диабаз, базальт, вулканические стекла, пемза, туфы.

Различают *глубинные изверженные* породы:

- крупнозернистые – зерна более 5 мм;
- среднезернистые – 0,5–5,0 мм;
- мелкозернистые – менее 0,5 мм.

Гранит (кислая порода) – прочность 300 МПа; огнестойкость 600 %, растрескивается; пористость до 1,5 %, водопоглощение по объему 0,5 %. Состав: полевой шпат (ортоклаз) – 40–70 %; кварц – 20–40 %; слюда – 5–20 %. Гранит красный и серый (окраска зависит от цвета ортоклаза). Область применения – заполнители для тяжелого бетона, облицовка фасадов, плиты для пола, тротуарные плиты, бордюрный камень, опоры мостов и др.

Сиенит (средняя) – почти не содержит кварца (ортоклаз + слюда).

Диорит (средняя) – плагиоклаз, мало кварца.

Лабрадорит (габбро) (основная) – черный с голубыми и зеленоватыми зернами; кварца нет, плагиоклазы. Область применения глубинных пород аналогична с гранитом.

Излившиеся породы

Плотные:

Базальт – полевые шпаты + авгит с высоким содержанием стекла, почти черного цвета (используют как щебень и сырье для базальтовой ваты).

Диабаз – состав, как у базальта, но нет стекла, цвет темно-серый (щебень, шашка для мощения дорог).

Андезит – плагиоклаз + роговая обманка, авгит (кислотоупорный камень).

Порфиры – с вкраплениями светлых зерен полевого шпата, кварца (облицовочный материал).

Пористые:

Пемза – 70 % кремнезем + 13 % глинозем, вулканическое стекло, застывшее в пористом состоянии, $\rho_m = 600 \text{ кг/м}^3$ (щебень для легких бетонов).

Туфы – 65 % кремнезем + 17 % глинозем, ρ_m в среднем 1100 кг/м^3 (стенные блоки).

Осадочные породы залегают в верхних слоях земной коры в виде пластов. В зависимости от условий образования осадочные породы делят на три группы:

- **механические осадки** (или **обломочные** горные породы) – скопления продуктов выветривания изверженных и метаморфических пород под действием, главным образом, физических факторов;
- **химические осадки** – образовались в результате выпадения из пересыщенных растворов растворенных веществ;
- **органогенные породы** – образовались в результате отложения продуктов жизнедеятельности животных и растительных организмов.

Осадочные породы			
↓		↓	↓
Механические		Химические	Органогенные
↓	↓	↓	↓
<i>Рыхлые</i>	<i>Цементированные</i>	<i>Сульфатные</i>	<i>Карбонатные</i>
↓	↓	↓	↓
гравий (5–70 мм); песок (до 5 мм); глина (менее 0,001 мм)	песчаник, коглерат, брекчия	гипс	мел, известняк-ракушечник
		<i>Карбонатные</i> ↓ известняковый туф, доломит, мергель (50 % известняк + 50 % глина)	<i>Кремнистые</i> ↓ диатомит, опоки

Метаморфические горные породы подразделяются на:

- породы, образовавшиеся из изверженных горных пород зернисто-кристаллического строения (типа гранитов) – гнейсы;
- породы, образовавшиеся из осадочных горных пород (из глин, известняков и доломитов, кремнистых песчаников и др.).

Метаморфическая порода	Исходная порода	Минеральный состав	Текстура, строение
<i>Мрамор</i>	Известняки, доломитизированные известняки	Кальцит, иногда примеси доломита, магнезита	Массивная, зернисто-кристаллическое строение
<i>Кварцит</i>	Кремнистые песчаники	Кварц	Массивная, зернисто-кристаллическое строение
<i>Гнейс</i>	Гранит	Кварц, полевой шпат, слюда, иногда роговая обманка, авгит	Сланцевая, зернисто-кристаллическое строение
<i>Сланцы глинистые и др.</i>	Глины	Глинистые минералы, примеси кварца, хлорита	Сланцевая

Применение: *мрамор* – отделка, цветные штукатурки, декоративный бетон; *кварцит* – брусчатка, бут, кислотоупорные изделия, облицовка); *гнейсы* – щебень, облицовочный камень; глинистые сланцы – черепица.

2.4. Производство каменных строительных материалов

Производство каменных материалов включает добычу и переработку горных пород. Добыча горной породы (разработка месторождений нерудного полезного ископаемого) осуществляется:

- открытым способом (в карьерах после снятия слоя вскрышных пород);
- подземным способом (в шахтах и штольнях).

Способы разработки месторождений зависят от вида горных пород (рыхлые или массивные, мягкие или твердые). Переработка добытого камня происходит на камнеобрабатывающих предприятиях или дробильно-сортировочных предприятиях.

Природные каменные материалы и изделия получают из добытых горных пород путем *механической обработки* (дробления, распиливания, раскалывания и т.п.), после которой практически полностью сохраняется структура и свойства исходной породы.

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

- *пиленые из массива* блоки-полуфабрикаты и крупные камни;
- *пиленые из блоков-полуфабрикатов* с последующей обработкой (стенные камни и блоки, облицовочные плиты и плиты для пола, цельные ступени, подоконные доски и др.);
- *колотые* из блоков с последующей обработкой (бортовые камни, плиты и камни тесанные, брусчатка, шашка для мощения и др.);
- *грубоколотые* (постелистый бутовый камень);
- *рваные* (бутовый камень);
- *дробленые* (щебень, искусственный песок);
- *молотые* (каменная мука, молотый минеральный порошок).

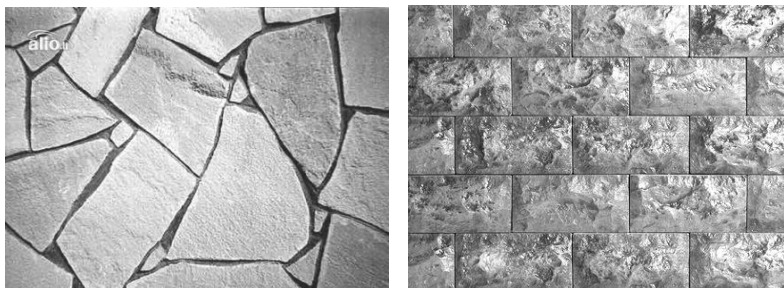


Рис. 2.1. Бутовый камень

Горные породы используются:

- после механической переработки в виде природных каменных материалов и изделий, состав, строение и свойства которых близки к исходным горным породам;
- как сырьевые материалы для получения искусственных строительных материалов по различным технологиям, часто включающим температурную обработку, в ходе которых изменяются состав, строение и свойства исходных материалов.

Назначение	Вид материалов и изделий	Используемые горные породы
1	2	3
Фундаменты	Бутовый камень, камни пиленные и колотые	Изверженные горные породы
Стены	Стеновые (пиленные) камни, крупные блоки, тесаный камень	Известняки ракушечники, туф вулканический
Облицовка наружная	Облицовочные плиты и камни, профильные элементы	Гранит, габбро, базальт, кварцит

Продолжение таблицы

1	2	3
Облицовка внутренняя	Облицовочные плиты, профильные элементы	Мрамор, мраморовидный известняк, известняк ракушечник, туф, гипсовый камень, ангидрит
Наружные лестницы и площадки, парапеты и ограждения	Ступени, плиты для площадок, стенок	Гранит, диорит, габбро
Дорожные покрытия автомобильных дорог	Камни бортовые, брусчатка, камень колотый	Гранит, габбро, базальт, песчаник, известняк плотный
Теплоизоляционные и акустические	Плиты, щебень	Пемзы, туфы, трассы, известняки-ракушечники
Электроизоляционные	Доски, плиты, панели	Мрамор, сланцы, тальк, слюды

Физико-механические свойства некоторых пород

Порода	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	Морозостойкость, циклов, не менее	Коэффициент размягчения, не менее
Гранит, сиенит	90	50	0,8
Лабрадорит, диабаз	60	50	0,7
Мрамор белый, серый, цветной	40	25	0,7
Базальт	30	25	0,7
Песчаник	30	25	0,7
Известняк, доломит	20	25	0,65
Известняк-ракушечник	15	15	0,65
Гипс	15	Не нормируется	0,65
Туфы вулканические	5	25	0,7

Виды изделий из природных каменных материалов

Изделие	Размер	Применение
Бутовый камень	До 50 см	Плотины, кладка фундаментов, подпорные стенки
Щебень	5–70 До 150 мм	Для бетона Для гидротехнических сооружений
Гравий	Те же размеры	То же
Песок	0,14–5 мм	Бетоны и растворы
Блоки	$V > 0,1 \text{ м}^3$	Для стен зданий и подвалов, фундаментов
Стеновые камни	$490\text{--}390 \times 240\text{--}190 \times 188 \text{ мм}$	Заменяет около 10 кирпичей для наружных стен
Облицовочные плиты	100...250 мм (колотые)	Для наружной облицовки
	12...80 мм (пиленые)	Для внутренней облицовки

Свойства строительного камня

Плотность	≤ 1800	Штучный камень для стен и щебень для легких бетонов
	> 1800	Облицовочный, полы, гидротехническое и дорожное строительство
Прочность, МПа	0,4–20 20–100	Легкие камни тяжелые плотные изделия
Истираемость, г/см^2	$\leq 0,1$	Высокая износостойкость
Морозостойкость, циклов	10, 15, 35,	Легкие камни
	100, 150, 200, 300, 400, 500	Тяжелые плотные изделия
Водостойкость, $K_{разм}$	$\geq 0,8$	Для фундаментов и гидротехнических сооружений
	$\geq 0,6$	Для стен
Теплопроводность, $\text{Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda = 0,5\text{--}0,8$	Туфы, известняк-ракушечник
Огнестойкость: – температура размягчения, $^\circ\text{C}$ – температура растрескивания, $^\circ\text{C}$	100	Гипс
	900	Известняк
	600	Гранит, кварц, порфиры

Выветривание горных пород

Выветривание – процесс разрушения горных пород и каменных материалов под действием различных факторов окружающей среды. Стойкость к выветриванию зависит от минерального состава и строения.

Устойчивым к выветриванию является кварц; малоустойчивыми – полевые шпаты, ортоклаз и микроклин; неустойчивыми – основные плагиоклазы, оливин, кальцит, доломит, гипс, химически активные минералы – сульфиды, сульфаты.

Факторы, вызывающие разрушение каменных материалов:

- *физико-механические:*

- суточные колебания температуры (возникновение внутренних напряжений за счет различного изменения объема зерен разных минералов с отличными показателями температурного линейного и объемного расширения);

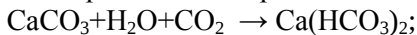
- совместное действие воды и мороза (возникновение напряжений, связанных с проникновением и замерзанием воды в порах и микротрещинах материалов, в том числе возникающих при добыче и переработке горной породы);

- *физико-химические:*

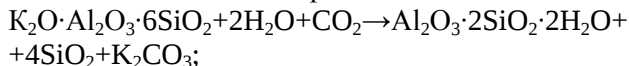
- действие воды на минералы с повышенной растворимостью (гипс, карбонаты) (растворение и вымывание);

- действие воды, содержащей растворенные газы, в том числе от промышленных выбросов, особенно CO₂, SO₃, SO₂, NO₂ и др., приводящее к образованию новых и легко растворимых соединений, например:

- для карбонатных пород:



- для полевошпатовых пород:



- действие органических кислот, образующихся при жизнедеятельности микроорганизмов на поверхности и в трещинах камня.

Меры защиты каменных материалов от выветривания в сооружениях

1. Конструктивные:

- придание изделиям и конструкциям такой формы, которая обеспечивает хороший сток воды с поверхности камня;
- повышение плотности и гладкости поверхности путем шлифования и полирования.

2. Физико-химические способы защиты, направленные на уплотнение поверхности и повышение водостойкости:

- обработка гидрофобными составами, например, кремнийорганическими жидкостями типа «Пента», «Аква-стоп», «Софэксил» (уменьшение смачиваемости поверхности, скорости капиллярного подсоса);
- пропитка пористых горных пород растворами солей кремнефтористоводородной кислоты (H_2SiF_6) – флюатами (способ флюатирования). Применяется непосредственно для карбонатных пород, другие породы предварительно пропитываются раствором извести, а затем флюатом:



При флюатировании образуется защитный слой из нерастворимых соединений, заполняющих поверхностные поры, в результате уменьшается водопоглощение, увеличивается морозостойкость;

– обработка поверхности добавками оксида свинца или железистых соединений увеличивает погодоустойчивость.

3. Физико-химические способы защиты, направленные на образование водонепроницаемых пленок на поверхности – обработка полимерами (например, раствором мочевино-формальдегидной смолы) или мономерами с последующей полимеризацией в порах камня.

3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

3.1. Общие сведения о минеральных вяжущих

Минеральные вяжущие – порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют вязко-пластичное тесто, способное самопроизвольно затвердевать под действием физико-химических процессов. Их используют для приготовления бетонов, растворов, силикатного кирпича, асбестоцемента.

<i>I. Неорганические</i> (известь, гипс, цемент, жидкое стекло)		
<i>воздушные</i> (4 группы по химическому составу)	<i>гидравлические</i> (2 основные группы)	<i>автоклавного твердения</i> (4 вида)
1. Известковые (CaO) 2. Магнезиальные (каустический магнезит MgO) 3. Гипсовые $\text{CaSO}_4 \cdot (0-0,5\text{H}_2\text{O})$ 4. Жидкое стекло (силикат натрия или калия $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ (в виде водного раствора)	1. Силикатные цементы (75 % силикатов Ca) 2. Алюминатные цементы (основа – алюминаты кальция) – глиноземистые цементы	1. Известково-кремнеземистые 2. Известково-зольные 3. Известково-шлаковые 4. Нефелиновый цемент

II. Органические (битумы, полимеры)

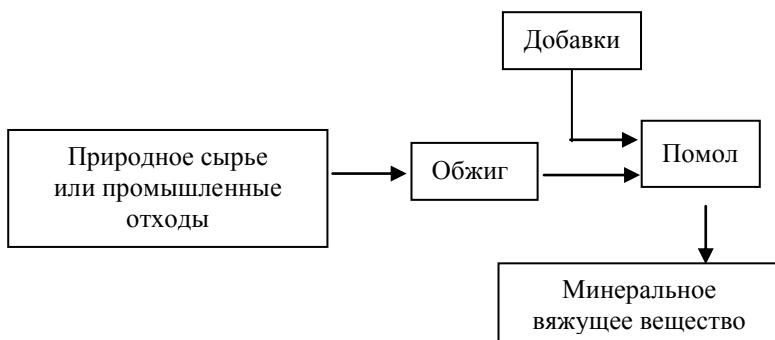
Воздушные вяжущие способны твердеть и сохранять прочность на воздухе.

Гидравлические вяжущие состоят из соединений $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ и твердеют как в воде, так и на воздухе.

Вяжущие автоклавного твердения твердеют в среде насыщенного пара и избыточного давления.

3.2. Основы технологии производства минеральных вяжущих

Минеральные вяжущие являются продуктом обжига соответствующего природного сырья и последующего тонкого измельчения (помол):



Сырье: различные горные породы, отходы металлургии и энергетики (шлаки, золы). Природное сырье представляет собой стабильный (химически неактивный по отношению к воде) материал. При обжиге изменяется химический и фазовый состав сырья. Образуются новые минералы, способные вступать в химическое взаимодействие с водой.

Помол обожженного сырья значительно увеличивает поверхность материала, способную контактировать (*и взаимодействовать*) с водой.

В вязкопластическое состояние минеральные вяжущие вещества переходят при затворении (смешивании с водой). Именно количество воды в смеси (водо-вяжущее отношение) определяет реологические свойства теста, растворной или бетонной смеси. К ним относятся: подвижность (способность растекаться), жесткость, напряжение сдвига (характеризует структурную прочность), вязкость и т.д.

Схватывание (переход из пластического состояния в камнеподобное) и твердение минеральных вяжущих веществ связаны с химическими и физико-химическими процессами взаимодействия минералов вяжущего вещества с водой.

Химические процессы взаимодействия минералов вяжущего и воды приводят к образованию новых соединений, содержащих химически связанную воду. Поэтому процесс твердения минеральных вяжущих называется гидратным, или *гидратационным твердением*, а образующиеся соединения называются *гидратными новообразованиями*.

Для регулирования свойств вяжущих (сроков схватывания и твердения, времени хранения) вводят минеральные и полимерные добавки.

3.3. Воздушные вяжущие вещества

3.3.1. Известь воздушная

Древние египтяне использовали известь еще за 3,5 тыс. лет до н.э. при строительстве пирамид. В России ее узнали в X–XI вв.

Сырье: кальциево-карбонатные породы – мел, известняк, доломит с содержанием глины до 6 %.

Производство: дробление и обжиг сырья. В основе обжига лежит реакция термической диссоциации карбоната кальция:
 $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$. Температура 1000–1200 °С.

Масса обожженных кусков снижается в 2 раза, а объем – на 10 %. При обжиге получается негашеная комовая известь «ки-

пелка», при ее помоле – негашеная молотая известь, при их гашении – гидратная гашеная $\text{Ca}(\text{OH})_2$ «пушонка».

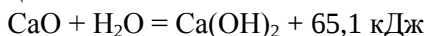
Сорта воздушной извести

Кальциевая $\text{MgO} \leq 5 \%$			Магнезиальная 5–20			Доломитовая 20–40		
I	II	III	I	II	III	I	II	III
90	80	70	85	75	65	85	75	65
7	11	14	10	15	20	10	15	20

Свойства: качество воздушной извести зависит от процентного содержания ($\text{CaO} + \text{MgO}$).

При увеличении температуры обжига до 1500°C размер кристаллов CaO и MgO увеличивается в 10 раз, понижается их активность и скорость гашения, в результате чего возникают внутренние напряжения и растрескивание. Поэтому ограничивается содержание непогашенных зерен.

Негашеная молотая известь быстрее схватывается и лучше твердеет, выделяемое тепло при этом способствует улучшению твердения. Процесс гашения «кипелки»:

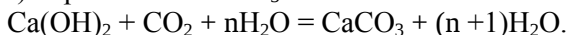


тонкодисперсные частицы (объем увеличивается в 2–3 раза).

Если затворить «кипелку» 60–80 % воды по массе, получится порошкообразная гидратная известь-пушонка. На строительной площадке гидратную известь можно разбавлять водой в отношении 1:3.

Твердение воздушной извести протекает медленно.

Карбонатное твердение – одновременное протекание двух процессов: 1) кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из насыщенного водного раствора; 2) образования CaCO_3 :



При испарении воды из раствора кристаллы CaCO_3 срастаются между собой и с частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образуют искусственный камень.

Гидратное твердение (негашеной извести): происходит пересыщение раствора, взаимное сцепление и срастание образующихся частичек $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Гидросиликатное твердение (известково-песчаных смесей в автоклаве) – взаимодействие CaO , SiO_2 и воды. В результате образуются гидросиликаты кальция.

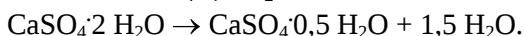
Наибольшая прочность достигается в третьем случае, наименьшая – в первом.

Применение. В строительстве используется половина всей выпускаемой извести. Ее используют в кладочных и штукатурных растворах, смешанных растворах, для изготовления силикатных изделий и силикатных красок.

3.3.2. Гипсовые вяжущие

Сырье: природный гипсовый камень ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (а также отходы химической промышленности, фосфогипс, борогипс).

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают в гипсоварочных котлах. Продолжительность варки – до 90 мин. Можно во время варки добавлять до 0,15 % поваренной соли, что повышает прочность гипса на 35 %, но сокращается срок хранения. Тепловая обработка – при 110–180 °С. В этом случае получают кристаллы β -модификации. Далее производится размол и нагрев порошка $\rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$.



Высокопрочный гипс получают из высокопрочного гипсового камня (без примесей) в автоклавах под давлением пара. Кристаллы более активны, чем β -модификации. Прочность при сжатии – 15–20 МПа. Используют для изготовления элементов стен, перегородок, стеновых камней.

Формовочный гипс – кристаллы β -модификации, тонкого помола, применяется в керамической промышленности для изготовления литевых форм.

Свойства строительного гипса

Тонкость помола			
	Грубый помол I	Средний помол II	Тонкий помол III
Остаток на сите 02, %, не более	23	14	2
Сроки схватывания			
	Быстро твердеющий А	Нормально твердеющий Б	Медленно твердеющий В
Начало схватыва- ния, мин, не ранее	2	6	20
Конец схватыва- ния, мин, не позднее	15	30	Не нормирует- ся
Марка по прочности			
Марка вяжущего	Сжатие, МПа		Изгиб, МПа
Строительный гипс			
Г-2	2		1,2
Г-5	5		2,5
Г-6	6		3,0
Г-7	7		3,5
Высокопрочный гипс			
Г-16	16		6,0
Г-19	19		6,5
Г-22	22		7,0
Г-26	25		8,0

Обозначение: Г-6 А II – соответствует марке Г-6, быстротвердеющий, среднего помола.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие: температура обжига 600–900 °С, готовое вяжущее состоит из ангидрита CaSO_4 и частично CaO , которая активизирует твердение. Высокообжиговый гипс медленно схватывается и твердеет, но зато прочен (10–20 МПа) и водостоек. На его основе изготавливают бесшовные полы, растворы для штукатурки и кладки, искусственный мрамор.

Твердение строительного гипса – реакция, обратная дегидратации, с выделением 19,3 кДж тепла. При этом температура возрастает до 40–50 °С, а объем – на 0,5–1 %. Для прохождения реакции достаточно 18,6 % воды от массы вяжущего, но в строительной практике вводят до 80 %.

Замедлители схватывания – известково-клеевые добавки, СДБ – до 0,5 %. *Ускорители:* молотый двуводный гипс, поваренная соль – до 2 %.

Применение: для изготовления штукатурных растворов внутри помещений; производства готовых строительных деталей, архитектурных изделий, перегородочных панелей и плит, сухой штукатурки, элементов перекрытий, карнизов, искусственного мрамора, декоративных плит для отделки, гипсокартонных листов для перегородок и навесных потолков.

Не допускается применение при влажности более 65 %, необходимо защищать поверхность водостойкими покрытиями, добавлять цемент.

3.3.3. Магнезиальные вяжущие

Разновидностями магнезиальных вяжущих веществ являются каустический магнезит и каустический доломит.

Каустический магнезит получают при обжиге горной породы магнезита MgCO_3 в шахтных или вращающихся печах при 700–800°. В результате магнезит разлагается:



Реакция разложения MgCO_3 обратимая, поэтому при обжиге магнезита необходимо интенсивно удалять из печи CO_2 при помощи естественной или искусственной тяги.

Оставшееся твердое вещество – окись магния – измельчают в тонкий порошок и упаковывают.

Каустический магнезит твердеет сравнительно быстро: схватывание его должно наступать не ранее 20 мин, а конец – не позднее 6 ч от момента затворения.

Марки каустического магнезита, по показаниям прочности при сжатии образцов-кубов из жесткого трамбованного раствора состава 1:3 через 28 суток воздушного твердения, установлены 400, 500 и 600.

Каустический доломит $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$ получают путем обжига при 650–750 °С природного доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ с последующим тонким измельчением продукта. При температуре обжига CaCO_3 не разлагается и остается в инертном виде как балласт, что делает вяжущую активность каустического доломита ниже, чем каустического магнезита.

Каустический доломит содержит значительное количество углекислого кальция: в нем должно быть не менее 15 % окиси магния и не более 2,5 % окиси кальция, поэтому качество его ниже, чем каустического магнезита и марки его только 100–300.

Магнезиальные вяжущие затворяют не водой, а водными растворами солей серноокислого или хлористого магния. Наиболее распространенным затворителем является раствор хлористого магния MgCl_2 , так как он обеспечивает большую прочность. Магнезиальные вяжущие слабо сопротивляются действию воды, и их можно использовать только при твердении на воздухе с относительной влажностью не более 60 %.

Каустический магнезит легко поглощает влагу и углекислоту из воздуха, в результате чего образуются гидрат окиси магния и углекислый магнезий. Поэтому хранить его надо в плотной герметической таре.

На основе магнезиальных вяжущих изготавливают ксилолит (смесь вяжущего с опилками), используемый для устройства полов, фибролит и другие теплоизоляционные материалы. При-

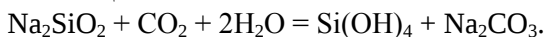
меняют магнезиальные вяжущие и при производстве изделий для внутренней облицовки помещений, изготовлении пенобетона и оснований под чистые полы, скульптурных изделий.

3.3.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент

Жидкое стекло – коллоидный водный раствор силиката натрия или калия $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Величина n обозначает отношение количества молекул кремнезема и щелочного окисла и называется модулем стекла; чем модуль жидкого стекла выше, тем лучше его клеящие способности. В строительстве применяется более дешевое жидкое стекло с модулем 2,5–3,5.

Получают в стекловаренных печах при температуре 1300–1400 °С путем плавления смеси чистого молотого кварцевого песка с содой (Na_2CO_3) или сульфатом натрия Na_2SO_4 + катализатор (угольный порошок). При обжиге выделяется $\text{CO}_2 \uparrow$. Далее быстро охлаждают, получая силикатную глыбу, которую растворяют водяным паром в автоклаве при давлении – 0,6–0,8 МПа. Содержание воды в жидком стекле 50–70 %.

Жидкое стекло твердеет медленно на воздухе. При взаимодействии с CO_2 выделяется аморфный кремнезем $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, обладающий клеящей способностью:



Для ускорения твердения и повышения водостойкости добавляют 12–15 % кремнефтористого натрия (Na_2SiF_6), который вступает во взаимодействие с растворимым стеклом, в результате чего быстро образуется гель кремнекислоты:



Применяют для изготовления кислотоупорного цемента, жаростойкого бетона, для защиты естественных каменных материалов, укрепления песчаных грунтов.

Жидкое стекло необходимо предохранять от нагрева летом и замерзания зимой (температура замерзания –3–5 °С).

При использовании нужно отделить мутный осадок на дне.

Кислотоупорный цемент получают совместным помолом или смешиванием молотого кварцевого песка (SiO_2) и кремнефтористого натрия (Na_2SiF_6). Затворяют такой цемент жидким стеклом. Кварцевый песок можно заменить порошком андезита.

Применение: кислотостойкие замазки, растворы, бетоны.

При твердении зерна песка обволакиваются и скрепляются аморфным кремнеземом. Прочность бетона 50–60 МПа, разрушается в едких щелочах.

3.4. Гидравлические вяжущие вещества

3.4.1. Портландцемент

Портландцемент – порошкообразный материал, содержащий искусственные минералы (силикаты кальция 70–80 %), большинство из которых в природе не встречаются. Эти минералы обладают высокой химической активностью и способны взаимодействовать с водой. Портландцемент получают при тонком измельчении цементного *клинкера* с добавкой 3–5 % гипса.

Клинкер получают в виде гранул размером 10–20 (40) мм обжигом до спекания сырьевой смеси известняка и глинистых пород. Клинкер определяет качество портландцемента.

Состав портландцемента

Химический, %: CaO – 63–66; SiO_2 – 21–24; Al_2O_3 – 4–8; Fe_2O_3 – 2–4; MgO – 0,5–5 и др.

Минеральный состав:

- *алит* $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) – 45–60 %;
- *белит* $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) – 20–30 %;
- *трехкальциевый алюминат* $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – 4–12 %;
- *четырекальциевый алюмоферрит* $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) – 10–20 %.

В состав клинкера входят также свободные CaO (допускается ≤ 1 %), MgO (допускается ≤ 5 %).

Наиболее быстро гидратирующимися минералами цементного клинкера являются трехкальциевый алюминат и трехкальциевый силикат; самая медленная гидратация происходит у двухкальциевого силиката.

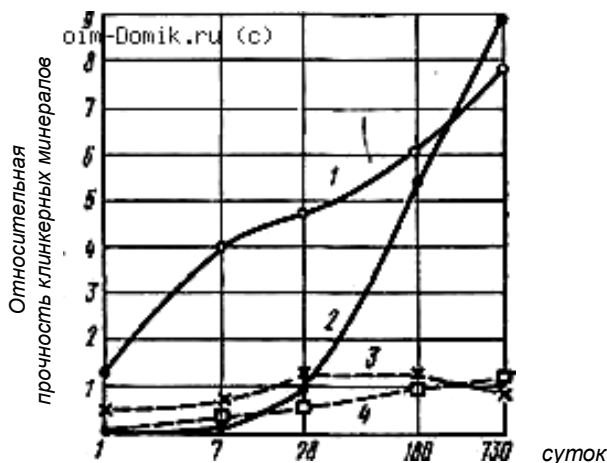


Рис. 3.1. Нарастание прочности клинкерных минералов во времени: 1 – C_3S ; 2 – C_2S ; 3 – C_3A ; 4 – C_4AF

Вещественный состав цемента: содержание клинкера, гипса и активных минеральных добавок. Например, шлаковый портландцемент содержит: клинкера – 57, шлака – 40, гипса – 3 %.

Технология получения портландцемента

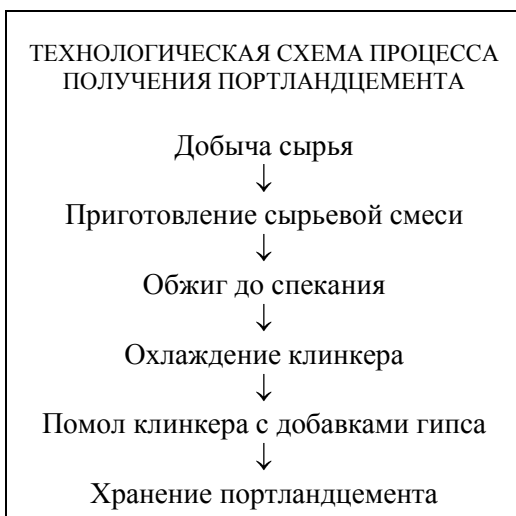
Производство портландцемента может быть разделено на два комплекса операций. Первый включает изготовление клинкера, второй – получение портландцемента измельчением клинкера совместно с гипсом, активными минеральными и другими добавками. Получение *клинкера* – наиболее сложный и энергоемкий процесс, заключающийся в добыче сырья, его смешении и обжиге.

Сырье: известняки, мел, мергели (CaCO_3) – 75 %; глина (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) – 25 %. Применяют добавки отходов (шлаки, нефелиновый шлам).

Топливо: природный газ, реже мазут. 1/4 стоимости готового цемента – это затраты на топливо, поэтому его расходуют экономно.

Подготовка сырья – измельчение и смешивание исходных компонентов в соответствующих пропорциях.

В настоящее время применяют два основных способа подготовки сырьевой смеси из исходных компонентов: «*мокрый*», при котором помол и смешение сырья осуществляют в водной среде, и «*сухой*», когда материалы измельчают и смешивают в сухом виде.



Сухой способ – совместное измельчение известняка и глины в мельницах с одновременной сушкой до влажности 1–2 % (сырьевая мука). Хранят в силосах. Предъявляются повышенные требования к качеству известняка и глины (W до 10–15 %, однородность). *Недостатки*: пыление, дополнительные требования

к качеству оборудования. *Достоинство*: экономичность – затраты тепла в 1,5–2 раза меньше, чем при мокром способе.

Мокрый способ – при повышенной влажности сырья: измельчение и смешивание в водной среде (35–45 % воды в составе шлама). Глину перерабатывают в глиноболтушках. Добавляют дробленый известняк, все компоненты поступают в шаровую мельницу. Готовый шлам хранят в шлам-бассейнах. Несколько снижают влажность шлама добавки СДБ. *Достоинство*: невысокие требования к качеству сырья при хорошем качестве портландцемента. *Недостаток*: повышенная энергоемкость производства.

Каждый из этих способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. В водной среде облегчается измельчение материалов, при их совместном помоле быстро достигается высокая однородность смеси, но топлива на обжиг расходуется в 1,5–2 раза больше, чем при сухом.

Сухой способ, несмотря на его технико-экономические преимущества по сравнению с мокрым, длительное время находил ограниченное применение из-за пониженного качества получаемого клинкера. Однако успехи в технике тонкого измельчения и гомогенизации сухих смесей обеспечили возможность получения высококачественных портландцементов и по сухому способу.

Тенденции в мировом цементном производстве: 1) совершенствование оборудования и технологий; 2) скоростной обжиг в высокопроизводительных печах; 3) перевод с мокрого способа на полусухой и сухой; 4) создание принципиально новых технологий.

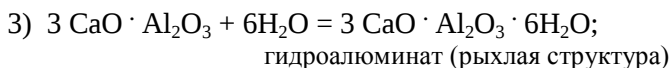
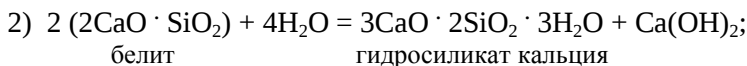
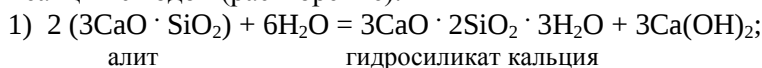
Обжиг сырьевой смеси производят во вращающихся печах: при сухом способе – 7×95 м; при мокром – $(5-7) \times 185$ (230) м. Производительность – более 100 т/ч (3000 т/сут). Вращение 1–2 об/мин.

Помол клинкера. Производительность мельниц – 100 т/ч и более. Мелющие тела – стальные шары и цилиндры. Используются центробежные сепараторы для отделения крупных частиц, направляемых на домол. Тонкость помола – 4000–5000 см²/г.

При помоле добавляется гипс (до 3,5 % по SO_3) для замедления сроков схватывания. Хранится цемент в силосах из железобетона диаметром до 15 м и высотой до 30 м для охлаждения (после помола температура равна 80–120 °С) и гашения свободного CaO .

Твердение портландцемента. После затворения водой образуется цементное тесто, которое в течение 1–3 часов не теряет пластичности. Затем происходит схватывание (до 10 ч), тесто загустевает. Далее твердение. Процессы гидратации цемента – это химические реакции при схватывании и твердении.

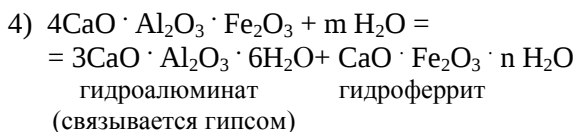
Реакции с водой (растворение):



$$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 26\text{H}_2\text{O} =$$

$$= 3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O};$$

эттрингит (увеличенный вдвое по сравнению с исходными продуктами объем, уплотняет структуру цементного камня); гидросульфалюминат кальция осаждается на поверхности частиц $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, замедляя их гидратацию и продлевая схватывание цемента



В результате процессов гидратации образуется цементный гель. Затем происходят процессы структурообразования, образования новых связей кристаллов и упрочнения цементного камня.

Цемент связывает около 15 % воды от своей массы.

Набор марочной прочности происходит в течение 28 сут. Тепловая обработка в пропарочной камере ($t = 80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 100\%$) ускоряет процесс гидратации в 10 раз, при этом прочность за 8–12 ч достигает 70 % от марочной. С увеличением тонкости помола ускоряется набор прочности в первые трое суток твердения.

Химические ускорители твердения: CaCl_2 – хлорид кальция; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – нитрат кальция; $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ – нитрит кальция и их смеси.

Вещественный состав цемента

Портландцемент, кроме клинкера, содержит добавку природного гипса (двуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) для регулирования сроков схватывания, а также очень часто активную минеральную добавку (доменный гранулированный шлак, вулканические пеплы, пемзы, осадочные горные породы, диатомит, трепел). Добавки позволяют сэкономить клинкер и повысить стойкость бетонов на таких цементах к коррозии.

Массовая доля в цементах активных минеральных добавок должна соответствовать значениям, указанным в таблице:

Обозначение цемента	Активные минеральные добавки, % по массе			
	Всего	В том числе		
		Доменные гранулированные и электротермофосфорные шлаки	Осадочного происхождения, кроме глиежа	Прочие активные, включая глиеж
ПЦ-Д0	Не допускаются			
ПЦ-Д5	До 5	До 5	До 5	До 5
ПЦ-Д20, ПЦ-Д20-Б	Св. 5 до 20	До 10	До 10	До 20
ШПЦ, ШПЦ-Б	Св. 20 до 80	Св. 20 до 80	До 10	До 10

Содержание трех компонентов – это и есть вещественный состав цемента.

Портландцемент ПЦ Д0 (без активных минеральных добавок)	клинкер	95–93 %
	гипс	5–7 %
Портландцемент ПЦ Д20 (с активными минеральными добавками)	клинкер	90–73 %
	гипс	5–7 %
	АМД	5–20 %
Шлакопортландцемент ШПЦ	клинкер	75–15 %
	гипс	5–7 %
	АМД	20–80 %

Свойства портландцемента

1. *Тонкость помола.* Определяется просевом через сито 008: остаток до 15 %. Удельная поверхность – 2500–3000 см²/г.

2. *Плотность.* Истинная $\rho = 3,1 \text{ гсм}^3$; насыпная $\rho_n = 1100\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$.

3. *Водопоглощаемость (нормальная густота)* – 24–28 % (22–30). Определяют на приборе Вика, когда пестик не доходит на до дна 5–7 мм.

4. *Сроки схватывания:* начало – не ранее 45 мин (игла не доходит до дна 1–2 мм; конец – не позднее 10 ч (игла погружается не более 1–2 мм).

5. *Равномерность изменения объема* – за счет расширения свободных СаО и MgO вследствие их гидратации: 24 ч предварительного твердения + 3 ч кипячения, не должно быть трещин.

6. *Активность и марку* определяют на образцах 4×4×16 см из цементно-песчаной смеси 1:3 ($B/C = 0,4$). Испытания проводят после 28 суток твердения (1 сут в формах, затем в воде, $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$). Марки: 400, 500, 550, 600.

7. *Тепловыделение:* при твердении цемента происходит его саморазогрев, за счет тепловыделения температура повышается до 60 °С. Для его уменьшения рекомендуется применять низко-термичные (белитовые) цементы, снижать расход цемента в массивных конструкциях. В монолитном строительстве следует

использовать искусственное охлаждение. При зимнем бетонировании тепловыделение – положительный фактор, в этом случае рекомендуется использовать цементы тонкого помола (более 3000 см²/г), которые выделяют больше тепла.

Марки портландцемента

Марка портландцемента	Прочность на:	
	изгиб, МПа	сжатие, МПа
400	5,5	40
500	6,0	50
550	6,2	55
600	6,5	60

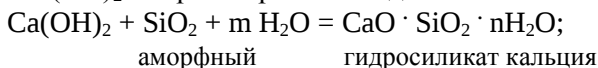
Коррозия цементного камня и способы защиты

1. *Выщелачивание* (вымывание) наиболее слабых компонентов цементного камня $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ мягкими водами (дождевой, болотной, оборотной, речной и т.п.). При вымывании более 15 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне начинается разложение гидросиликатов и гидроалюминатов. Прочность снижается почти на 50 %. Проявляется этот вид коррозии в виде белых пятен (подтеков).

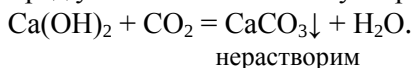
Методы борьбы:

1) ограничение содержания алита до 50 % (в результате гидратации алита образуется 3 молекулы $\text{Ca}(\text{OH})_2$);

2) введение активных минеральных добавок, содержащих аморфный кремнезем (диатомит, трепел, туфы и др.), которые связывают $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые соединения:



3) метод карбонизации (выдерживание бетонных конструкций на воздухе перед установкой во влажную среду):

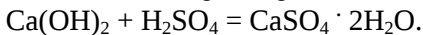


2. *Коррозия в агрессивных средах*: в результате химических реакций образуются легкорастворимые соединения, особенно в

растворах кислот с $\text{pH} < 7$ (сточные воды, грунтовые воды и т.д.):

– *углекислотная*: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
бикарбонат кальция, легко растворим

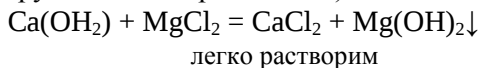
– *общекислотная*: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
растворим



(из сернистого газа SO_2) увеличивается в объеме

Кислоты разрушают также силикаты кальция;

– *магнезиальная* (в грунтовой и морской воде):

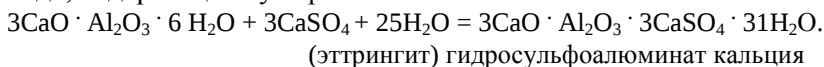


Органические кислоты разрушают цементный камень (уксусная, молочная и др., обычно в животноводстве). Не опасны органические растворители – бензин, керосин, мазут.

Защита изделий – путем создания на поверхности слоев из кислотостойких цементов.

3. Сульфатная и щелочная коррозия

Сульфатная – в морской, грунтовой, минерализованной воде, содержащей сульфатные ионы:



Происходит увеличение объема в 2 раза.

Метод борьбы – применение сульфатостойких цементов.

Щелочная коррозия – под действием NaOH и KOH и углекислоты воздуха. Образуются кристаллы $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, что вызывает увеличение объема.

Методы борьбы: ограничение содержания алюминатов кальция и введение активных минеральных добавок (диатомита, трепела).

Общие способы защиты:

- 1) нанесение обмазочных составов – битумных, битумно-полимерных; полимерных пропиток, мастик;
- 2) увеличение плотности бетонов;
- 3) использование сульфатостойких цементов;

- 4) изоляция полимерными пленками;
- 5) защитные покрытия из мастик на основе кислотоупорных цемента;
- 6) пропитка бетонов полимерами, серой.

3.4.2. Специальные виды цемента

1. *Сульфатостойкий портландцемент* – специальный состав клинкера с ограниченным содержанием $C_3A \leq 5\%$, $C_3S \leq 55\%$; увеличенное до 18 % содержание C_2S . Высокая морозостойкость. Применяется для подводных сооружений (особенно сульфатостойкие шлакопортландцементы и пуццолановый портландцемент).

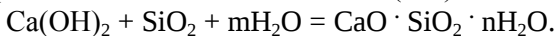
2. *Пластифицированный портландцемент* – добавки – 0,2–0,25 % СДБ. Более высокая подвижность бетонной смеси, снижение B/C . Высокая плотность, морозостойкость, водонепроницаемость бетона.

3. *Гидрофобный портландцемент*. При помоле клинкера вводят 0,1–0,3 % добавок: олеиновую кислоту (окисление парафина), асидол, мылонафт (отходы при очистке продуктов перегонки нефти щелочью), – образующих гидрофобную пленку (гидрофобные углеводородные радикалы). Долго хранится не комкуясь. Пленки пластифицируют бетонную смесь. Повышенная водо- и морозостойкость бетона, стойкость в агрессивных средах.

4. *Белые и цветные портландцементы*: основа – белый клинкер; содержание Fe_2O_3 – не более 0,5 %. Степень белизны определяется сравнением с молочным матовым стеклом: БЦ-1 $\geq 80\%$, БЦ-2 $\geq 75\%$, БЦ-3 $\geq 68\%$ (отражение); М400, 500. Цветные получают совместным помолом белого клинкера с щелочестойкими красителями (охрой, железным суриком). Применяется для отделки стеновых панелей, лестничных ступеней, для дорожных покрытий.

5. *Пуццолановый портландцемент* получают совместным помолом клинкера с активными минеральными добавками +

гипс (диатомит, трепел, опока) или (пемза, туф, топливная зола). Активный кремнезем добавок связывает $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



активный

гидросиликат кальция

Добавок – от 20 до 40 %. М300, 400, 500. Высокая водостойкость, стойкость к сульфатной коррозии, малая стоимость. Применяется для подводных бетонных конструкций. На воздухе происходит большая усадка; малая морозостойкость. Не применяется при зимнем бетонировании (малое тепловыделение, медленное твердение).

6. *Шлакопортландцемент* (ШПЦ) дешевле портландцемента на 20 %. Получают совместным помолом клинкера со шлаком (доменным) и гипсом. Шлака – 21–80 %. Состав шлаков напоминает клинкер: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO . Модуль основности шлака $M_o = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$. $M_o \geq 1$ – основные (более активные); $M_o < 1$ – кислые.

При получении производят грануляцию шлака охлаждением водой (распадается на зерна). Нет кристаллов – стеклообразное состояние. ШПЦ имеет умеренную водопотребность, более морозостоек и воздухостоек, чем пуццолановый; стоек в мягких и сульфатных водах (мало $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Рекомендуются пропаривание. Недостаток (относительный) – медленное твердение. Применяется в наземном, подземном, подводном строительстве.

7. *Глиноземистый цемент*: CaO – 44–55 %, SiO_2 – 5–10 %, Al_2O_3 – 35–40 %. Основной минерал – $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [(CA)]. Сырье – известняк и боксит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Температура обжига 1300–1400 °С. Трудно размалывается клинкер, сырье дорогое. Известна технология производства глиноземистого шлака в доменном производстве. Твердение:



двухкальциевый гидроалюминат

Свойства: 1) быстрое нарастание прочности (через 1 сут – более 50 % прочности, 3 сут – 100 %); начало схватывания после 30 мин, конец – не более чем через 12 ч; 2) большое тепловыде-

ление при схватывании (при разогреве до 25–30 % начинается переход двухкальцевого гидроалюмината в трехкальцевый гидроалюминат с внутренним напряжением и снижением прочности в 2–3 раза); нельзя пропаривать и применять для массивных конструкций; 3) высокая прочность и стойкость к агрессивным средам за счет отсутствия $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Марки 400, 500, 600. Применяют для аварийных работ; для конструкций, работающих в агрессивных средах; работ в зимних условиях; уплотнения скважин в нефтедобыче.

8. Расширяющийся цемент. Известны разные составы. Смешивают: глиноземистый цемент – 3,5 части, гипс – 1 часть, гидроалюминат кальция (молотый) – 0,5 части. Быстросхватывающийся и быстротвердеющий. Получают бетоны, непроницаемые для воды, бензина, керосина. Применяют для заделки стыков в метро, при авариях и т.д.

9. Напрягающий цемент: портландцемент – 70 %, глиноземистый цемент – 20 %, гипс – 10 %. Удельная поверхность – 4000–5000 $\text{см}^2/\text{г}$. После схватывания и набора некоторой прочности расширяется, напрягая арматуру. Энергия самонапряжения: НЦ-2 (2 МПа), НЦ-4 (4 МПа), НЦ-6 (6 МПа). Начало схватывания – не более 30 мин, конец – не более 4 ч. Через 1 сут – 15 МПа, 28 сут – 50 МПа. Свойства: трещиностойкость, водонепроницаемость, газонепроницаемость. Применяют для хранилищ бензина, подводных и подземных напорных сооружений.

3.4.3. Вяжущие вещества автоклавного твердения

Условия твердения – среда насыщенного водяного пара. Температура 175–200 °С, давление 0,9–1,3 МПа. В состав автоклавных вяжущих входят различные виды SiO_2 и CaO .

1. Силикатные: известь (гашеная или молотая кипелка) + кварцевый песок.

При автоклавной обработке образуются гидросиликаты кальция: $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, чаще всего состава $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n = 3-10,5$.

2. *Шлаковые*. В качестве кремнеземистого компонента – молотые металлургические и топливные шлаки.

3. *Зольные* – на основе каменноугольной золы от сжигания угля (кремнеземистый компонент), сланцев или высококальцевой золы (известковый компонент).

4. *На основе отходов* химической (нефелиновый шлам) и горнодобывающей промышленности.

Область применения: газо-, пеносиликаты, силикатные плотные материалы (тяжелый силикатный бетон, силикатный кирпич).

4. БЕТОНЫ

4.1. Общие сведения и классификация бетонов

Бетон – искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания тщательно подобранной смеси вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей, а также специальных добавок. Вяжущие и вода образуют цементный камень. Заполнители – инертные (песок, щебень, гравий), составляют скелет бетона, уменьшают его усадку. Легкие заполнители уменьшают плотность и теплопроводность. Заполнителями являются щебень из местных горных пород, отходы производства (шлак); занимают 80–85 % объема бетона. В зависимости от вида заполнителей можно получать бетоны разной прочности, легкие, жароупорные и др. Кроме того, заполнители снижают стоимость бетона.

Состав бетонной смеси подбирают таким образом, чтобы при данных условиях твердения бетон обладал заданными свойствами (прочностью, морозостойкостью, плотностью и др.).

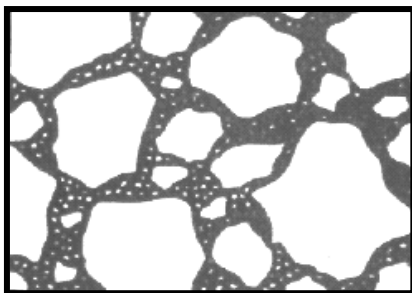


Рис. 4.1. Структура бетона
(частицы крупного и мелкого
заполнителей – светлые,
цементный камень – черный)

Бетон известен давно. В Древнем Риме, например, из бетона на извести был построен ряд сложных инженерных сооружений. Существует мнение, что блоки внутренней части египетских пирамид также были изготовлены из бетона, вяжущим в котором служила известь. Широкое применение бетона началось после освоения промышленного производства портландцемента.

Современное строительство немислимо без бетона – он стал основным строительным материалом, что объясняется его экономичностью, технологичностью и доступностью основных сырьевых материалов.

Классификация бетонов

Основные признаки классификации бетонов: 1) средняя плотность; 2) вид вяжущего; 3) структура; 4) вид заполнителя; 5) назначение.

По средней плотности:	– особо тяжелые, более 2500 кг/м^3 (магнетит, барит, чугунный скрап); – тяжелые, $1800\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$; – легкие, $500\text{--}800 \text{ кг/м}^3$; – особо легкие (теплоизоляционные), менее 500 кг/м^3
По виду вяжущего:	– цементные; – силикатные (автоклавного твердения); – гипсовые; – асфальтобетоны; – полимербетоны
По структуре:	– плотные; – поризованные (в цементном камне есть поры); – крупнопористые (недостаток цементного вяжущего); – ячеистые (газо- и пенобетоны)
По виду заполнителей:	– тяжелые (щебень); – легкие пористые (керамзит); – виде газа и пены
По назначению:	– конструкционные; – гидротехнический; – для стен и легких перекрытий; – дорожный (для дорог, аэродромов); – специальный (химически стойкий, жаростойкий, декоративный, особо тяжелый, полимербетон)

Основные требования к *конструкционному* бетону: прочность, морозостойкость; *гидротехническому*: плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость к выщелачиванию, малое тепловыделение при твердении; *бетону для стен и перекрытий*: малая плотность и теплопроводность, прочность; *дорожному* – малая истираемость, прочность на изгиб, морозостойкость.

Основные типы структуры бетона

Структура бетонной смеси сохраняется и при затвердевании, поэтому структуру бетона следует классифицировать по содержанию цементного камня и его размещению в бетоне. Однако на свойства бетона определяющее влияние оказывает его плотность или пористость. При прочих равных условиях объем и характер пористости, а также соотношение в свойствах отдельных составляющих бетона определяют его основные технические свойства, долговечность, стойкость в различных условиях. В этой связи целесообразно классифицировать структуру бетона с учетом ее плотности. На рис. 4.2. показаны основные типы структур бетонов.

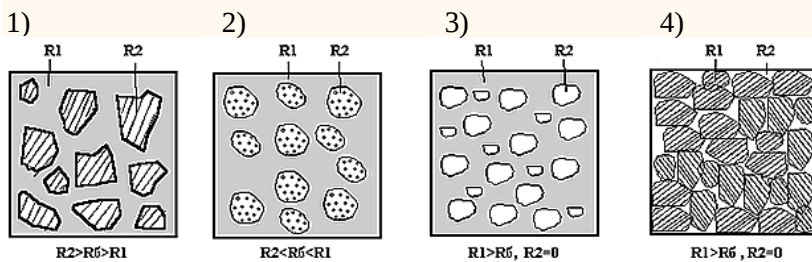


Рис. 4.2. Основные типы макроструктур бетона:

- 1 – плотная; 2 – плотная с пористым заполнителем;
- 3 – ячеистая; 4 – зернистая; R_6 – средняя прочность матрицы;
- R_1 и R_2 – прочности составляющих бетона

Бетоны должны иметь расчетную прочность и минимальный расход цемента; *бетонная смесь* – обладать удобоукладываемостью. Получить соответствующий набор свойств бетона

можно при соблюдении определенных требований к заполнителям, подбору состава, условиям приготовления, укладки, твердения. Для ускорения твердения широко применяется тепло-влажностная обработка (пропаривание), сухой прогрев.

4.2. Материалы для тяжелого бетона

4.2.1. Цемент

Цемент – основное минеральное вяжущее, используемое в технологии бетона. Марки цемента должны быть, как правило, выше прочности бетона на его основе.

Рекомендуемые марки цемента

Прочность бетона, кгс/см ²	100	150	200	300	400	500	600
Марка цемента	300	300	400	400	500	550–600	600

Выбор того или иного вида цемента зависит от условий работы бетонного изделия, технологии изготовления.

Вода: лучше всего использовать водопроводную (питьевую). Применяют и природную воду (реки, озера), не содержащую вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению бетона (сульфаты, минеральные и органические кислоты, сахар, жиры). Не пригодна болотная вода, а также промышленные и сточные воды.

Для проверки пригодности воды можно изготовить две одинаковые серии образцов на питьевой и испытываемой воде. Если после 28 суток твердения прочность испытываемых образцов будет не ниже стандартной, то вода пригодна для изготовления бетона.

4.2.2. Мелкий заполнитель

Мелкий заполнитель (песок) – смесь мелких частиц (0,14–5 мм), получающихся в результате выветривания горных пород. В их состав входят кварц, полевые шпаты, слюда. Применяют речные, морские и горные (овражные) – естественные пески;

дробленые горные породы и шлаки – искусственные (в дорожном строительстве).

Свойства песка

1. Насыпная плотность песка $\rho_n = m/V_n$, кг/м³, находится в пределах 1450–1600 кг/м³.

2. Истинная плотность песка (плотность его зерен) в зависимости от минерального состава обычно находится в пределах 2,0...2,8 г/см³.

3. Межзерновая пустотность песка $П_{мз} = (1 - \rho_n / \rho) \cdot 100 \%$. В песке хорошего качества пустотность не превышает 38 %.

4. Содержание пылеватых, глинистых и илистых частиц определяют методом отмучивания. Влияет на водопотребность бетонной смеси, увеличивая суммарную поверхность, обволакивают тонким слоем зерна песка. Содержание примесей не более 3 % (естественный песок) и 5 % (искусственный песок). Применяют промывку в пескомоечных машинах.

5. Содержание органических примесей – снижает прочность цементного камня. 150 мг песка заливают 3 % NaOH до 200 мл. Через сутки сравнивают по цвету с эталоном.

6. Зерновой состав песка – соотношение частиц разной крупности. Для получения плотных бетонов при минимальном расходе цемента зерновой состав имеет важное значение. Целесообразно использовать пески с минимальными пустотностью и удельной поверхностью.

Для определения зернового состава песка используют стандартный набор сит. Масса навески – 1000 г. Вычисляют частные и полные остатки на каждом сите.

Данные зернового состава песка

Остатки на ситах	Отверстия сит, мм					Прошло через сито № 016
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные, г (m_i)						
Частные, % (a_i)						
Полные, % (A_i)						

Частным называется остаток на данном сите в граммах (m_i) или в %:

$$a_i = (m_i/m)100,$$

где m_i – частный остаток на данном сите, г; m – навеска песка (1 кг).

Полный остаток в % на данном сите A_i равен сумме частных остатков на данном сите и всех вышележащих ситах.

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i.$$

По полученным данным вычисляют модуль крупности песка:

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100 \text{ \%}.$$

Группу песка определяют по зерновому составу, сравнивая значения A_i и $M_{кр}$ и строят график рассева песка.

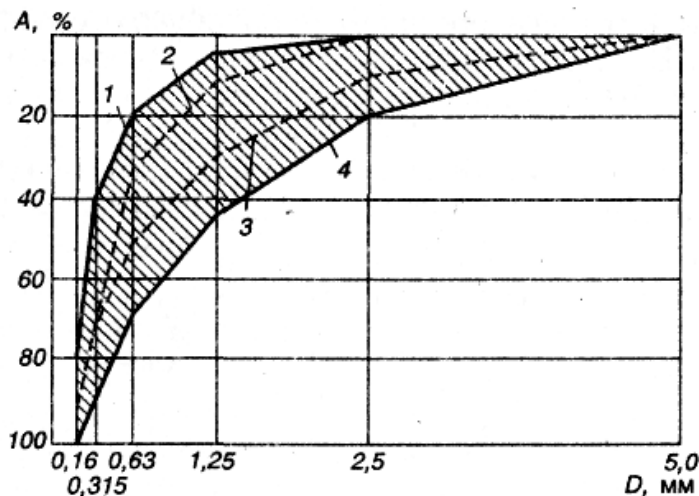


Рис. 4.3. График зернового состава песка: 1 – допустимая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 1,5$); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 2,0$) для бетонов класса В15 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 2,5$) для бетонов В25 и выше; 4 – допустимая верхняя граница крупности песка ($M_{кр} = 3,25$) для растворов и бетонов; заштрихованная область – пески, допустимые для использования в растворах и бетонах

$M_{кр} > 2,5$ – крупный песок – лучше для бетона (хороший – 2–3,25); 2,5–2,0 – средний; 2,0–1,5 – мелкий; 1,5–1,0 – очень мелкий. Зерен более 5 мм должно быть не более 5 %, частиц менее 0,14 мм не более 10 %.

4.2.3. Крупный заполнитель

В качестве крупных заполнителей для тяжелых бетонов используют щебень и гравий из плотных горных пород, щебень из металлургических шлаков, а также щебень из шлаков ТЭЦ с зернами крупностью свыше 5 до 70 мм. Гравий получают рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

Свойства щебня

1. Насыпная плотность $\rho_n = m/V_n$, кг/м³, определяется в сосудах объемом от 5 до 50 л.

2. Истинную плотность горной породы и зерен щебня (гравия) определяют пикнометрическим методом путем измерения массы единицы объема измельченного высушенного материала.

3. Зерновой состав: для оценки зернового состава проводят рассев, по результатам строят кривую и сравнивают ее со стандартной областью допустимых колебаний гранулометрического состава крупного заполнителя.

Зерновой состав щебня (проба 10 кг)

Размер отверстий сит	Остаток		
	Массовый, кг	Частный, %	Полный, %
70			
40			
20			
10			
5			
0			



Рис. 4.4. График зернового состава щебня

Наиболее крупный D – первое сито сверху, полный остаток на котором более 5 %; наименее крупный d – первое сито снизу, полный остаток на котором не менее 95 %. $0,5 (D + d)$; $1,25 D$.

4. По форме зерен щебень подразделяют на три группы, причем к пластинчатым и игловатым частицам относят такие, у которых толщина или ширина меньше длины в три и более раза.

Классификация щебня по форме зерен

Группа	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, % по массе
Кубовидная	До 15
Улучшенная	15–25
Обычная	25–35

Примечание. Наиболее предпочтительна кубовидная форма, обеспечивающая минимальный расход вяжущего.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в крупном заполнителе не должно превышать 35 % по массе.

5. Пустотность щебня не должна превышать 50 %.

6. Содержание пылеватых, илистых и глинистых примесей: в щебне для бетона М300 – не более 2 %; для бетонов более высокого класса – не более 1 %.

7. Прочность щебня и гравия характеризуют маркой, определяемой по дробимости при сжатии в цилиндре: Др – от 200 до 1400, определяется по потере массы от 9 до 35 % для различного типа горных пород.

Марка щебня из изверженных пород должна быть не ниже 800, из метаморфических пород – не ниже 600, осадочных – не ниже 300, гравия – не ниже 600.

Марка щебня из природного камня должна быть не ниже:

- 300 – для бетона класса В15 и ниже;
- 400 – В20;
- 600 – В22,5;
- 800 – классов В25, В 27,5, В30;
- 1000 – класса В40;
- 1200 – В45 и выше.

Допускается применять щебень из осадочных карбонатных пород марки 400 для бетона класса В22,5, если содержание в нем зерен слабых пород не превышает 5 %.

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

4.2.4. Добавки для бетонов

Для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и бетона, снижения расхода цемента, повышения качества и снижения энергетических затрат рекомендуется вводить химиче-

ские добавки, которые в зависимости от назначения делятся на виды:

1. Регулирующие свойства бетонной смеси:

- пластифицирующие для увеличения подвижности бетонной смеси без снижения прочности на всех сроках испытаний;
- стабилизирующие для снижения растрескивания бетонной смеси и повышения однородности;
- водоудерживающие для уменьшения водоотделения и увеличения подвижности бетонной смеси;
- улучшающие перекачиваемость бетонной смеси по трубам;
- замедляющие схватывание (в два раза и более при температуре 20 ± 2 °C);
- ускоряющие схватывание бетонной смеси (на 25 % и более при температуре 20 ± 2 °C);
- поризующие (для легких бетонов) в целях увеличения пористости.

2. Регулирующие твердение бетона:

- замедлители твердения – снижающие прочность бетона на 30 % и более в возрасте 7 суток;
- ускорители твердения – повышающие прочность бетона на 20 % и более в возрасте 1 суток нормального твердения.

3. Повышающие прочность, коррозионную стойкость, морозостойкость бетона и железобетона, снижающие проницаемость бетона:

- водоредуцирующие для снижения расхода воды, повышения прочности бетона, марки по водонепроницаемости;
- газообразующие для повышения морозостойкости бетона;
- воздухововлекающие для повышения морозостойкости бетона;
- кольматирующие для заполнения открытых капиллярных пор в бетоне;
- ингибиторы коррозии арматуры.

4. *Придающие* бетонной смеси (бетону) специальные свойства:

- противоморозные – для твердения бетонов в условиях отрицательных температур;
- гидрофобизирующие – для снижения водопоглощения бетона в 2–5 раз.

Вода и количество добавки в процентах от массы цемента устанавливается опытным путем в зависимости от вида исходных материалов, условий приготовления и твердения бетонной смеси. Обычно это 0,2–3 %.

При использовании добавок следует учитывать требования, которые ограничивают применение добавок в бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях в зависимости от условий их эксплуатации.

4.3. Бетонные смеси и их свойства

Бетонная смесь состоит из щебня (гравия), песка, цемента и воды. Цемент + вода → цементное тесто. Цементное тесто + песок → растворная часть. Цементный раствор + щебень → бетонная смесь. *Бетонная смесь* состоит из твердой фазы (частицы цемента, песок, щебень), жидкой (вода) и газообразной фаз (вовлеченный воздух). Присутствие воды придает связность всей многокомпонентной системе за счет возникновения сил молекулярного сцепления при адсорбции диполей воды на поверхности частиц.

Бетонная смесь по своим свойствам занимает промежуточное положение между вязкими жидкостями и твердыми телами. В отличие от *истинных жидкостей*, растекается и заполняет форму лишь после разрушения структуры (под действием внешних сил). Способность бетонных смесей разжижаться при механических воздействиях и загустевать в спокойном состоянии называется *тиксотропией*. От *твердых тел* отличается отсутствием достаточной упругости и формы (появление при больших нагрузках значительных необратимых деформаций).

Пластические свойства бетонной смеси меняются в течение времени из-за процессов гидратации цемента, испарения части воды – увеличивается пластическая вязкость смеси (загустевает) и ухудшается удобоукладываемость.

В зависимости от соотношения цементного теста и количества заполнителя различают три вида структуры бетонной смеси: I – избыток цементного теста с плавающим заполнителем, хорошая удобоукладываемость; II – с плотной упаковкой заполнителя, обладает меньшей удобоукладываемостью, но более экономична; III – крупнопористая, с недостатком цементного теста, обладает еще худшей удобоукладываемостью.

Свойства бетонных смесей

1. *Удобоукладываемость* – способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться под действием силы тяжести или внешних механических воздействий. Удобоукладываемость оценивается *подвижностью* и *жесткостью*.

Подвижность – способность бетонной смеси растекаться под действием собственной массы. Степень подвижности оценивается осадкой бетонной смеси, укладываемой в три слоя в стандартную конус-форму. Уплотняют каждый слой штыкованием по 25 раз металлическими стержнями – штыковками.



Рис. 4.5. Определение подвижности бетонных смесей

Жесткость – способность растекаться и заполнять форму под действием вибрации. Характеризуется временем вибрации, необходимым для выравнивания конуса из бетонной смеси в специальном приборе.

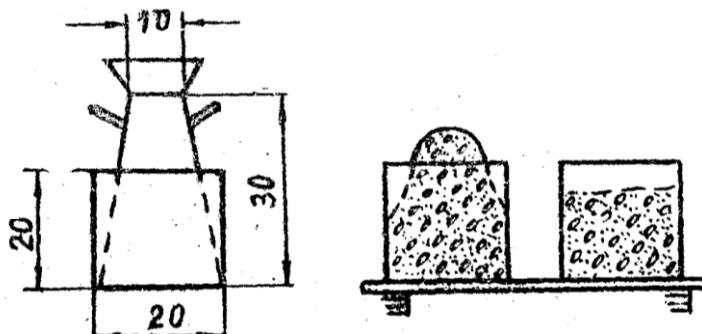


Рис. 4.6. Определение жесткости бетонных смесей

Удобоукладываемость зависит от: вида цемента (больше водопотребность у пуццоланового и ШПЦ); количества воды; количества цементного теста; крупности и формы зерен заполнителя; содержания песка; наличия ПАВ. ПАВ: 1) СДБ – 0,15–0,25 % дает снижение водопотребности смеси на 8–12 % и снижение расхода цемента на 6–10 %; 2) суперпластификаторы (С-3, 10, 03 и др.) – 0,1 %.

Снижение водопотребности при введении ПАВ позволяет: повысить плотность и прочность бетона; ускорить процессы схватывания и твердения бетона; улучшить коррозионную стойкость; повысить долговечность; уменьшить водопроницаемость и истираемость.

Марка по удобоук- ладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю:		
	жесткости, с	подвижности, см:	
		осадка конуса	распływ конуса
Сверхжесткие смеси			
СЖ3	Более 100	—	—
СЖ2	51–100	—	—
СЖ1	50 и менее	—	—
Жесткие смеси			
Ж4	31–60	—	—
Ж3	21–30	—	—
Ж2	11–20	—	—
Ж1	5–10	—	—
Подвижные смеси			
П1	4 и менее	1–4	—
П2	—	5–9	—
П3	—	10–15	—
П4	—	16–20	26–30
П5	—	21 и более	31 и более

2. *Связность* (нерасслаиваемость), характеризует способность бетонной смеси не расслаиваться при транспортировке, выгрузке и укладке.

Бетонная смесь характеризуется также: плотностью; видом крупного заполнителя (щебень, гравий, керамзит); наличием или отсутствием песка; сроками схватывания.

4.4. Твердение бетона

Процесс твердения бетона обусловлен гидратацией цементного вяжущего. Цементные бетоны твердеют медленно при нормальных условиях ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности более 90 % или в воде). Главные составляющие процесса твердения – вода и температура.

Вода. При недостатке влаги возможна неполная гидратация составляющих цемента. Для сохранения повышенной влажности твердеющего бетона его поливают водой, покрывают опилками, пленками, наносят покрытия (кюринг).

Температура. Снижение температуры замедляет скорость прохождения химических реакций. Снижение температуры до +5 °С замедляет скорость твердения в 3–5 раз. Еще медленнее идет процесс твердения при температуре бетона +5–0 °С. Бетон после 28 суток твердения при 0 °С имеет прочность 4 суток при 20 °С.

Если после начального твердения при 0 °С повысить температуру твердения, то скорость твердения и прочность бетона резко возрастают. Замораживание твердеющего бетона приводит к прекращению набора прочности и даже к разрушению неокрепшего бетона под действием замерзающей воды, увеличивающейся в объеме на 9 %.

Процессы схватывания ускоряются при повышении температуры: +15 °С – 4 ч; +50 °С – 50 мин; +100 °С – 35 мин. При температуре 85 °С скорость твердения возрастает в 10 раз.

Пропаривание бетона (тепловлажностная обработка) производится при атмосферном давлении, температуре до 100 °С. *Запаривание бетона* производится при повышенном давлении (до 0,9–1,6 МПа) и температуре 176–200 °С. При этом происходит взаимодействие $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с SiO_2 . Возрастает количество цементирующих веществ, а следовательно, прочность и плотность бетона. При температуре более 100 °С дополнительно ускоряется набор прочности. Оборудование для запаривания – автоклавы.

Недостатки тепловой обработки: нарушение структуры от увеличения объема газовой фазы; в период подъема и снижения температуры возможно неравномерное расширение или сжатие, а также внутренние напряжения; миграция влаги, образование направленной пористости, что ведет к повышению водопроницаемости и снижению коррозионной стойкости бетона; неполнота гидратации из-за образования плотного новообразования

на поверхности зерен цемента. Поэтому качество бетона, твердеющего 28 сут в нормальных условиях, выше, чем пропаренного. Для снижения отрицательных явлений при пропаривании отформованные изделия выдерживают 1,5–2 ч для набора начальной структурной прочности перед *медленным* подъемом температуры в камере.

4.5. Свойства бетона

Свойства бетона зависят от его состава; вида цемента; заполнителей; количества воды затворения (B/C); способа уплотнения бетонной смеси и ухода за бетоном.

1. *Прочность на сжатие* – важнейшая характеристика бетона, зависит от прочности его составляющих (заполнителей и цементного камня); сцепления между ними; плотности структуры (B/C) или ее обратной величины C/B ; способа уплотнения; условий твердения.

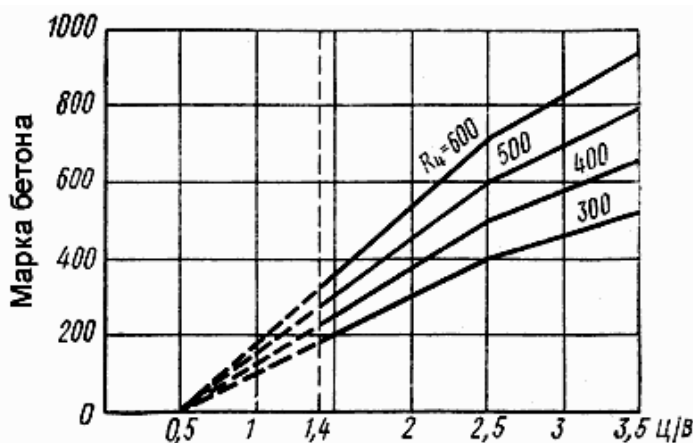


Рис. 4.7. Зависимость прочности бетона от C/B при разных марках цемента

Прочность заполнителей для тяжелых бетонов в 1,5–2 раза выше прочности рядовых бетонов.

В интервале C/B 1,3–2,5 эта зависимость близка к прямой линии и выражается уравнением Боломея–Скрамтаева:

$$R_{\sigma} = AR_u (C/B - 0,5),$$

где A – коэффициент качества заполнителя, средний равен 0,55–0,65.

При $C/B > 2,5$

$$R_{\sigma} = A_1 R_u (C/B + 0,5), A_1 = 0,37–0,43.$$

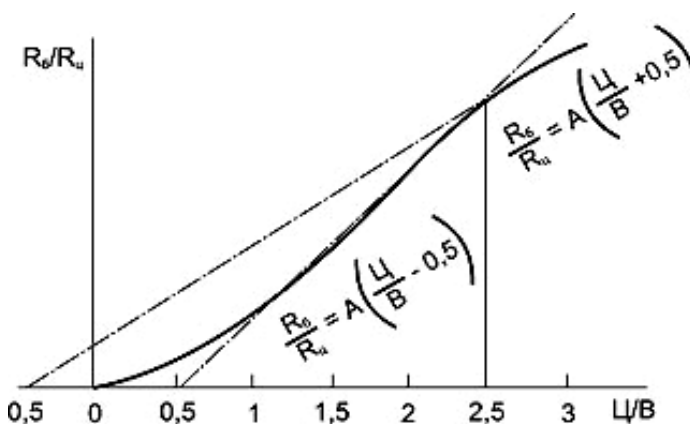


Рис. 4.8. График зависимости прочности бетона

Стандартные размеры образцов для определения прочности – 150×150×150 мм; стандартные условия твердения: $t = 15–20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W \geq 90\%$; $\tau = 28$ сут.

Если размеры образцов другие, то используется переводной (масштабный) коэффициент:

300 мм – 1,1;	100 мм – 0,95;
200 мм – 1,05;	75 мм – 0,85.

В интервале 3–28 сут $R_{28} = R_n \cdot \lg 28 / \lg n$. Через 7 сут достигается примерно 60 % от прочности в 28-суточном возрасте.

Соотношение между прочностью образцов и классом бетона:

$$B = R_{\sigma}^{cp} (1 - 1,64\nu),$$

где ν – коэффициент вариации прочности бетона $\nu = 0,135$ (для сжатия) $\nu = 0,165$ (для растяжения).

Марки и классы бетона по прочности

M50		M100	M150	M200	M250	M300
B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20
M400	M450	M500	M600		M700	M800
B25	B35	B40	B45	B50	B55	B60

2. *Прочность при изгибе.* Образцы – 150×150×600 мм или 100×100×400 мм. Прочность бетонов при изгибе и растяжении меньше прочности при сжатии в 9 (B10)–17 (B60) раз.

$$R_u = 3F \cdot l / 2b \cdot h^2, \text{ МПа.}$$

Есть также классы бетона по прочности на осевое растяжение для некоторых видов бетонов, где это важно: B_p 0,8; B_p 1,2; B_p 1,6; B_p 2.

3. *Упруго-пластические свойства.* Деформации и напряжения в бетоне подчиняются закону Гука: $\varepsilon = \sigma/E$, где ε – относительная деформация; σ – напряжение; E – модуль упругости. При длительном нагружении проявляются и пластические (необратимые) деформации. Модуль упругости бетона $E = 0,14 \cdot 10^6 - 0,4 \cdot 10^6$ МПа. Предельная деформация сжатия (перед разрушением) ≈ 1 мм/м, предельная деформация растяжения $\approx 0,1$ мм/м.

4. *Пористость* бетонов обычно 7–10 %. Для плотных бетонов – это отрицательный фактор, для ячеистых – положительный.

5. *Средняя плотность* зависит от содержания вовлеченного воздуха; количества лишней воды (для гидратации нужно только 18 %); количества цемента; вида и количества заполнителей. Тяжелые бетоны имеют плотность 2200–2500 кг/м³. Легкие бетоны марок – D500–D1200; D800–D2000 (с интервалом в 100 кг/м³).

6. *Сцепление бетона с арматурой.* Истинное сцепление (адгезионное) + сила трения $f = 0,1-0,2$ от R_b . Для увеличения сцепления применяется периодический профиль арматуры.

7. *Усадка и набухание.* Бетонные изделия деформируются при увлажнении–высушивании. Деформирование прямо пропорционально содержанию цементного камня. Усадка обычного бетона 0,1–1,5 мм/м. Набухание в 10 раз меньше. Неравномерная усадка бетона в ранние сроки твердения приводит к появлению микротрещин.

8. *Водопоглощение бетона.* Сорбционное и конденсационное поглощение влаги из воздуха объясняется капиллярно-пористой структурой бетона. Плотный бетон – 0 %; на пористых заполнителях – до 8 % по массе; ячеистый – до 25 %. В воде: плотный бетон – 4–8 %; на пористых заполнителях – 20–25 %; ячеистый – 35–40 %. Полного водопоглощения достичь не удается из-за зацементирования воздуха в микропорах.

9. *Водо- и газонепроницаемость.* Газы имеют большую проникающую способность, чем жидкости. Для бетона напорных труб, туннелей (метро), плотин, наливных и газовых резервуаров важны марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12...W30 (атм). Повышение водонепроницаемости производят полимерными покрытиями, пропиткой уплотняющими составами, уплотнением структуры за счет использования расширяющихся цементов, уменьшения воды затворения, добавок (хлорное железо, алюминат натрия).

10. *Морозостойкость.* При полном насыщении пор бетона водой давление замерзающей воды достигает 250 МПа. В обычных условиях фронт замерзания перемещается, выдавливая часть воды, и давление на стенки снижается. Допустимая потеря прочности или массы до 5 %.

Марки по морозостойкости: тяжелый бетон – F50, F75, F100, F150; напрягающий и мелкозернистый – F200, F300, F400, F500; легкий бетон – F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500; ячеистый бетон – F15, F25, F35, F50, F75, F100.

11. *Стойкость в агрессивных средах* (природные воды, промышленные стоки, газы) зависит от стойкости цементного

камня: плотности бетона; агрессивности и температуры среды; нагруженности и действующих эксплуатационных факторов (замораживание, высушивание).

Метод борьбы: повышение плотности бетона; пропитка бетона полимерами; использование сульфатостойких цементов.

12. *Огнестойкость* – способность сопротивляться действию огня. Огнестойкость бетона – от 2 до 5 ч. Наибольшие повреждения возникают при поливе водой нагретых железобетонных конструкций.

13. *Сохранность арматуры*

Коррозия – электрохимические процессы под воздействием электролитов, приводящие к окислению металла. Скорость коррозии зависит от концентрации кислорода на поверхности арматуры, pH среды и количества растворенных в электролите солей железа. Наиболее опасно переменное увлажнение и высушивание.

Щелочная среда способствует образованию на поверхности арматуры защитной пленки $\text{Fe}(\text{OH})_3$. РН бетона 12,2–12,5 – это обеспечивает пассивацию арматуры. Минимальный защитный слой бетона 10–25 мм. Эффективно также покрытие арматуры полимерными пленками, оцинкование.

14. *Долговечность* (стойкость во времени) определяет экономическую целесообразность применения бетона. В благоприятных условиях бетон может работать сотню и более лет. Неблагоприятные факторы: замораживание–оттаивание; высокие температуры; водонасыщение и высушивание; химически агрессивные среды.

4.6. Методика подбора состава бетона

1. *Исходные данные*: цемент: $\rho_{ц}$, марка или активность $R_{ц}$, $\rho_{нц}$; песок: ρ_n , $\rho_{нт}$, $M_{кр}$; щебень: $\rho_{нщ}$, $\rho_{щ}$, V_n – пустотность щебня в долях ($V_n = \frac{\rho_{щ} - \rho_{нщ}}{\rho_{щ}}$); наибольшая крупность D ; прочность бетона R_b , подвижность смеси (о.к.)

2. Расчет: $R_{\delta} = A \cdot R_c (Ц/B - 0,5)$; $Ц/B = 1,3-2,5$; $A = 0,6$;

$R_{\delta} = A_1 \cdot R_c (Ц/B + 0,5)$; $Ц/B > 2,5$ (В40).

3. Определение цементно-водного отношения для обеспечения заданной прочности бетона:

$$Ц/B = \frac{R_{\delta}}{A \cdot R_{ц}} \pm 0,5.$$

4. Назначение расхода воды B (л) для обеспечения удобоукладываемости бетонной смеси (с учетом вида и прочности заполнителя).

5. Расход цемента на 1 м³ бетонной смеси (кг):

$$Ц = B \times Ц/B.$$

6. Расход заполнителей рассчитывается исходя из условий:

– сумма абсолютных объемов компонентов равна объему бетонной смеси (1 м³):

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{B}{\rho_{в}} = 1;$$

– объем растворной части равен объему межзерновых пустот крупного заполнителя с учетом раздвижки зерен:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{B}{\rho_{в}} = \frac{Щ \cdot V_{\delta}}{\rho_{нщ}} \cdot K_{разд}.$$

Расход щебня и песка на 1 м³ бетонной смеси (кг):

$$Щ = \frac{1}{\frac{V_n + K_{разд}}{\rho_{нщ}}} + \frac{1}{\rho_{щ}};$$

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{B}{\rho_{в}} \right) \right] \cdot \rho_n.$$

Плотность бетонной смеси: $\rho_{бс} = Ц + П + Щ + B$, кг/м³.

7. Изготовление и испытание образцов

Материал	Расход, кг/м ³	
	1 м ³	объем замеса
Цемент		
Песок		
Щебень		
Вода		

Производится корректировка состава, проверка подвижности смеси – добавление цемента и воды или песка и щебня. Изготавливают образцы – кубы – 3 шт. 150×150×150 мм, которые помещают в нормальные условия твердения. Производят испытание образцов, уточнение отношения B/C и пересчет состава бетона.

4.7. Основы технологии бетонов

Технологические этапы изготовления бетонных изделий: приготовление бетонной смеси; транспортирование; укладка и уплотнение; уход за бетоном.

Приготовление бетонной смеси производят на автоматизированных бетонных заводах и растворобетонных узлах (РБУ). Дозирование компонентов производят автоматическими весовыми дозаторами с точностью: цемент – 1 %; песок и щебень – 2 %. Перемешивание осуществляют в смесителях периодического и непрерывного действия, гравитационного или принудительного перемешивания.

Смесители периодического действия: производительность до 36 м³/ч ($V = 2400$ л), непрерывного – до 120 м³/ч; время перемешивания: $V = 425$ л – 1 мин, $V = 1200$ л – 2 мин, $V = 2400$ л – 2,5 мин, для жестких смесей – в 1,5–2 раза больше.

Порядок дозирования: 1) заполнитель; 2) цемент; 3) вода затворения с добавками.

Состав бетонного завода: склад заполнителей; склад цемента; бетоносмесительный узел (БСУ) с резервуарами для во-

ды и добавок; формовочный цех; склад готовой продукции; центральная лаборатория; ремонтно-механические мастерские.

Транспортирование бетонной смеси на малые расстояния производят бадьей, бетоноукладчиком, бетононасосом, ленточным транспортером; на большое расстояние – автосамосвалом, автобетоносмесителем. Длительность перевозки ограничивается 1 часом.

Укладка бетонной смеси производится в формы (опалубку) бетонораздатчиками и бетоноукладчиками, уплотнение – вибрированием. При вибрировании резко уменьшается вязкость бетонной смеси. Для этого используют виброплощадки, поверхностные и глубинные вибраторы. Вибрирование производят до окончания оседания бетонной смеси, $\tau =$ до 1 мин.

Другие методы уплотнения: центрифугирование, вибропрессование, вибровакуумирование, вибропрокат.

Твердение бетона

1. *Нормальные условия*: предохранение уложенного бетона от ударов и сотрясений, резких изменений температуры; полив бетона через несколько часов после укладки – 3–4 раза в сутки до 7 сут; покрытие битумными эмульсиями, латексом, пленками.

2. *Пропаривание бетонных изделий*: применяют пропарочные камеры периодического (ямные) и непрерывного (туннельные, щелевые, вертикальные) действия. Режимы пропаривания: портландцемент – температура 80–85 °С, шлакопортландцемент – 90–95 °С, влажность – 100 %.

Цикл тепловлажностной обработки бетонных изделий складывается из следующих периодов:

- 1) подъем температуры в камере до принятого наивысшего уровня;
- 2) изотермический прогрев изделий в камере при наивысшей принятой температуре;
- 3) охлаждение изделий.

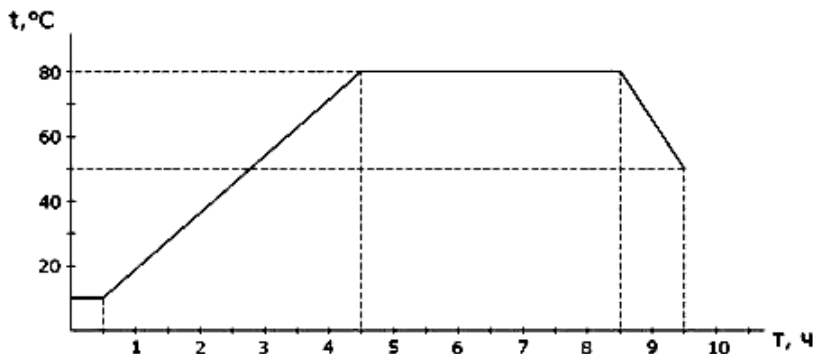


Рис. 4.9. График тепловой обработки в пропарочной камере

Ямные камеры — обычно бетонная коробка, оборудованная теплоизоляцией, съемной крышкой, коллектором для конденсата, системой вентиляции. Высота до 4 м, ширина до 4 м, длина до 13 м. Укладка изделий в 3–6 ярусов в 2–3 ряда, объединяют в блоки до 12 камер.

В камерах *периодического действия* (безнапорных) используется паровоздушная смесь. Вверху — легкий горячий пар, внизу — паровоздушная смесь все меньшей концентрации пара. Поэтому для равномерной тепловой обработки применяется принудительная циркуляция теплоносителя.

Туннельные камеры — тупиковые или проходные. Менее удобные, чем ямные — много места в цехе. Но легче и быстрее загрузка, возможна и механизация процесса.

Туннельные камеры непрерывного действия (длина до 70 м). Для снижения теплотерь, упрощения подведения электроэнергии и отвода конденсата объединяют по горизонтали в один блок. Могут быть одно- и многоярусные. Загрузочное оборудование — подъемник-толкатель (с конвейерной линии подается самоходными передаточными мостами), снижатель.

Щелевые камеры (разновидность туннельных): по высоте — одна форма — вагонетка. Бывают напольные и заглубленные. Нагрев паром или ТЭНами. Для снижения влажности наружных стеновых панелей температура — до 120 °C. Преимущества: нет

перепада температур по высоте, проще регулируется тепло-влажностный режим, меньше теплотери, возможность подъема температуры более 100 °С.

Автоклав. Запаривание, $t = 175\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,9\text{--}1,3\text{ МПа}$. Применяется для ячеистых и силикатных бетонов. Могут быть тупиковые и проходного типа. Режим запаривания: 1-й период – выпуск пара и повышение температуры до 100 °С; 2-й период – подъем давления и температуры; 3-й период – изотермическое выдерживание; 4-й период – снижение давления до атмосферного и температуры до 100 °С; 5 период – охлаждение до 15–20 °С.

4.8. Специальные виды тяжелых бетонов

Гидротехнический бетон. Основные свойства: плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, низкое тепловыделение при твердении, стойкость к коррозии. Используют сульфатостойкий, пуццолановый цементы; тонкомолотые гидравлические добавки, ПАВ – для снижения водопотребности, повышения плотности. Заполнители должны быть тщательно подобраны. При изготовлении качественная укладка и уплотнение, уход за бетоном. Прочность: В7,5, В10... В30 (прочность в 180 сут); морозостойкость: F100, F150, F200, F300, F400; водонепроницаемость: W2, W4... W12.

Наиболее высокие требования предъявляются к бетону для наружных частей сооружений, на которые воздействует замораживание–оттаивание, увлажнение–высушивание, влага, лед и др.

Дорожный бетон используется для покрытия дорог, для которых характерно воздействие транспортных средств и атмосферных факторов (истирание, замораживание–оттаивание, увлажнение–высушивание). Особое требование – повышенная прочность при изгибе. $R_u = 4\text{--}5,5\text{ МПа}$. Классы: В25, В30, В35, В40; морозостойкость: F150, F200, F300. Цемент – пластифицированный или гидрофобный, М500. Заполнители: мытые песок и щебень из прочных пород (гранит). Бетонные смеси – жесткие. Требуется тщательное уплотнение и уход.

Декоративные бетоны применяют для отделки наружных стеновых панелей, внутренних стен, лестничных маршей, малых архитектурных форм. Используют белый и цветные цементы, пигменты щелочестойкие, заполнители цветные. Высоки требования по прочности и атмосферостойкости (для наружной отделки). Фактурная обработка затвердевшего бетона. Классы В10, В12,5, В15. Морозостойкость – не ниже F50.

Жаростойкий бетон предназначен для применения при температуре более 200 °С. Сохраняет свои свойства при длительном воздействии высоких температур. В зависимости от температуры, классы бетона – 3, 6, 7... 18, что соответствует температуре 300, 600... 1700 и более 1700 °С, высокоогнеупорный – более 1770 °С; огнеупорный – 1580–1770 °С; жароупорный – до 1580 °С. По плотности: D300, D400... D1800; по морозостойкости: F15–F75.

Цементы: глиноземистый (для температур более 1000–1300 °С); портландцемент и шлакопортландцемент (максимальная температура – 1150 °С); высокоглиноземистый ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\text{ °С}$) – для температуры 1800 °С и выше. Бетоны на основе жидкого стекла обладают недостаточной водостойкостью, максимальная температура – 1000 °С; расход – 300–400 кг на 1 м³ бетона. Как отвердитель используют кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 – до 12 % от стекла.

Заполнители: металл, шлак, керамический бой, базальт (до 350 °С), кварцит, диабаз, андезит, туф, керамзит, перлит, шамот. Вводят тонкомолотые добавки заполнителей, что способствует дополнительному связыванию СаО с кремнеземом и глиноземом в устойчивые силикаты и алюминаты кальция.

Классы: В7,5, В10, В12,5, В15, В20. Область применения: футеровка промышленных печей, покрытие вагонеток туннельных печей, фундаменты домен, трубы.

Особо тяжелые бетоны (радиационная защита) – для повышенных температур – 51–350 °С, жаростойкие – более 350 °С. Применяют для защиты от облучения на атомных электростанциях. Для защиты от γ -лучей и нейтронов эффективны тяжелые

бетоны с большим количеством химически связанной воды (гидратные бетоны).

Заполнители: магнетит, серпентинит, лимонит (для гидратных бетонов), барит, металлический скрап, чугунная дробь. Средняя плотность $\rho = 4000\text{--}5000 \text{ кг/м}^3$. Наименее стойки кварц и полевые шпаты, которые под действием радиационного излучения увеличиваются в объеме, бетон растрескивается. Улучшают свойства бетона легкие добавки лития, калия и бора (карбид бора B_4C , хлористый литий $LiCl$). Цементы: шлакопортландцемент, портландцемент, глиноземистый (для гидратных бетонов – связанная вода до 30 %, у портландцемента – 18 %) , гипсоглиноземистый расширяющийся.

От нейтронного излучения защищают вещества, содержащие большое количество атомов водорода. Это прежде всего вода. γ -лучи задерживаются тяжелыми химическими элементами, металлами. Для защиты источников излучения (реакторов) устанавливают многослойные конструкции.

Бетонополимеры – бетоны, пропитанные полимерами: петролатумом, битумом, серой, метилметакрилатом, стиролом, эпоксидными и полиэфирными смолами, за счет чего повышается прочность, плотность, химическая стойкость, морозостойкость в несколько раз. R_b достигает 200 МПа.

4.9. Легкие бетоны

Легкими называют бетоны на легких пористых заполнителях, а также ячеистые бетоны. Средняя плотность их в сухом состоянии менее 1800 кг/м^3 . Легкие бетоны находят широкое применение в строительстве: крупные блоки и панели для наружных и внутренних стен, перегородки, плиты покрытий и перекрытий, фермы, балки, прогоны, колонны и др.

Подразделяются *по назначению*:

- *конструкционные* ($1400\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$; $R_b \geq 5 \text{ МПа}$) для несущих конструкций (колонны, балки, плиты);

- *конструкционно-теплоизоляционные* ($500\text{--}1400\text{ кг/м}^3$; $R_b \geq 3,5\text{ МПа}$; λ – до 0,6) – для ограждающих конструкций (наружные стены, покрытия);
- *теплоизоляционные*: $\rho \leq 500\text{ кг/м}^3$; $\lambda \leq 0,175\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{С)}$.

По структуре: обыкновенные; крупнопористые; поризованные.

В зависимости от вида заполнителя: керамзитобетон; шлакобетон; пемзобетон и др.

Вяжущее: 1) портландцемент; 2) шлакопортландцемент; 3) пуццолановый портландцемент; 4) быстротвердеющий портландцемент.

Легкие бетоны обладают рядом преимуществ по сравнению с тяжелыми, это более эффективный строительный материал. *Преимущества*: 1) меньшая средняя плотность (вес конструкций, затраты на перевозки, облегчение строительно-монтажных работ); 2) более высокие теплозащитные свойства за счет высокой пористости (до 85 %). Прочность легких бетонов достаточно высока – до 50 МПа.

Легкие бетоны на пористых заполнителях

Заполнители

<i>Природные</i>	<i>Искусственные</i>
↓	↓
Пемза	Шлаки
Вулканический туф	Зола-унос
Известняк-ракушечник	Керамзит
	Аглопорит
	Вспученный перлит
	Вермикулит
	Гранулы пенополистирола

Марки пористых заполнителей по плотности: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200. Прочность при раздавливании в цилиндре 0,4–20 МПа.

Свойства легких бетонов: плотность, теплопроводность, прочность, морозостойкость.

Средняя плотность и теплопроводность бетона зависят от плотности пористого заполнителя. Соотношение – примерно 1:2 (плотность заполнителя : плотность бетона).

Вид заполнителя	Плотность, кг/м ³	λ , Вт/(м·°С)
Вермикулит	100–200	0,07–0,2
Перлит	150–300	0,08–0,22
Гранулы пенополистирола	10–30	0,037–0,039
Керамзит	250–600	0,16–0,4

Если «тяжелый» заполнитель с $\rho > 600$ кг/м³, то лучше дополнительно поризовать бетон.

Прочность бетона в большей степени зависит от активности цемента, расхода цемента и B/C , так как прочность заполнителя значительно ниже. Классы легких бетонов: В3,5, В5, В7,5, В10, В12,5, В15.

Морозостойкость в зависимости от назначения – F15–100.

Смеси легких бетонов нуждаются в более тщательном перемешивании в смесителях принудительного действия. В их состав рекомендуется вводить воздухововлекающие добавки. Твердеют при пропаривании.

Ячеистые бетоны – разновидность легких бетонов, заполнитель – ячейки 1–2 мм, заполненные воздухом или газом. Пористость – 85 %.

По способу получения пористой структуры различают: газобетон; пенобетон.

По виду вяжущего: газо- и пенобетон на портландцементе; газо- и пеносиликат на извести; газо- и пеногипсы.

По виду заполнителя: молотый песок; зола-унос ТЭС.

По способу твердения: автоклавного; безавтоклавного.

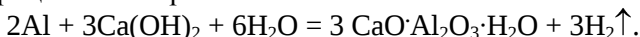
По назначению: теплоизоляционный (плотность – менее 500 кг/м³); конструкционно-теплоизоляционный (500–900 кг/м³); конструкционный (900–1200 кг/м³).

Пенобетон. Состав: цементное тесто + устойчивая пена. Пену получают при взбивании в смесителе (или компрессором)

пенообразователя и воды. Пенообразователи: белковые (пептины), синтетические, природные (канифольное мыло, смолосапониновый корень, гидролизная кровь с боем). Пена должна иметь устойчивую структуру.

Газобетон. Состав: цемент (+ известь) + кремнеземистый компонент + вода + газообразователь (алюминиевая пудра, пергидроль-водный раствор перекиси водорода H_2O_2).

Процесс газообразования:



Возможна частичная или полная замена цемента известью.

Пористость 50–85 %; $\rho = 300\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,09\text{--}0,4 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$; *прочность* В1,0–В10; *водопоглощение* W до 40 %, *морозостойкость* F15, F25, F35. Значительная *усадка* – 1–4 мм/м.

Лучше свойства у ячеистых бетонов с мелкими замкнутыми порами. Огнестойки, хорошие звукоизоляторы, легко обрабатываются.

4.10. Железобетон

Железобетон – это композиционный материал, в котором используется сочетание бетона и стальной арматуры, монолитно соединенных и совместно работающих в конструкции. Бетон является хрупким материалом, плохо сопротивляется растяжению или изгибу, из него изготавливают в основном мелкоштучные изделия (камни, плитки, блоки). Чтобы компенсировать недостатки бетона, его армируют. Сочетание двух крайне различающихся своими свойствами материалов основано на том, что прочность *бетона* при растяжении в 10–20 раз меньше, чем при сжатии, поэтому в железобетонной конструкции он предназначен для восприятия сжимающих усилий. *Сталь*, обладающая высокой прочностью при растяжении, используется для восприятия растягивающих усилий. Взаимодействие этих материалов весьма эффективно: бетон при твердении сцепляется со стальной арматурой и защищает ее от коррозии, так как в процессе гидратации цемента образуется щелочная среда.

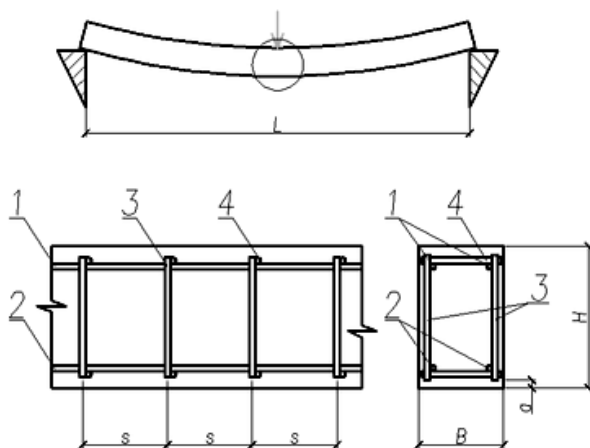


Рис. 4.10. Схема армирования железобетонной конструкции:
 1 – верхняя (сжатая) арматура; 2 – нижняя (растянутая);
 3 – поперечная; 4 – распределительная

Монолитность бетона и стали обеспечивается также близостью их коэффициентов линейного расширения (от $9 \cdot 10^{-6}$ до $12 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$).

Широкое распространение железобетона в современном строительстве обусловлено его техническими и экономическими преимуществами по сравнению с другими материалами. Сооружения из него огнестойки и долговечны. Железобетон обладает высокой несущей способностью, хорошо воспринимает статические и динамические (в том числе сейсмические) нагрузки. Из него легко создавать сооружения и конструкции разнообразных форм, достигающих большой архитектурной выразительности.

Арматура: горячекатанная (стержневая) – диаметр 6–80 мм; холоднотянутая (проволочная) – 3–8 мм, гладкого или периодического профиля; термически упрочненная; упрочненная в холодном состоянии; напрягаемая, подвергаемая предварительному натяжению; ненапрягаемая. Арматуру в зависимости от

механических свойств разделяют на *классы по прочности* от А-1 до А-6. Чем выше класс арматуры, тем выше ее прочность. Арматура класса А-1 является *горячекатанной гладкой*. Остальные классы арматуры – от А-2 и выше – представляют собой *горячекатанную стержневую арматуру периодического профиля*. Классы *термически упрочненной* арматуры подразделяют на: Ат-3, Ат-4, Ат-5, Ат-6, Ат-7.

Арматура	Классы	Вид
Горячекатанная	А-1 (А240)	Гладкая
	А-2 (А300), А-3 (А400), А-4 (А600), А-5 (А800), А-6 (А1000)	Периодического профиля
	А _т -3, А _т -4, А _т -5, А _т -6, А _т -7	Термически упрочненная
	А-3в и др.	Упрочненная вытяжкой
Холоднокатанная	В-1	Гладкая
	В _р -2	Рифленая
Арматурные канаты	К-7	Семипроволочный канат
	К-19	Девятнадцатипроволочный Прокат для закладных деталей
Напрягаемая арматура	А _т -5, А _т -6 В-12, В _р -12 К-7, К-19, А-3в	

Натяжение арматуры может проводиться до и после бетонирования (в каналах с анкеровкой).

По способу изготовления железобетонных конструкций различают: *монолитные* (изготавливают непосредственно на строительной площадке – фундаменты, гидротехнические, транспортные сооружения); *сборные* (на заводах ЖБИ).

Монолитные

Достоинства

- для сильно нагруженных конструкций;
- большеразмерные конструкции;
- нестандартные формы;
- сейсмостойкость

Недостатки

- ручной труд;
- расход вспомогательных материалов для опалубки;
- необходимость ухода при твердении;
- трудности зимнего бетонирования

Сборные

Достоинства

- экономичность;
- качество и высокая степень заводской готовности;
- унификация изделий;
- индустриализация строительства;
- снижение расхода бетона, стали, древесины;
- ускорение строительно-монтажных работ

Недостатки

- бедность архитектурных решений;
- сложность обеспечения герметичности стыков;
- низкая сейсмостойкость;
- высокая стоимость перевозки крупноразмерных элементов;
- сложное оборудование для монтажа

По виду армирования различают железобетонные с обычной арматурой или предварительно напряженные.

Обычная арматура:

- не предохраняет от появления трещин и коррозии арматуры;
- увеличенный прогиб изделий

Предварительно напряженная:

- повышенная несущая способность конструкций;
- ограниченное образование трещин;
- снижение массы конструкций;
- экономия стали

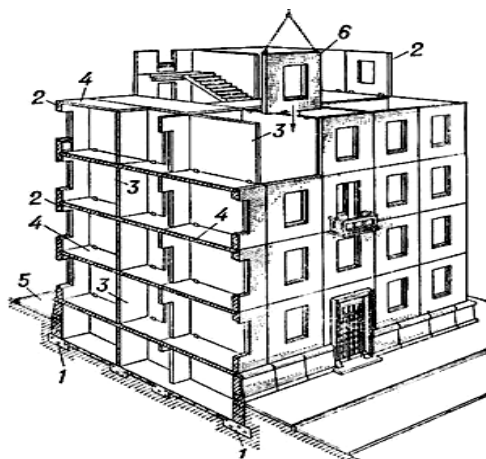


Рис. 4.11. Крупнопанельные конструкции многоэтажного жилого дома: 1 – фундаментная плита; 2 – наружная стеновая панель; 3 – внутренняя стеновая панель; 4 – панель междуэтажного перекрытия; 5 – отсостка; 6 – наружная панель в процессе монтажа

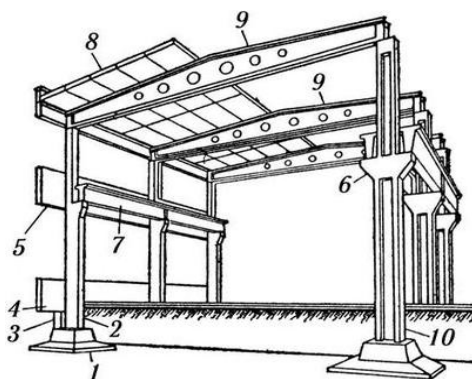


Рис. 4.12. Схема одноэтажного промышленного здания с железобетонным каркасом: 1 – фундаменты под внутренние колонны; 2 – колонны наружного ряда; 3 – подкладка; 4 – фундаментная балка; 5 – стеновые плиты; 6 – консоли колонн; 7 – подкрановая балка; 8 – плиты покрытия; 9 – балки покрытия; 10 – внутренние колонны



Рис. 4.13. Изготовление монолитных конструкций

Основная номенклатура железобетонных изделий, предназначенных для жилищного, гражданского и промышленного строительства: фундаменты, плиты перекрытий, стеновые панели, лестничные марши, сваи, колонны, балки и фермы; элементы тоннелей, резервуары, трубы, опоры линий электропередач, элементы мостов и др.

В зависимости от условий эксплуатации, к изделиям предъявляются разные требования: бетон для ограждающих конструкций – В3,5–В15; для несущих элементов – В20–В60; дорожные плиты – износостойкость, хорошая шероховатость, морозостойкость F300; железобетонные трубы – водонепроницаемость.

Основы технологии сборного железобетона

Основные особенности современного производства сборного железобетона: поточность технологических процессов; узкая специализация технологических линий по виду продукции.

Заводы железобетона (ЗКПД, ДСК, ЗЖБИ, ЗЖБК) могут быть различной производительности: 5–15 тыс. м³/год – малой

мощности; 15–50 – средней мощности; 50–100 высокой мощности; более 100 – сверхвысокой мощности.

Исходные материалы хранятся на механизированных складах: склад цемента; склады заполнителей; склад металла.

Технология изготовления железобетонных конструкций



Способы производства сборного железобетона

1. Стендовый способ

Изделия изготавливают в стационарно установленных неперемещаемых формах. Оборудование и рабочие перемещаются от одной формы к другой. Способ применяют для крупногабаритных изделий, массивных конструкций, которые перемещать в формах нецелесообразно. Выпускают предварительно напряженные конструкции (фермы, балки). Короткие стенды – на 1–2 изделия; длинные – на 3–12 изделий. Длина изделия – до 24 м. Изделия располагают горизонтально и вертикально. Для пропаривания применяют напольные, ямные пропарочные камеры, термоформы.

Арматуру натягивают на упоры стендов гидродомкратами или электротермическим способом.

Короткие стенды прогрессивнее, так как вынужденные простои до начала тепловой обработки меньше, чем на длинных.

2. Агрегатно-поточный способ

Линия включает 3–4 технологических поста, на каждом из которых совмещается несколько операций. Формы транспортируются мостовым краном. Способ применяется для изготовления изделий широкой номенклатуры длиной до 12 м, многослойных плит длиной до 3 м и высотой до 1 м (стеновые панели, блоки, плиты перекрытий, балки, трубы, опоры ЛЭП).

Посты: формовочный; тепловлажностной обработки (ямные камеры); распалубки изделий; отделки поверхности.

3. Конвейерный способ

Непрерывный цикл изготовления с последовательным непрерывным или ритмичным перемещением форм от поста к посту. На каждом посту производится малое количество операций, что позволяет механизировать и автоматизировать процесс. Пропаривание производят в вертикальных и щелевых камерах непрерывного действия. Способ отличается высоким энерговооружением и автоматизацией, высокой производительностью. Недостаток: переход на выпуск другого вида изделий связан с простоями для переналадки и частичной замены оборудования.

Конвейерная линия специального назначения – *стан*. Прокатные станы предназначены для изготовления однотипных изделий (наружные и внутренние панели, плиты перекрытий). Готовые изделия и арматура разрезаются в конце цикла.

4. Кассетный способ

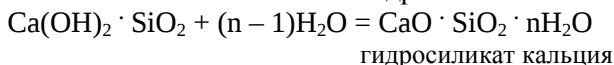
Этим способом изготавливают однотипные плоские изделия небольшой толщины в вертикальном расположении пакетами по 2–14 шт. в специальных кассетах (внутренние стеновые панели, перегородки, плиты перекрытий). Кассеты занимают небольшую производственную площадь и имеют высокую производительность. Изделия отличаются высоким качеством поверхностей, не требующими отделки.

Технология: подготовка форм; чистка; установка арматуры; укладка бетонной смеси; уплотнение навесным вибратором; тепловая обработка в тепловых отсеках.

Недостатки: высокая металлоемкость форм; наличие ручного труда; работа только с подвижными бетонными смесями (перерасход цемента); разброс прочности бетона по сечению изделия; трудность механизации и автоматизации.

4.11. Силикатные изделия автоклавного твердения

В настоящее время производят различные силикатные стеновые и отделочные материалы. Основной состав: известковый + кремнеземистый компонент → гидросиликатное твердение:



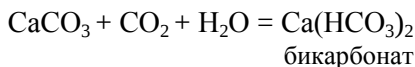
Причины применения: дешевизна и доступность сырья, сравнительно небольшой расход энергии и возможность полной механизации и автоматизации.

Силикатный кирпич. Состав сырья, %: известь – 6–8 (в расчете на CaO); песок – 92–94; вода – 7–8. Прессование происходит под давлением 15–20 МПа, далее сырец запаривается в автоклаве при $t = 175^\circ\text{C}$, $p = 0,8$ МПа на 10–14 часов. После выгрузки происходит дополнительный набор прочности за счет высыхания и реакции карбонизации: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Кирпич бывает одинарный (250×120×65 мм), модульный (25×120×88 мм), с технологическими пустотами. Цвет – светло-серый и цветной. Могут применяться щелочестойкие красители.

Усадки при твердении нет, размеры точные. Плотность – 1800–1900 кг/м³. Теплопроводность $\lambda = 0,82\text{--}0,87$ Вт/(м·°C). Марки: 75, 100, 125, 150, 200, 250; морозостойкость: F15, F25, F35; водопоглощение $W_m = 8\text{--}16$ %. Применяется в многоэтажном жилищном и промышленном строительстве.

Недостатки: пониженная водостойкость (непригоден для фундаментов); низкая огнестойкость (не пригоден для печей, дымоходов); нельзя использовать в кладке цоколя зданий из-за пониженной стойкости в агрессивной среде:



Силикатный бетон – может быть плотный и пористый, обычно получают мелкозернистый. Производят помол комовой извести с песком и гипсом до $S = 3000\text{--}5000$ см²/г, увлажнение, формование изделий виброуплотнением и автоклавную обработку при $t = 175\text{--}190$ °C, $P = 0,8\text{--}1,2$ МПа. Плотность бетона $\rho_m = 1800\text{--}2200$ кг/м³; $R_{сж} = 15\text{--}30$ МПа – без тонкомолотого песка; при добавлении 15–30 % молотого песка $R_{сж} = 40\text{--}60$ МПа. Коэффициент размягчения $K_{раз} \geq 0,75$; морозостойкость F до 50, при добавке портландцемента – до 100 и 200.

Из силикатного бетона получают наружные многопустотные стеновые блоки, внутренние стены, плиты перекрытий, колонны, балки и др. Армированные изделия имеют недостаток – пониженную коррозионную стойкость арматуры (из-за малой щелочности).

Легкие силикатные бетоны. Используются легкие пористые заполнители: керамзит, шлак и др. Теплоизоляционные имеют плотность до 500 кг/м³; конструктивно-теплоизоляционные – 500–1400; конструкционные – 1400–1800; $\lambda = 0,5\text{--}0,7$ Вт/(м·°C); $R_{сж} = 3,5\text{--}20$ МПа; F15–50. Применяют в блоках и для панелей наружных стен.

Ячеистые силикатные бетоны. Получают пено- и газосиликаты. В состав входят известь, гипс, цемент, кварцевый песок, вода и *газообразователь* (алюминиевая пудра) или *пенообразователь*. Происходит реакция с выделением водорода, что приводит к многократному увеличению смеси в объеме, и материал приобретает ячеистое строение. В автоклаве газобетон набирает прочность в течение 10–12 часов. Плотность – 300–1200 кг/м³; $R_c = 1\text{--}20$ МПа; $\lambda = 0,09\text{--}0,4$ Вт/(м·°С).

Применение: стеновые и теплоизоляционные изделия; утеплитель для панелей; камер холодильных установок; элементы наружных и внутренних стен; междуэтажные и чердачные перекрытия.

5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

5.1. Общие сведения

Строительный раствор – это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего, воды и мелкого заполнителя. Строительные растворы отличаются от бетонов отсутствием крупного заполнителя и как следствие – более высоким водосодержанием и пористостью.

Главной особенностью применения строительных растворов является укладка их тонкими слоями на пористые основания (кирпич) без интенсивного уплотнения. Поэтому раствор должен обладать высокой подвижностью и не терять ее из-за отсоса воды пористым основанием. Важным свойством является также хорошая адгезия к основанию

По плотности различают: тяжелые ($\rho \geq 1500 \text{ кг/м}^3$ – кварцевый песок); легкие ($\rho < 1500 \text{ кг/м}^3$ – туф, шлак, керамзит, пемза).

По виду вяжущего: цементные; известковые; гипсовые; смешанные (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые).

По назначению: кладочные; штукатурные (отделочные); специальные (гидроизоляционные, рентгенозащитные, акустические).

Заполнители: кварцевые и полевошпатовые пески, пемзовые, шлаковые, туфовые. Размер зерна – до 2,5 мм. Содержание глинистых, илистых, пылеватых частиц – до 10 %.

В качестве *минеральных пластифицирующих добавок* в цементных и известковых растворах используют глину, в цемент добавляют известковое тесто или тонкомолотый трепел, вулканический пепел, которые улучшают удобоукладываемость растворной смеси, а также ее водоудерживающую способность.

Органические пластификаторы – поверхностно-активные вещества, позволяющие получить удобоукладываемый раствор

при значительно меньшем количестве воды, способствующие повышению морозостойкости (см. 4.2.4). Добавки вводят в растворы в количестве 0,1–0,3 % от массы вяжущего. При работе в зимнее время применяют хлористый кальций, хлористый натрий, поташ, нитрат натрия.

Состав раствора выражается количеством исходных компонентов на 1 м³ растворной смеси (или 1 м³ песка) или соотношением сухих компонентов по массе (или объему). Например, простой раствор 1:3 – на 1 часть цемента приходится 3 части песка; сложный раствор 1:1:5 – на 1 часть цемента приходится 1 часть добавки (извести) и 5 частей песка.

Свойства растворных смесей

1. *Удобоукладываемость* – способность свежееизготовленного раствора распределяться на основании тонким однородным слоем и не расслаиваться при хранении, транспортировании и перекачивании.

Подвижность растворной смеси определяют по глубине погружения стандартного металлического конуса. Подвижность назначают в зависимости от вида раствора и отсасывающей способности основания. Для кирпичной кладки подвижность растворов составляет 8–12 см; для заполнения швов между панелями и другими сборными элементами, а также для бутовой кладки – 4–8 см.

По подвижности растворные смеси делятся на марки:

Марка по подвижности	Норма подвижности, см
Пк 4	От 1 до 4
Пк 8	Свыше 4 до 8
Пк 12	Свыше 8 до 12
Пк 14	Свыше 12 до 14

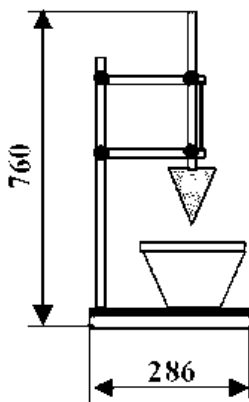


Рис. 5.1. Конус для определения подвижности растворной смеси

2. *Водоудерживающая способность.* Частичное отсасывание воды в кладке уплотняет раствор и повышает его прочность. Водоудерживающая способность возрастает с увеличением расхода цемента, при добавке извести, введении тонкомолотой золы, глины, ПАВ. Водоудерживающую способность растворной смеси определяют путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенного на промокательную бумагу.

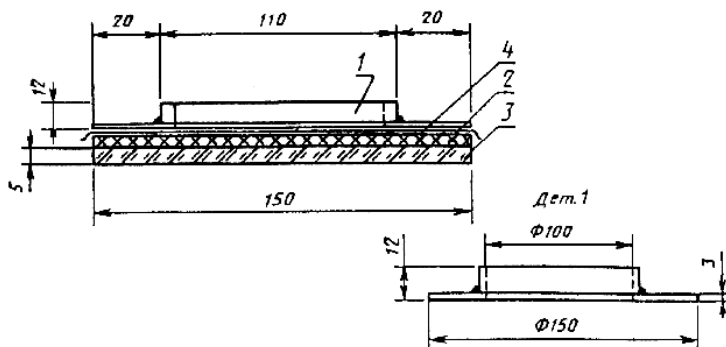


Рис. 5.2. Прибор для определения водоудерживающей способности: 1 – металлическое кольцо с раствором; 2 – 10 слоев промокательной бумаги; 3 – стеклянная пластина; 4 – слой марлевой ткани

Свойства затвердевших растворов

Прочность растворов зависит от активности вяжущего, *В/Ц*, условий твердения. Прочность растворов на сжатие определяются испытанием образцов-кубов 7,07×7,07×7,07 см в возрасте, установленном стандартом. Прочность растворов, уложенных на пористое основание, возрастает в 1,5 раза.

Марки строительных растворов: М4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300; морозостойкость: F10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300.

5.2. Кладочные и отделочные растворы

Кладочные растворы: М10, 25, 50, 75, 100. Подвижность для кирпичной кладки – 7–8 см. Пластифицирующие добавки 0,03–0,2 % от массы цемента. Зимой применяют подогретый раствор (10–20 °С), который после кладки замерзает и набирает свою прочность в весенне-летний период. Для зимних растворов применяются: горячая вода – 80 °С, песок – 60 °С, нитрат натрия – 5 % от воды затворения. Хранят такой раствор в обогреваемой таре, после случайного замораживания раствор непригоден для применения.

Крупность заполнителя: для кирпичной кладки – 2,5 мм, для бутовой – 5–10 мм.

Отделочные растворы подразделяются на обычные *штукатурные и декоративные*.

Для штукатурных работ обычно применяют известково-песчаные, цементно-известковые и известково-гипсовые растворы. Штукатурные растворы отличаются подвижностью, хорошим сцеплением с основанием, отсутствием трещинообразования; подвижность 8–12 см. В отделочном слое наибольшая крупность заполнителя – 1,25 мм.

Штукатурные растворы могут наноситься со следующими целями:

- для предохранения от увлажнения и действия отрицательных температур;
- улучшения теплозащитных свойств;
- улучшения качества поверхности;

- уменьшения воздухопроницаемости стены;
- регулирования звукопоглощающей способности стен, перегородок, потолков и т.д.

Цветные декоративные растворы предназначены для отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков, оштукатуривания фасадов зданий.

Декоративные цветные растворы для внутренней и наружной отделки изготавливают на белых, цветных и обычных портландцементе. Внутри обычно используют растворы на извести и гипсе.

Заполнители: чистый кварцевый песок, песок из гранита, мрамора, стекла; красители: сурик железный, охра, мумия, ультрамарин. Для наружной отделки используют марки М50-150, F35, W_m – до 8 %.

Применяется офактуривание поверхности в процессе укладки раствора (рельефные матрицы) или после затвердевания (абразивные инструменты).

5.3. Специальные растворы

1. *Гидроизоляционные* предназначены для гидроизоляции стен подвалов, подземных сооружений, резервуаров. Применяют портландцемент, сульфатостойкий портландцемент и водонепроницаемый расширяющийся цемент; уплотняющие добавки (латекс, битумная эмульсия, алюминат натрия, хлорное железо). Обычно такие растворы изготавливают состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент : песок по массе)

2. *Инъекционные* растворы применяют для заполнения каналов в предварительно напряженных конструкциях. Различают беспесчаные или на мелком песке. Используют портландцемент М400–500; марка раствора – не ниже М300, ПАВ – до 0,2 %.

3. *Акустические* – разновидность легких растворов. Предназначены для звукопоглощающей штукатурки – для снижения уровня шума и получения «безэховых» помещений. Используют пески до 5 мм из легких материалов: керамзита, пермзы, перлита. Пористость открытая, незамкнутая. $\rho = 600\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$.

4. *Рентгенозащитные растворы* (для рентгенкабинетов) готовят на баритовом песке (BaSO_4) с предельной крупностью 1,25 мм, применяя портландцемент или шлакопортландцемент. В него вводят добавки, содержащие легкие элементы: литий, бор и кадмий.

5. *Тампонажные растворы* – предназначены для гидроизоляции скважин, шахтных стволов и туннелей путем закрытия водоносных грунтов, трещин и пустот в горных породах и заполнения закрепленного пространства. Вяжущим в этих растворах служит специальный тампонажный портландцемент, а в агрессивных водах – сульфатостойкий портландцемент.

6. *Монтажные растворы* предназначены для замоноличивания стыков элементов сборных железобетонных конструкций. Изготавливают на портландцементе, расширяющемся или безусадочном цементах. Марку раствора следует принимать не ниже М100.

Приготовление растворов производят в растворосмесителях периодического и непрерывного действия – 150, 375, 750 л. Перемешивание 1–4 мин. Транспортируют готовые растворы в автосамосвалах, автоцистернах.

Строительные сухие смеси

Прогрессивным направлением в технологии строительных растворов является производство готовых сухих смесей на специализированных предприятиях. На строительной площадке сухая смесь затворяется водой и перемешивается в растворосмесителе. Помимо известных добавок, в сухих смесях используют порошкообразные термопластичные полимеры (дисперсионные порошки) на основе винилацетата, акрилата и метилцеллюлозы.

Сухие смеси по сравнению с товарными растворами позволяют достичь следующих преимуществ:

- стабильность состава в результате точной дозировки компонентов и их тщательного смешения;
- повышение производительности труда строителей благодаря улучшению пластических свойств смесей;

- снижение транспортных расходов;
- экономия вяжущих веществ за счет повышенной вододерживающей способности, что проявляется при введении в сухие смеси полимерных добавок;
- улучшение свойств растворов (адгезии к основанию, прочности, морозостойкости и др.);
- современные добавки делают сухую строительную смесь и клеем для плитки, и затиркой, и шпаклевкой, и штукатуркой;
- строительные сухие смеси обладают высокой технологичностью, так как позволяют провести изоляцию объектов в труднодоступных местах;
- обеспечивается высокая прочность и долговечность покрытия.

6. СТЕКЛО И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

6.1. Состав и основные свойства стекла

История стекла насчитывает около пяти тысяч лет. В России стекло известно с 1635 г.

Изделия из стекла, каменного и шлакового литья, ситаллов и шлакоситаллов относят к группе изделий из минеральных расплавов. *По виду сырья* изделия из минеральных расплавов разделяют на стекольные, каменные, шлаковые материалы; *по структуре* – на стекловидные (изотропность, отсутствие определенной температуры плавления) и кристаллические (сочетание свойств стекла и кристаллических веществ). *Свойства*: долговечность, биостойкость, стойкость к перепаду температур, влагостойкость, атмосферостойкость, невозгораемость, жесткость.

У всех изделий общие технологические принципы получения: подготовка и плавление исходного сырья → охлаждение стекломассы → формование изделий → термообработка для снятия внутренних напряжений.

Основным видом строительного стекла является оконное листовое. Свойства стекла определяются составом входящих в него оксидов. Главными стеклообразующими оксидами являются оксиды кремния, фосфора и бора, в соответствии с этим стекла бывают силикатными, фосфатными и боратными. Основная масса выпускаемых стекол – *силикатные*; *фосфатные* применяют для производства оптических и электровакуумных стекол; *боратные* – рентгенопрозрачные стекла.

Наиболее высококачественное листовое стекло выпускается флоат-способом, т.е. на расплаве металла (олово, медные сплавы). Доля флоат-процесса в США, Японии, Канаде, Англии – 100 %, в других странах Европы – 75 %, в России – около 25 %. Производительность печей в России и за рубежом – 600 т/сут, в Японии есть печи производительностью 1000 т/сут. В последние годы у нас в стране развивается выпуск закаленного строительного стекла и стеклопакетов (за рубежом 50 % про-

емов закрывают стеклопакетами). В США есть технология получения стекла без ванн путем подачи порошкообразного сырья потоком воздуха в газовую горелку, где стекло получается в течение нескольких секунд.

Химический состав стекла

Строительное стекло, %: SiO_2 – 71,5–72,5; Na_2O – 13–15; CaO – 6,5–9; MgO – 3,8–4,3; Al_2O_3 – 1,5–2. В других стеклах содержатся также Fe_2O_3 , K_2O , SO_3 , BeO , ZnO . Изменение состава сырьевой массы приводит к варьированию его свойств. Например, введение в состав стекла оксида свинца PbO и Na_2O приводит к повышению блеска (хрусталь), добавки фторидов и пятиокси фосфора уменьшают светопрозрачность стекол («глухие» изделия).

Свойства стекла

1. *Плотность*. Обычное строительное стекло имеет плотность $2,5 \text{ г/см}^3$. Вообще плотность стекла изменяется от 2,2 до $6,0 \text{ г/см}^3$.

2. *Прочность* при сжатии составляет 500–1000 МПа, при растяжении – 30–80 МПа. Теоретическая прочность при растяжении – 10 000 МПа. Реальная прочность во много раз меньше, чем теоретическая, так как в материале присутствуют микродефекты. Допустимое напряжение листового стекла не более 15–20 МПа.

Способы повышения прочности: травление, закалка, покрытие пленками, армирование. При *травлении* стекла плавиковой кислотой происходит растворение поверхностного слоя и удаление наиболее опасных дефектов, прочность стекла повышается в 3–4 раза. *Закаливание* отожденного стекла увеличивает прочность в 4–5 раз. Нанесение силиконовой пленки после травления также повышает прочность.

3. *Модуль упругости*: стекло – хрупкий материал, его модуль упругости составляет 50–100 ГПа.

4. *Твердость обычного стекла* – 5–7 по шкале Мооса.

5. *Теплопроводность* – $0,4\text{--}0,88 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

6. *Оптические свойства*: светопропускание – до 92 %.

7. *Химическая стойкость*: силикатные стекла не стойки только к плавиковой и фосфорной кислотам.

6.2. Изделия из стекла

Виды строительного стекла

Отличается широкой номенклатурой. Применяется для ограждающих конструкций, а также для внутренней и наружной отделки и декорирования зданий. Разделяется на группы: конструктивно-строительные изделия; листовое строительное и декоративное стекло; листовое стекло со специальными свойствами; облицовочное стекло; цветное художественное стекло.

1. *Конструктивно-строительные изделия*: стеклянные пустотелые блоки (стеклоблоки); профильное стекло; стеклопакеты (внутри для предотвращения запотевания находится силикагель); стеклянные закаленные дверные полотна и другие стеклянные детали.

Стеклоблоки применяют для заполнения проемов, кладки светопрозрачных стен, перегородок, отделки фасадов зданий. Стеклоблоки хорошо рассеивают свет и обеспечивают достаточную теплоизоляцию ограждений. Применяются в производственных зданиях, а также при строительстве в холодном климате с сильным ветром. Стеклоблоки состоят из полублоков (сваренных); бывают квадратными, прямоугольными, круглыми, треугольными, многоугольными; одно- и двухкамерными. Размеры – 194×194×98 и 244×244×98 мм. Прочность при сжатии 4 МПа, теплопроводность 0,4 Вт/(м·°C).



Рис. 6.1. Стеклоблок

Профильное стекло: поперечное сечение – в виде швеллера, замкнутого прямоугольника (стекор), треугольника (стекорт), коробчатый профиль с закругленными торцами (овалкорт). *Профильное стекло* применяют для остекления беспереплетных окон, прозрачных плоских кровель, ограждения балконов, внутренней и наружной отделки промышленных и общественных зданий.

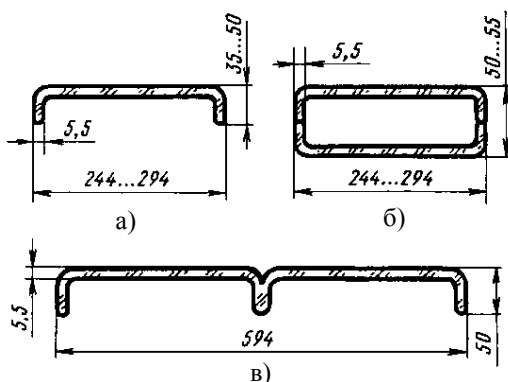


Рис. 6.2. Типы профильного стекла:
а – швеллерное, б – коробчатое, в – ребристое

2. *Листовое строительное и декоративное стекло*: оконное и витринное неполированное (вертикальной вытяжки); витринное полированное и зеркальное (методом горизонтального термического формования на расплаве металла); армированное (с металлической сеткой, прокатное); узорчатое (типа «метелица» и «мороз»).

Оконное стекло имеет габариты до 2200×1600 мм и толщину 2–6 мм; *витринное полированное* – до 4450×2950 мм, толщину 5,5 и 6,5 мм. *Узорчатое* (прокатное) используется для устройства внутренних перегородок, полупрозрачных экранов и ограждений. Нанесение рельефа на стекло придает им высокую степень светорассеяния.

Стеклопакеты – изделия из двух или нескольких стекол, соединенных между собой по контуру. Внутреннее пространство – воздушное, толщиной 6–20 мм. Стеклопакеты изготавливают клееные, сварные, паяные. Распорная рамка – пластмассовая, из алюминиевых сплавов; обрамляющая – из нержавеющей стали. Сварные стеклопакеты получают путем изгибания кромок стеклянных листов с последующей сваркой по периметру. Прочность на изгиб стеклопакета из стекла 5–6 мм и воздушной прослойкой 12–20 мм составляет 90–100 МПа, многокамерных стеклопакетов из закаленной стали – намного выше.

Стеклопакеты используют вместо обычного двойного остекления, существенно снижая теплопотери зданий. Они меньше загрязняются, не запотевают и не обмерзают.

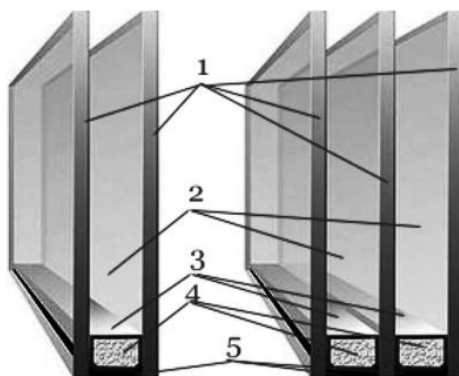


Рис. 6.3. Стеклопакеты: 1 – стекло; 2 – воздушная камера;
3 – алюминиевая планка; 4 – влагопоглотитель;
5 – герметизация

3. *Листовое стекло со специальными свойствами*: уфиолевое – пропускающее ультрафиолетовые лучи (окна детских учреждений, здравниц, спортивных сооружений, оранжерей); поглощающее ультрафиолетовые лучи (библиотеки, архивы, выставочные залы); теплоотражающее (солнцеза-

щитное); теплозащитное (для холодного климата); упрочненное закаливанием (витрины, спортзалы, перегородки); электропроводящее (не запотевают, устойчиво к радиации); звукоизоляционное (стекло с прозрачными полимерными пленками, которые наносят электрохимической обработкой, химическим осаждением из растворов, катодным распылением, испарением в вакууме, термическим разложением солей).

4. *Облицовочное стекло*: марблит (глушеное цветное стекло); прессованные облицовочные плитки ($\delta = 4, 5, 6$ мм; от 50×50 мм до 150×150 мм); эмалированное стекло (стемалит – с одной стороны эмалевая краска, крепится окрашенной стороной внутрь металлического каркаса); коврово-мозаичные плитки ($21 \times 21 \times 4,5$ мм); триплекс цветной (два стекла соединены полимерным клеем или пленкой); стекломрамор; шлакоситалловые плитки (повышенная прочность, химическая стойкость, износостойкость; цвет белый или темно-серый; ударная вязкость 25 кДж/м^2 , прочность при изгибе 65 МПа). Применяют – для наружной и внутренней отделки.

5. *Цветное художественное стекло* – окрашенное в массу, витринное; цветное стекло, окрашенное электрохимическим способом или нанесением оксидных пленок; стеклянная мозаика, смальта (цветное непрозрачное стекло для мозаичных работ – 200 оттенков, получают методом прессования из стеклянных порошков или литьем окрашенной массы). Изготавливают художественные витражи и экраны, декорируют стены, потолки, перегородки; мозаику и смальту используют для наружной и внутренней отделки зданий, изготовления художественных панно.

Технология получения изделий из стекла

Сырье:

- SiO_2 – кварцевые пески, песчаники, кварциты;
- CaO – известняк, мел, доломит (MgO);

- Al_2O_3 (+ попутно Na_2O , K_2O) – полевой шпат, технический гидроксид алюминия;
- Na_2O – в виде соды кальцинированной;
- K_2O – поташ;
- PbO – свинцовый сурик и др.

Сода или сульфат натрия понижает температуру плавления. Na_2SiO_3 ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) – растворимое стекло. Если добавить CaCO_3 , то оно становится нерастворимым.

Основное требование к сырью – это однородность и отсутствие примесей. Например, железистые примеси в кварцевом песке снижают светопрозрачность стекла, поэтому пески тщательно очищают. Для ускорения варки стекломассы в нее вводят стеклобой – 20–40 %.

Вспомогательные материалы: красители, глушители, осветлители, обесцвечиватели, ускорители варки.

Красители – оксиды кобальта, марганца, железа, хрома и др., а также соединения селена, серебра, серы, меди, золота.

Глушители – фосфорнокислые соли, оксид олова, тальк, кремнефтористый натрий. Эффект глушения достигается за счет рассеивания света мельчайшими частицами глушителя. Получаются белые непрозрачные и слабомолочные мутноватые стекла.

Обесцвечиватели: оксиды железа приводят к появлению в стекле желто-зеленоватых оттенков. Эффект обесцвечивания достигается за счет окрашивания в различные цвета.

Осветлители способствуют удалению газовых включений – это триоксид мышьяка, селитра и аммонийные соли. Они выделяют большое количество газов, способствующих интенсивному перемешиванию стекломассы и удалению мелких пузырьков.

Ускорители варки – соединения фтора, хлора, бора, фосфора и аммонийные соли, а также плавиковый шпат.

Подготовка сырья (шихты): сушка и очистка песка от примесей; дробление, сушка и помол карбонатных пород; дозирование и смешение.

Довольно сложно очистить песок от железистых примесей. Для этого применяют промывку в гидромеханических классификаторах (наименее эффективно); оттирку пленок гидроксидов железа с песчинок за счет интенсивного перемешивания пульпы в специальных мешалках; флотационную обработку (наиболее эффективно); магнитную сепарацию; химическое обогащение (щавелевокислым натрием NaHC_2O_4 – дорогой способ, используемый для оптического стекла).

Варка стекла. Получение стекломассы – сложный физико-химический процесс, проходящий в несколько стадий: I – силикатообразование (800–900 °C); II – стеклообразование (1150–1180 °C); III – дегазация (осветление) (1400–1500 °C); IV – гомогенизация (1400–1500 °C); V – студка стекломассы (1150–1200 °C).

Первая стадия (силикатообразование) – при 800–900 °C происходит диссоциация углекислых и других солей с образованием при их взаимодействии силикатов и выделением CO_2 , SO_2 и H_2O , спекание шихты.

Вторая стадия (стеклообразование) – при 1150–1200 °C завершаются реакции силикатообразования, образуется насыщенная газами стекломасса с зернами кварца (до 25 %). Процесс этот идет почти в 10 раз медленнее, чем силикатообразование на первой стадии.

Третья стадия (дегазация) – при 1400–1500 °C. Снижается вязкость стекломассы до 10 Па·с, происходит дегазация и осветление. Самая продолжительная стадия.

Четвертая стадия (гомогенизация) идет параллельно с дегазацией. Усреднение состава массы за счет перемешивания поднимающимися к поверхности пузырьками воздуха.

Пятая стадия (студка) – равномерное снижение температуры на 200–300 °C. Возрастает до 100 Па·с вязкость стекломассы (температура – 1150–1200 °C), что необходимо для выработки стекла.

Варку стекла производят периодическим (горшковые и ванны с малой емкостью печи) и непрерывным (ванные печи с большой производительностью) способами.

В *периодических печах* все стадии стекловарения протекают последовательно в одном объеме, а в *непрерывных* – одновременно, но в разных частях печи. Наиболее употребительны ванны печи: пламенные; электрические (стекломасса при температуре более 1000 °С проводит ток с выделением тепла); пламенно-электрические.

Ванные печи непрерывного действия оборудованы механическими загрузчиками и автоматикой. Бассейн разделяется экранами, заградительными лодками. Загрузка и выработка производится непрерывно. Движение стекломассы происходит за счет непрерывной выработки и конвекционных потоков вследствие разницы температур.

Производительность непрерывных печей – до 250 т стекломассы в сутки; коэффициент полезного действия электрических печей в 3–5 раз выше вследствие более эффективного использования тепла и снижения теплопотерь.

Выработка листового стекла: вытягивание (оконное стекло толщиной до 6 мм); прокат; огневая полировка (флоат-способ) (витринное, армированное и др.).

Вытягивание производят вертикальным и горизонтальным способами.

1. *Вертикальное вытягивание стекла (ВВС)* производится с помощью шамотной «лодочки» в машинах ВВС (высота – 5–7 м, несколько секций). Скорость вытягивания – 120 м/ч, ширина ленты стекла – до 4,5 м. Недостаток – нельзя полностью устранить полосность и волнистость стекла. При безлодочном способе вместо лодочки используют поплавок со сквозной щелью.

2. *Горизонтальный безлодочный* (поплавок) способ: сначала стекломасса вытягивается вертикально, потом загибается и лента тянется горизонтально. Скорость вытягивания – до 180 м/ч, толщина стекла – 0,6–30 мм.

Способ проката (цветное утолщенное, армированное, узорчатое, волнистое). Прокат производится металлическими валками из жароупорной стали, охлаждаемыми водой. Стекло-

масса поступает через сливной порог (щель). Различают периодический и непрерывный способы проката, в соответствии с видом печей для варки.

Изготавливается стеклолента толщиной 3–40 мм, шириной 3000 мм. Скорость проката – 240 м/ч и более.

Для изготовления узорчатого стекла на поверхности одного из валков прокатной машины имеются рифления. При армировании металлическая сетка проходит между валками и запрессовывается в стекломассу. Волнистые листы получают на специальных гофрирующих станках.

Недостатки проката: нельзя получать стекло тоньше 3 мм; необходима дополнительная шлифовка и полировка поверхности, что ведет к удорожанию производства. Шлифовку проводят на специальных установках или конвейерах; абразивы: песок, корунд, карборунд. Полировка производится войлоком с добавлением полировальных порошков (оксид железа).

Флоат-способ – самопроизвольное формование стекла на расплаве металла (олова, сплава свинца, меди и др.). Отличается высокой степенью полировки и ровностью поверхности. Используется для специальных стекол: светопоглощающих, теплоотражающих. Под действием электрического поля происходит внедрение ионов металла в поверхностный слой стекла. Этим способом изготавливают высококачественное цветное стекло (серое, бронзовое, «метелица»). Способ экономичен, высокопроизводителен, позволяет изготавливать стекло высокого качества. Вытесняет машины ВВС.

Отжиг необходим для уменьшения остаточных напряжений: медленное охлаждение стекла в интервале отжига – 530–470 °С (4–8 мин), затем – быстрое охлаждение до 20–50 °С.

Закалка (термическая обработка) создает сжимающие напряжения во внешних слоях и растягивающие – во внутренних. Предел прочности при изгибе возрастает до 270 МПа. Производится нагрев до температуры потери хрупкости (630–650 °С),

затем – быстрое и равномерное охлаждение потоками холодного воздуха в течение 2,5–3 мин. Такое стекло нельзя сверлить или резать.

6.3. Ситаллы и литые каменные изделия

Это стеклокристаллические материалы, получаемые при введении в состав стекломассы добавок (кристаллизаторов) с дополнительной (после формования) термической обработкой изделий. Структура – мелкие кристаллы (1 мкм), равномерно распределенные в небольшом количестве стекла (5–10 %).

Ситаллы получают из химически чистого сырья, шлакоситаллы – из металлургических шлаков. Разновидности: пеношлакоситаллы, стеклокремнезит (в результате спекания смеси гранул стекла с песком), ситаллопласты (фторопласты, наполненные порошкообразным ситаллом), золоситаллы (получены из золы), петроситаллы (базальт, диабазы, сланцы). Дополнительные компоненты – катализаторы, интенсифицирующие процесс кристаллизации стекла (оксид меди, серебро, золото, оксиды и соли титана, лития, циркония).

Свойства: прочность; твердость; химическая стойкость; стойкость к тепловым воздействиям; диэлектрическая проницаемость; сопротивление изгибу – 120–260 МПа. Ситаллы лишены недостатков стекла: хрупкости, низкой термостойкости и малой прочности при изгибе.

Изделия из ситаллов производят методами вытягивания, проката, прессования, выдувания. Дополнительная операция – термическая обработка изделий после их формования перед отжигом с целью перевода стекла в стеклокристаллическое состояние.

Область применения в строительстве: полы; лестничные ступени; подоконники; наружная и внутренняя облицовка стен, перегородок, колонн; слоистые навесные панели и панели перегородок. Эффективно их применение на предприятиях с агрес-

сивной средой (химические заводы), с тяжелым температурно-влажностным режимом.

Литые каменные и шлаковые изделия получают литьем из расплавленных природных каменных материалов. Плотность – 2,9–3,0 т/м³; прочность при сжатии – 200–240 МПа, при изгибе – 40–50 МПа, при растяжении – 20–30 МПа; пористость – 1–2 %; низкое водопоглощение, высокая морозостойкость и химическая стойкость; истираемость в 3–5 раз меньше, чем у гранита, базальта, диабазы – 0,07 г/см²; высокая термостойкость.

Литые изделия применяют в ответственных конструкциях, работающих в тяжелых условиях (стирание, агрессивная среда, замораживание–оттаивание): плитки для полов в агрессивных средах; изделия для футеровки травильных ванн на химических предприятиях; футеровки аппаратов; брусчатка для мощения дорог; мелющие тела для различных мельниц; трубы в особо тяжелых условиях эксплуатации; облицовка цоколей зданий; декоративная отделка зданий.

7. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА

7.1. Общие сведения о керамических строительных материалах

Керамика – искусственный каменный материал, получаемый при обжиге глинистого сырья. Производили керамику еще в глубокой древности. Причина этого – в распространенности сырья и простоте технологии. Несмотря на широкое использование в строительстве бетонов и других прогрессивных материалов, керамика не сдает своих позиций. Из кирпича строят более 50 % ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. В последнее время упор делается на производство эффективной пустотелой керамики, высококачественных отделочных и изоляционных керамических материалов. Например, средняя плотность обыкновенного кирпича – $1600\text{--}1800\text{ кг/м}^3$, эффективного – менее 1400 кг/м^3 .

Классификация керамических материалов

По назначению: стеновые; кровельные, облицовочные, для полов, специальные (сантехника, дренаж, канализация).

По структуре: пористые (пористость более 5 % – землистый излом); плотные (пористость менее 5 % – блестящий излом).

По состоянию лицевой поверхности: гладкие; офактуренные (шероховатость, рельеф); глазурованные (обжиг состава на изделии); ангобированные (обжиг состава на сырце).

Прочность керамических материалов – не более 550 МПа, средняя плотность $200\text{--}2700\text{ кг/м}^3$, водопоглощение – от 0 до 90 %.

Глины как сырье для строительной керамики

Глины образовались в результате выветривания изверженных горных пород, содержащих полевой шпат (гранит, гнейс, порфир). Процесс выветривания включает в себя химическое

разложение полевого шпата водой под действием уголекислоты и механическое разрушение горной породы.

Глинистое вещество в чистом виде называют каолинитом $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – это водный силикат глинозема (каолин – китайское название горного хребта, где добывали белую глину).

Так как горная порода, помимо полевого шпата, содержит кварц, слюду, железистые соединения, то первичная глина содержит зерна кварца, слюды и другие примеси.

Если первичная глина переносится водой, то более крупные частицы оседают раньше и глина очищается. Иногда загрязняется дополнительно илом, песком, известняком. Это – вторичная глина. Глина ледникового периода смешана с валунами.

В зависимости от степени загрязненности глины разделяют на следующие виды: *каолин* – чистая глина белого цвета, применяется для изготовления изделий тонкой керамики (фаянс, фарфор) и облицовочных плиток; *гончарная глина* – загрязненная примесями, применяется для изготовления посуды и керамических плиток; *кирпичная глина* – наиболее загрязненная песком, пылью, органическими примесями, железистыми соединениями, применяется для производства кирпича.

Химический состав глин

Оксиды	Каолинит	Кирпичная глина
SiO_2	46,4	54,6
Al_2O_3	39,7	14,6
Fe_2O_3	–	5,7
CaO и MgO	–	8,1
K_2O и Na_2O	–	5,9
CO_2	–	4,8
H_2O	13,9	4,6

Песок препятствует усадке; если его много, то усложняется формование. Известняк (пыль) и Fe_2O_3 безопасны, но в огнеупорах снижают температуру плавления. Известняк (зерна) при обжиге превращаются в $\text{CaO}_{\text{св}}$ (известь), которая потом гасится на

воздухе, образуя «дутики». Органические примеси безвредны, но образуют поры, что иногда нежелательно.

Цвет глин: желтый, красный, бурый – значит много окислов железа; черный – углистые примеси; серый – окись марганца; белый – чистый каолинит.

Механический состав глин: глинистое вещество – менее 0,005 мм; пыль – 0,005–0,15 мм; песок – 0,15–5 мм. Частицы каолинита имеют форму чешуек.

Механический состав глин

Материалы	Частиц, %	
	глинистых	песка и пыли
Тяжелая глина	более 60	менее 40
Глина	60–30	40–70
Суглинок	30–10	70–90
Супесь	10–5	90–95
Песок	менее 5	более 95

Свойства глин

Пластичность – свойство глин изменять форму под нагрузкой без образования трещин и сохранять полученную форму после снятия нагрузки. Пластичность проявляется только увлажненной глиной. Наиболее пластична жирная глина – с большим содержанием каолинита. Тошная – с большим количеством примесей. Показатель пластичности – это число пластичности $Пл = W_m - W_p$, где W_m – влажность в %, соответствующая нижнему пределу текучести (когда две порции глины при встряхивании не слипаются); W_p – влажность, соответствующая пределу растягивания глиняного жгута (когда скатываемая в тонкие жгуты глина начинает крошиться).

Для высокопластичных глин $Пл > 15$ (растрескиваются при сушке); для умеренно-пластичных $Пл = 7–15$ (используются чаще всего); для малопластичных $Пл < 7$ (плохо формируются).

Изменение глины при высыхании: усадка – уменьшение линейных размеров и объема глиняного сырца при сушке (воздушная усадка), обжиге (огневая усадка). Воздушная усадка

(линейная) глин составляет 2–12 %. Для уменьшения усадки применяют отошители или снижают формовочную влажность глин введением 0,05–0,2 % ПАВ. Огневая усадка происходит в процессе обжига глин за счет расплавления легкоплавких составляющих и сближения частиц. Огневая усадка составляет 2–8 %. Полная усадка колеблется от 5 до 18 %.

Процессы, происходящие в глине при нагреве: испарение свободной воды (100 °C); удаление химически связанной воды (150–750 °C), а также выгорание органических примесей (до 900 °C). В результате потери воды глина становится пористой и теряет пластичность. Каолинит теряет воду: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, далее распадается на свободные оксиды Al_2O_3 и SiO_2 (более 900 °C). Затем эти оксиды соединяются, образуя новый минерал муллит – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (более 1000 °C). Этот минерал придает обожженному изделию прочность, водостойкость, термическую стойкость.

Закись железа FeO переходит в окись Fe_2O_3 . При этом меняется цвет глин. Белый и светло-желтый → серый, светло-красный → красно-коричневый (бурый). Глины, содержащие углекислый кальций CaCO_3 , приобретают после обжига желтый цвет. Часто с повышением температуры обжига глина становится более темной.

Спекание глин происходит при температуре 950–1000 °C. Если температуру повысить, то происходит расплавление массы и растекание расплава.

Огнеупорность глин зависит от состава сырья. Чистый каолинит плавится при 1770 °C. Различные примеси (Fe_2O_3 , CaCO_3 и др.) заметно понижают температуру плавления. По степени снижения влияния на температуру плавления *плавни* располагаются в ряд $\text{FeO} \rightarrow \text{MgO} \rightarrow \text{CaO} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{O}$. Они понижают и температуру спекания. Добавление плавней способствует снижению расхода топлива. При производстве огнеупоров плавни не добавляют.

7.2. Основы производства керамических материалов

Технология производства включает в себя три основных этапа: подготовка минеральной смеси, формование, обжиг.

Сырье – глина, состоит из минералов вида $Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ (гидроалюмосиликаты), а также содержит кварц, слюду, окислы железа. Пластичность и связующие свойства глин зависят от содержания тонкодисперсных водных силикатов глинозема. Для улучшения технологических свойств в глины вводят добавки: *отощающие* – для уменьшения усадки (песок, молотый шлак); *выгорающие и порообразующие* – для снижения средней плотности (уголь, известняк, мел); *плавни* – для понижения огнеупорности (полевой шпат, стекло). Глины разделяют по огнеупорности на легкоплавкие (до 1350 °С), тугоплавкие (1350–1580 °С) и огнеупорные (более 1580 °С).

Подготовка сырья: очистка, измельчение, введение добавок, увлажнение. В зависимости от количества воды различают три способа производства керамики: *сухой* способ (влажность 8–13 %); *пластический* (18–26 %); *мокрый* или *шликерный* (более 30 %).

Формование: *сухой* и *полусухой* способы – прессованием; *пластический* – экструзией (полуфабрикат перед обжигом подсушивают); *мокрый* – литьем. Плитки изготавливают прессованием и литьем, в качестве плавней в шихты добавляют стеклобой. Применяется быстроспекающаяся (16–17 мин) керамическая масса с температурой обжига 1050–1100 °С. Черепок с водопоглощением 10–12 %.

Глазури – легкоплавкие борсодержащие материалы. Состав глазури: полевой шпат, каолин, песок, мел, сода, борная кислота, сурик свинцовый или оксид цинка.

Обжиг – важнейший этап производства керамики. Во время обжига происходят физико-химические процессы, в результате которых отформованная масса спекается с образованием плотного черепка. Легкоплавкая часть глины расплавляется и заполняет поры, обволакивая твердые агрегаты и скрепляя их после охлаждения. При этом происходит некоторая усадка и уп-

лотнение материала. Пористую керамику обжигают до неполного спекания (900–1000 °С), плотную – до сплавления глинистой массы (при 1150–1400 °С).

7.3. Керамические изделия

Стеновые изделия. К этой группе относят рядовые, лицевые и эффективные изделия.

Эффективность оценивают по величине средней плотности изделий в сухом состоянии:

- высокой эффективности – со средней плотностью ρ_m 800 кг/м³ и менее, коэффициент теплопроводности λ – до 0,20 Вт/(м·°С);
- повышенной эффективности – $\rho_m = 801\text{--}1000$ кг/м³, λ свыше 0,20 до 0,24;
- эффективные, $\rho_m = 1001\text{--}1200$ кг/м³, λ свыше 0,24 до 0,36;
- условно эффективные – $\rho_m = 1201\text{--}1400$ кг/м³, λ свыше 0,36 до 0,46;
- малоэффективные (обыкновенные) – ρ_m свыше 1400 кг/м³, λ свыше 0,46.

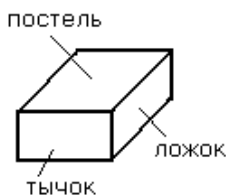


Рис. 7.1. Общий вид кирпича

Различают несколько разновидностей керамического кирпича: рядовой, лицевой (улучшенный вид ложка, тычка), с горизонтальными (на постели) или вертикальными (на тычке) пустотами. Также различают кирпич (до 4,4 кг), камни (до 16 кг), блоки (до 45 кг и более). Кирпич имеет размеры 250×120×65 мм (утолщенный или модульный – 88 мм, полнотелый или пустоте-

лый); камень 250×120×138 мм (пустотелый). Модульные кирпичи и камни выпускаются и больших размеров.

Кирпич пустотелый пластического формования имеет сквозные круглые, квадратные или щелевидные отверстия, а полусухого прессования – сквозные цилиндрические пустоты. *Пористо-пустотелый кирпич* получают аналогично пустотелому, но в состав керамической массы вводят выгорающие добавки.

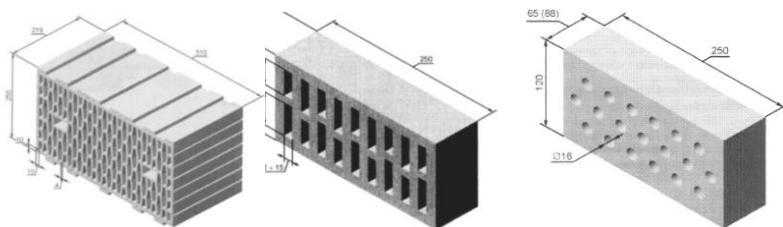


Рис. 7.2. Керамический кирпич с различными типами пустот

Эффективная керамика применяется для кладки ограждающих конструкций, а полнотелый кирпич – в условиях повышенной влажности (бани), несущих конструкций (цоколи, своды), дымовых труб. *Марки кирпича по прочности*: 75, 100, 125, 150, 175, 200 и 300 кгс/см². Определяют марку после испытаний на сжатие и изгиб (по минимальному результату серии из 5 кирпичей). *Марки по морозостойкости*: F15, 25, 35, 50, 100.

Кирпич и камни должны соответствовать определенным размерам и форме, не иметь механических повреждений. Водопоглощение должно быть: у полнотелого кирпича – не менее 6–8 %, у пустотелого – 6 %. Не допускается недожог и пережог, а также известковые включения.

Облицовочные изделия: выпускаются кирпич и камни лицевые, плитки фасадные, ковровая керамика.

При необходимости получения цветного кирпича используют различные добавки для объемного *окрашивания* изделий при их производстве или *декорируют поверхности нанесением* на тычок и ложок тонкого слоя ангоба, глазури, порошковой по-

лимерной краски, а также *офактуриванием поверхности* накаткой минеральной крошки с помощью валика, гребенок или способом торкретирования.

Для облицовки фасадов зданий часто используют плитки керамические малогабаритные цокольные. Их изготавливают глазурованными или неглазурованными. Лицевая поверхность плиток может быть гладкой или рельефной, частично или полностью покрытой одно- или многоцветной глазурью. Плитки изготавливают квадратной и прямоугольной формы размерами от 50×50×4 до 300×150×9 мм.

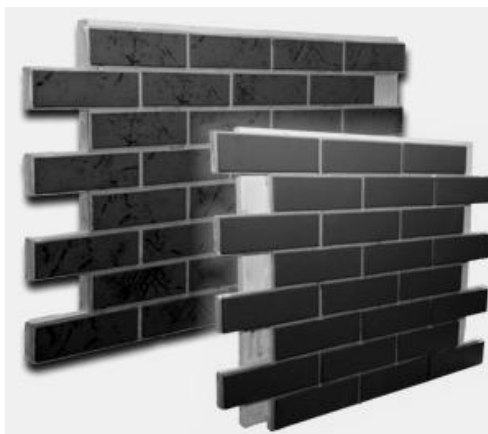


Рис. 7.3. Плитка фасадная

Плитки для полов: различают обыкновенные керамические (метлахские) плитки или для мозаичных полов. Полы из керамических плиток практически водонепроницаемы, что обеспечивается их низким водопоглощением (не более 3,5 %), характеризуются малой истираемостью (0,18 г/см²), не дают пыли, легко моются, прочность при изгибе – до 40 МПа. Такие плитки стойки в агрессивных средах. Форма их разнообразна (квадрат, прямоугольник, треугольник, шести- и восьмиугольник и др.), размеры 150×150, 100×100 мм и др.

Состав сырьевой массы для плиток: пластичная глина, плавни (перлит, пегматит), отощители (шамот, песок), красители (бурый железняк, окись хрома и др.). Масса может быть порошкообразной (наиболее современный вариант), пластичной, жидкой. Чаще всего применяется шликерный способ приготовления пресс-порошка.

Технологические операции: прессование порошка (до 25 МПа) → сушка → обжиг (1200–1280 °С). Изготавливаются плитки на конвейерно-поточных линиях прессованием или литьем.

Для *прессования* используются механические прессы с усилием до 30 МПа с плавной подачей давления. За рубежом используются прессы с давлением до 80 МПа. Штабелирование плиток производится вакуум-присосками. Печи для обжига плиток работают на природном газе.

Для обеспечения качества изделий производится двукратный *обжиг*: 1-я печь (1080 °С) → глазуровка → 2-я печь (1000 °С).

Литье. В литьевой технологии применяют специальные пористые керамические плиты-подложки, которые хорошо отсасывают влагу:

- 1) полив разделительного слоя (суспензия мела 90 % + глины 10 %);
- 2) полив основной массы плитки;
- 3) полив глазури;
- 4) разрезка отлитой пластины;
- 5) сушка и обжиг.

В настоящее время выпускается группа современных отделочных материалов, таких как *керамический гранит, клинкерный кирпич и плитки, крупноформатный керлит*, идентичный по составу керамическому граниту. Эти материалы используют для всех типов поверхностей как внутри, так и вне помещений.

Основные физико-механические свойства и область применения:

– *керамогранит*: F150; водопоглощение – 0,45 %; твердость лицевой поверхности – 6; износостойкость 0,12 г/см²; предел прочности при изгибе – 40,5 МПа; химически стоек; применяют для полов и фасадов;

– *клинкерные изделия* – дорожный (клинкерный) кирпич: марки – 400, 600, 1000; водопоглощение – 2–6 %; морозостойкость – F50–100; применяется для мощения дорог и тротуаров, полов промышленных зданий, клинкерная плитка – для отделки фасадов; выпускается методом полусухого прессования и пластического формования, иногда применяется наливной способ; сушка и обжиг отформованных изделий производится в туннельных печах.

– *керлит* (Kerlite) – это гибкий керамический лист, отличительной чертой которого является толщина, составляющая всего 3 мм при размере листа до 1,2×3,6 м; легкий – 7 кг/м²; гибкий – можно гнуть, резать, по физико-механическим свойствам не уступает керамограниту; прочность и износостойкость сравнима с керамогранитом, что расширяет сферу применения материала, позволяя использовать его для облицовки стен, полов, фасадов зданий и мебели.

Специальная керамика: трубы, санитарно-технические изделия, огнеупоры.

Трубы: дренажные (длина – 333 мм, внутренний диаметр – 25–250 мм, толщина – 8–25 мм; за рубежом используют восьмигранные для облегчения укладки на вагонетки при обжиге) и канализационные (длина – 1000–1200 мм, внутренний диаметр – 150–600 мм; внутри и снаружи – глазурь, выдерживают давление до 0,2 МПа в течение 5 мин без просачивания воды).

Формование труб производится с помощью ленточного пресса пакетами по 2–4 трубы, соединенных спайками, которые разделяют после обжига.

Керамическая черепица. Для повышения качества сырья проводят промораживание глины в буртах (до 7 лет). Обжиг осуществляют при 950–1000 °С. Долговечность керамической черепицы – более 100 лет. Марки по морозостойкости – F25 и более.

Санитарно-технические изделия – это объемные изделия сложной конфигурации (умывальники, унитазы, ванны, смывные бачки). Для производства этих керамических изделий ис-

пользуют *беложгущиеся* огнеупорные глины и каолины, составляющие около 50 % состава формовочной массы, а также добавки кварца и полевого шпата. Изготавливают санитарно-строительные изделия преимущественно методом литья, обжиг производят при температуре 1250–1300 °С.

В зависимости от пористости черепка изделия классифицируют на *фаянсовые, полуфарфоровые и фарфоровые*. Пористость черепка существенно влияет на основные свойства. Чем плотнее черепок, тем более тонкостенными могут быть изделия. Большинство предприятий выпускает полуфарфоровую продукцию.

Изделия	Показатели свойств			
	Водопоглощение, % не более	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа, при	
			сжатии	изгибе
Фаянсовые	9–12	1820–1960	До 100	15–30
Полуфарфоровые	3–5	2000–2200	150–200	38–45
Фарфоровые	0,2–0,5	2250–2300	До 500	70–80

Сырье: глина, кварц, мел или известняк – мягкий фаянс; глина + кварц + полевые шпаты – современный твердый фаянс; глина + мел – кафели печные для изразцов.

Фаянс отличается от фарфора большим содержанием глины – до 85 %. Фаянс обжигают при 1230–1280 °С, затем наносят глазурь и вторично обжигают для разлива глазури при 1050–1150 °С. На всех старинных фаянсовых изделиях глазурь покрыта сеткой мелких трещин (цек) за счет поглощения влаги фаянсом и частичного набухания до 0,1 % по объему. Чистое сырье дает белый цвет фаянсу (он белее фарфорового) за счет незначительного количества стеклофазы.

Огнеупоры. Огнеупорность – способность длительное время противостоять высоким температурам без деформирования. Огнеупоры изготавливают в виде кирпича, блоков, плит и фасонных элементов из различных сырьевых компонентов пластическим формованием или полусухим прессованием. Применяют для футеровки печей.

Различают огнеупорные керамические материалы (1580–1770 °С), высокоогнеупорные (1770–2000 °С), высшей огнеупорности (более 2000 °С). Шамотные огнеупоры получают из огнеупорных глин с добавками шамота (обожженных глин). Высокглиноземистые огнеупоры получают из высокглиноземистого сырья ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 45 \%$): из бокситов, корунда (огнеупорность – до 2000 °С).

Кислотоупорные изделия получают из глин, не содержащих примесей карбонатов, гипса и др., снижающих химическую стойкость. Кислотоупорный кирпич и плитка служат для футеровки башен и резервуаров на химзаводах, устройства полов в агрессивных цехах. Кислотоупорные трубы применяют для перекачки органических кислот и газов.

Свойства специальных керамических плиток: кислотостойкость – не менее – 97–98 %; водопоглощение – не более – 6–7 %; прочность при сжатии, не менее – 80–100 МПа.

Химически стойкую керамику разделяют на 5 групп:

- 1) кислотоупорный кирпич (прямой и клиновой) – для футеровки кислотных башен, скрубберов (аппараты для очистки газовых смесей путем пропускания через распыленную жидкость), газоходов, резервуаров;
- 2) плитки кислотоупорные и термокислотоупорные для футеровки аппаратов химической промышленности;
- 3) насадочные изделия – кольца кислотоупорные из полуфарфора и фарфора для аппаратов химической промышленности (создание разветвленной поверхности);
- 4) трубы-колена, крестовины и тройники;
- 5) тонкокерамические изделия химической аппаратуры (чаши, котлы, фильтры, баллоны, холодильники, реакторы и т.д.).

Технология получения кислотоупорного кирпича и плитки имеет некоторые особенности. В качестве сырья применяют пластичные тугоплавкие (или огнеупорные – температура спекания 1100–1200 °С) чистые глины без включений гипса и известняка. Шихта содержит 25 % шамота, добавки молотого песка и плавни (полевые шпаты). Формование: пластическое (ленточные прессы), полусухим прессованием (давление – 20–40 МПа) и вибропрессованием.

Теплоизоляционные изделия и материалы

К данным изделиям относятся *кирпич, цилиндры, полуцилиндры и сегменты*, изготовленные способом пластического формования из диатомитов и трепелов с введением выгорающих добавок или пены.

Диатомитовые (трепельные) изделия имеют среднюю плотность 420–520 кг/м³ и теплопроводность при температуре 350 °С 0,17–0,19 Вт/(м·°С). Их используют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов, работающих при температуре не более 900 °С.

Пенодиатомитовые изделия изготавливают из порошков трепелов или диатомитов путем приготовления теста и добавления в него устойчивой пены. Полученную пеномассу разливают по формам и после сушки обжигают. Средняя плотность изделия – 350–450 кг/м³, теплопроводность при 25 °С – 0,081–0,116 Вт/(м·°С).

Керамзит – легкий пористый заполнитель. Поверхность гранул покрыта спекшейся плотной оболочкой, пористость закрытая. Насыпная плотность керамзита – 250–600 кг/м³ (определяет марки). Используют как заполнитель в легких бетонах.

Технология изготовления: обработка глины, формование гранул, сушка, обжиг, охлаждение и сортировка. При обжиге (1150 °С) происходит вспучивание гранул. Обжиг проводится во вращающихся цилиндрических печах длиной до 60 м.

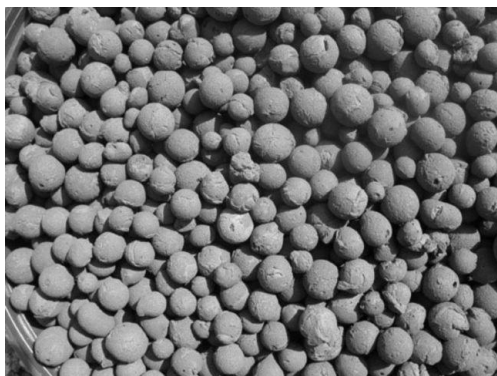


Рис. 7.4. Керамзит

Майолика (название – от острова Майорка) – керамика из естественно окрашенных легкоплавких глин, покрытых глухой глазурью для сокрытия красного цвета черепка. Водопоглощение – 10–15 %. Изготавливалась из глины с оловянной глазурью с декорированием живописью, барельефными изображениями фруктов, цветов и др. Город Фезнце дал название фаянсу.

В России получают фаянсовую майолику из: глины – 63–68 %, мела – 20 %, кварца – 5–17 %, утельного боя – 7 %. Для глазурования применяется глушеная глазурь SeO_2 (свинцовая глазурь в России запрещена).

Из фаянсовой майолики изготавливают кувшины, вазы с рельефом. Обжигают при температуре 1050 °С. Возможен также двукратный обжиг при 900 °С. Производство простое и может быть организовано даже на кирпичном заводе.

Специальные виды фарфоровой керамики производят на основе: корунда (Al_2O_3) – спекается при 1750 °С; талька ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$); циркона ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$).

Корундовая керамика отличается высокой прочностью при растяжении (300 МПа) и изгибе (100–150 МПа), химической стойкостью. В ее производстве применяется высокоглиноземистое сырье (99 % Al_2O_3). Доведенное до спекания, оно

может использоваться даже для имплантации в человеческий организм.

Добавление *талька* придает фарфору хорошие электроизоляционные свойства.

Циркониевый фарфор характеризуется высокой прочностью (выше, чем у традиционного, в 2 раза, особенно при ударе), термической и химической стойкостью, электрическая прочность (диэлектрические свойства).

Бериллиевый фарфор используется в ядерных реакторах как замедлитель, отражатель тепловых нейтронов, матричный материал для ядерного горючего BeO-UO_2 . Из него делают тигели для плавки урана, тория и др., а также свечи зажигания в автомобилях (высокое омическое сопротивление и теплостойкость). Однако следует иметь в виду, что окись бериллия BeO весьма ядовита.

8. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

8.1. Общие сведения о древесине

Древесина широко распространена по всему земному шару. В России произрастает пятая часть ее мировых запасов. Запасы древесины, млрд м³: Бразилия – 80; Россия – 40; Канада – 27; США – 23; Швеция – 2,5; Финляндия – 1,6. Около 2/3 запасов составляет хвойная древесина. На Балканах растет практически только лиственная древесина, преимущественно ценных пород.

Достоинства древесины: высокая прочность, малая плотность, низкая теплопроводность, легкость обработки, гигиеничность, самовосполняемость запасов.

Недостатки: анизотропия строения и свойств, гигроскопичность, загниваемость, горючесть.

Качество древесины определяется породой дерева, его структурой и свойствами, общим состоянием и количеством пороков.

Область применения: из древесины возводят деревянные конструкции, применяют для наружной и внутренней отделки, изготавливают композиционные материалы из отходов древесины (древесно-стружечные плиты – ДСтП, цементно-стружечные плиты – ЦСП, арболит, ксилолит и др.).

При изготовлении несущих конструкций (фермы, балки, сваи, пролетные строения мостов, опалубка) особенно широко применяют *хвойную* древесину (сосна, лиственница, пихта, ель).

Твердые лиственные породы (дуб, бук, ясень) используют для изготовления мелких деталей – шпонок, нагелей и как отделочный материал в виде шпона, декоративной фанеры.

При переработке более половины древесины (до 60 %) идет в отходы, которые в свою очередь, используют при изготовлении древесных плит, бумаги, спиртов, кислоты и т.д.

Мировая тенденция заключается в увеличении масштабов использования древесины, экономном и эффективном ее применении в строительстве, более полном использовании отходов и низкокачественной древесины путем их комплексной перера-

ботки с применением достижений современной химии, что предполагает защиту деревянных конструкций от гниения и возгорания; изготовление клееных деревянных конструкций; древесных плит, пластиков, фанеры; химическую переработку отходов (бумаги, спиртов, кормовых добавок для скота).

Для эффективного использования древесины необходимо знание ее свойств, методов рационального применения, средств и способов защиты.

Строение древесины

Макроструктура (видимая «невооруженным» глазом)

Различают три основных разреза ствола: *поперечный* (торцевой), *радиальный* – проходящий через ось ствола – и *тангенциальный* – проходящий по хорде вдоль ствола.

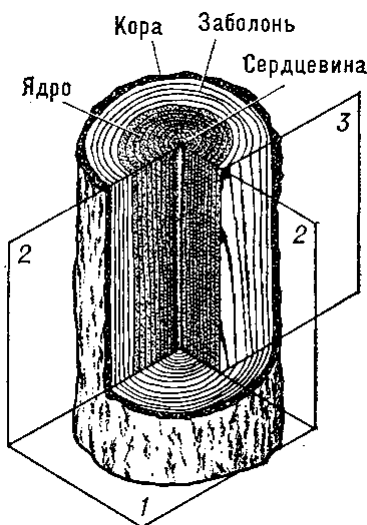


Рис. 8.1. Строение ствола:

- 1 – поперечный разрез;
- 2 – радиальный разрез;
- 3 – тангенциальный разрез

На поперечном срезе древесины просматриваются годовые кольца, которые состоят из светлых и темных полос (ранняя и поздняя древесина).

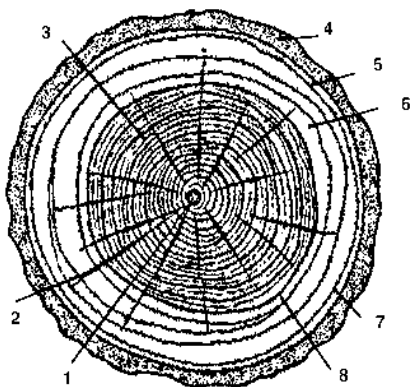


Рис. 8.2. Поперечный разрез
ствола: 1 – сердцевина;
2 – сердцевинные лучи;
3 – ядро; 4 – пробковый слой;
5 – лубяной слой; 6 – заболонь;
7 – камбий; 8 – годовичные слои

Древесные породы: *ядровые* (дуб, сосна, кедр, лиственница, ясень); *спелодревесные* – ядро и заболонь не отличаются по цвету (ель, пихта, бук, осина); *заболонные* (береза, клен, ольха, липа).

Микроструктура древесины (видна под микроскопом) – это клетки трубчатой формы (проводящие клетки, сердцевинные лучи).

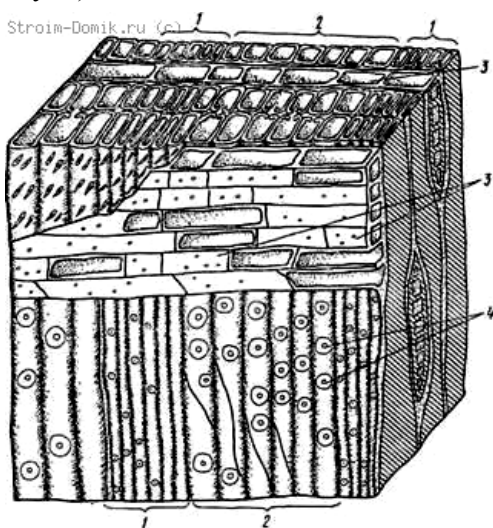


Рис. 8.3. Микроструктура
древесины хвойных
пород: 1 – клетки
(трахеиды) поздней
древесины; 2 – клетки
ранней древесины;
3 – запасающие клетки
серцевинных лучей;
4 – поры в стенках
клеток

Основное вещество древесины – это целлюлоза (50 %), а также лигнин (25 %) и гемицеллюлоза (25 %).

Главной составляющей частью клеточных оболочек древесины и всех высших растений является целлюлоза – природный полимер линейного строения.

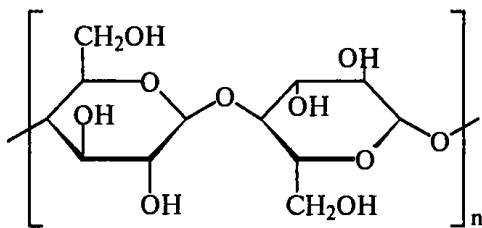


Рис. 8.4. Структура целлюлоза

8.2. Свойства древесины

Физические свойства

1. *Плотность* – 400–700 кг/м³ (пихта – 390, сосна – 540, лиственница – 790), истинная плотность – 1,54 г/см³. Плотность, определенную при конкретной влажности древесины, принято пересчитывать при стандартной 12%-ной влажности:

$$\rho_{12\%} = \rho_{\omega} [1 + 0,01 (1 - K_0) (12 - W)],$$

где $K_0 = 0,6$ для березы, дуба, бука, лиственницы) и $K_0 = 0,5$ для сосны, ели).

2. *Гигроскопичность*: предел гигроскопичности (насыщения волокон) – 30 %.

3. *Влажность W*: свежесрубленной – 50–100 %; воздушно-сухой – 15–20 %; комнатно-сухой – 8–12 %. Влажность сплавной древесины может достигать 200 %.

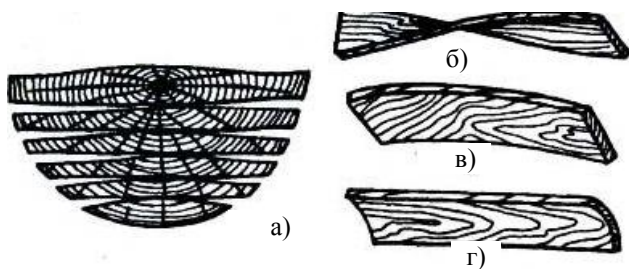


Рис. 8.5. Деформация пиломатериалов при усушке:
а – изменение формы поперечного сечения пиломатериалов при усушке; б – винтовая; в – продольная; г – поперечная покоробленность

При высушивании древесины наблюдаются усушка и коробление: вдоль волокон – 0,1 %; в радиальной плоскости – 3–6 %; в тангенциальной – 6–12 %. Эти процессы происходят при изменении влажности в пределах гигроскопичности от 7 до 30 %.

4. *Теплопроводность* сухой древесины поперек волокон 0,17, вдоль – 0,35 Вт/(м·°С).

5. *Стойкость* древесины, особенно хвойных пород, весьма высока (к растворам солей, щелочей, к органическим и минеральным слабым кислотам). Плохо сохраняется древесина в морской воде, разрушают ее и концентрированные растворы минеральных кислот (азотная – в любой концентрации). Наиболее стойка в агрессивных средах смолистая древесина лиственницы.

6. *Долговечность* древесины весьма высока. В воздушно-сухих условиях и в насыщенном водой состоянии древесина сохраняется столетиями.

7. *Цвет* древесины определяют дубильные вещества. Текстура (рисунок на поверхности) весьма разнообразна. Древесина, в отличие от других строительных материалов, имеет приятный душистый запах (смолы, эфирные масла).

Механические свойства

Прочность древесины максимальна при нулевой влажности и быстро снижается с ростом влажности до предела гигроскопичности.

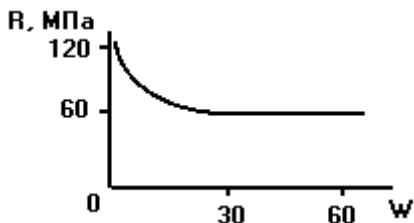


Рис. 8.6. Влияние влажности древесины на ее прочность при статическом изгибе

Показатели прочности древесины также пересчитывают на стандартную влажность:

$$\sigma_{12\%} = \sigma_w [1 + \alpha (W - 12)], \quad (8.2)$$

где $\alpha = 0,04$ для сжатия и изгиба, $\alpha = 0,03$ для скалывания.

Прочность древесины при сжатии: вдоль волокон – 50–100 МПа; поперек – 20 МПа; прочность при изгибе – 100–180 МПа. При растяжении – 130 МПа; модуль упругости при изгибе – 10^4 МПа.

Значительно снижают прочность пороки древесины:

- сучки (здоровые, загнившие, сросшиеся, несросшиеся);
- трещины (метиковые, морозные);
- пороки формы ствола (кривизна, закомелистость);
- пороки строения древесины (наклон волокон, двойная сердцевина);
- химические окраски;
- грибные поражения; червоточины; механические повреждения.

8.3. Методы повышения долговечности древесины

Известны факты длительного хранения древесины. Тысячелетиями сохранялась древесина в гробницах фараонов и миллионы лет – в окаменевшем состоянии. Сухая древесина может служить очень долго. Для древесины опасно переменное увлажнение, вызывающее ее загнивание.

Химическая стойкость древесины весьма высока, известны случаи многолетней эксплуатации деревянных конструкций в агрессивных средах (лотки сточных вод, чаны, электролизные ванны). Наибольшую стойкость и долговечность в таких условиях показывает лиственница.

Сушка древесины: 1) естественная сушка (штабельная укладка с защитой торцов известью, клеем, солью) от 2–3 месяцев до 1,5 лет ($W - 15\%$); 2) искусственная сушка (сушильные камеры непрерывного и периодического действия: паром ($70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$), горячим воздухом ($50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$); аэродинамические сушилки). Продолжительность сушки в таких камерах составляет 3–6 суток – до влажности 6–10 %. Существуют и более скоростные способы сушки древесины: контактная сушка шпона в прессе, сушка токами высокой частоты; скоростная сушка в петролатуме (8–12 часов, $t = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Защита от гниения. Гниение древесины – это увлажнение и деструктивные изменения древесины с разложением целлюлозы на глюкозу. При влажности 18–20 % в ней начинают развиваться споры лесных, складских или домовых грибов.

Существуют простые меры защиты древесины от загнивания: сушка, вентиляция, предохранение от увлажнения. При необходимости могут применяться и более эффективные способы защиты.

Антисептики – химические вещества, которые убивают грибы, вызывающие гнили, или создают среду, в которой их жизнедеятельность прекращается (в Древнем Риме использовались нефть, битум). *Водорастворимые антисептики:* фторид натрия NaF, кремнефторид натрия Na_2SiF_6 , борная кислота и бура техническая. *К органикорастворимым антисептикам* относятся препараты типа ПЛ (растворы пентахлорфенола) и НМЛ (растворы нафтената меди в легких нефтепродуктах). Они ок-

рашивают древесину в зеленый цвет, затрудняют ее склеивание. Это высокотоксичные антисептики. *Маслянистые*: антраценовое масло (получается при перегонке каменного угля), сланцевое, креозотовое масло (получается при дистилляции каменноугольного дегтя).

Способы антисептирования: поверхностная обработка (антисептирующие пасты); горяче-холодные ванны; автоклавная обработка (под давлением до 1,5 МПа); модифицирование синтетическими полимерами.

Предохранение от возгорания. Температура воспламенения древесины – 250–300 °С; самовоспламенение – при 350 °С, длительный нагрев древесины при 120–150 °С может также привести к ее самовоспламенению. Конструктивные меры защиты от возгорания: удаление от источника тепла; негорючие перегородки (брандмауэры); покрытие асбестом, штукатуркой (что применялось еще в крепостях Древнего Рима). Эффективны и огнезащитные краски (жидкое стекло, мел, песок, красители). Для огнезащиты применяются также лаки и краски на полимерной основе (меламино-мочевино-формальдегидные смолы).

Антипирены: фосфаты и сульфаты аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_8)_2\text{PO}_3$ – разлагаются с выделением серной или фосфорной кислоты с обугливанием древесины; бура (борно-натриевая соль) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – выделяются пары воды; вспучивающиеся покрытия (на основе фурановых соединений, полимерысиликатов).

Модифицирование древесины – это пропитка заготовок жидкими олигомерами или мономерами с последующим отверждением в порах древесины. При этом между полимером-модификатором и древесиной образуются химические, физико-химические и механические связи. Модифицированная древесина является композиционным древесно-полимерным материалом, обладающим свойствами и древесины, и полимера.

В клеточные стенки древесины легко проникают фенолоспирты, фурановые смолы, труднее – акрилонитрил, стирол, ММА.

Свойства модифицированной древесины: плотность – до 800 кг/м³; прочность при сжатии возрастает в 1,5 раза; древесина темнеет.

Обработанная аммиаком и прессованная древесина уплотняется в большей степени: $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$; прочность при сжатии поперек волокон возрастает почти на порядок; прочность при сжатии вдоль волокон $R_{сж} = 180 \text{ МПа}$ (у натуральной древесины 70 МПа).

Сферы применения модифицированной древесины: строительство, машиностроение, металлообработка, деревообрабатывающая промышленность, легкая, горнодобывающая промышленность, транспорт, энергетика, археология.

8.4. Строительные изделия из древесины

Лесоматериалы: кряжи (диаметр – более 20 см), бревна (диаметр – 12–20 см, длина – 3–6,5 м); подтоварник (8–11 см); жерди (3–7 см).

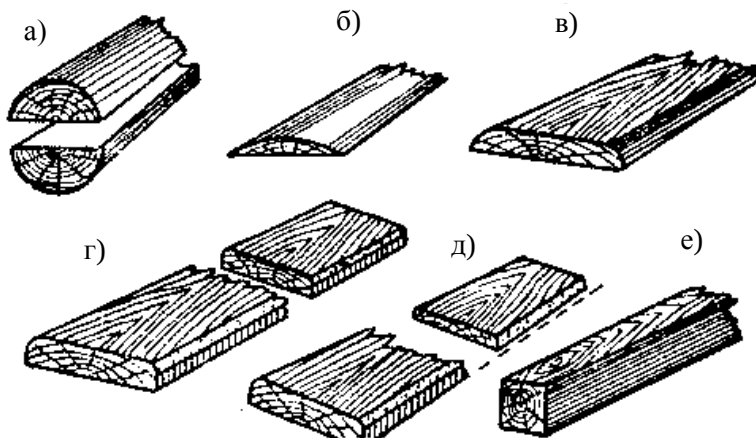


Рис. 8.7. Сортимент пиломатериалов:

- а – пластины; б – горбыль; в – доска необрезная;
г – доска с тупым обзолом; д – доска с острым обзолом;
е – брусок чистообрезной

Хвойные пиломатериалы поставляются длиной 1–6,5 м (с шагом 0,25 м): отборные и с 1-го по 4-й сорта.

Лиственные пиломатериалы поставляются длиной 0,5–6,5 м (шаг – 0,5 м): с 1-го по 3-й сорта.

Изделия из древесины:

- доски: шпунтованные, фальцованные, фрезерованные (плинтус, наличники);
- паркет: обыкновенный, щитовой из древесины дуба, бука, ясеня, березы, паркетная доска;
- столярно-строительные изделия (оконные и дверные блоки, подоконники);
- фанера;
- древесно-слоистые пластики (прочность – 150–280 МПа);
- древесно-волоконные плиты: теплоизоляционные и конструкционные;
- древесно-стружечные плиты, в том числе ориентированные ОСП;
- клееные деревянные конструкции (балки, фермы, арки, рамы, прогоны);
- ограждающие конструкции домов заводского изготовления.



Рис. 8.8. Балки из клееной древесины

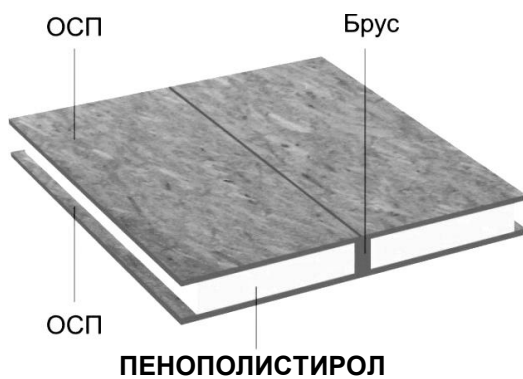


Рис. 8.9. Сэндвич-панели из ОСП (ориентированных древесно-стружечных плит)

9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

9.1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах

Теплоизоляционные материалы применяются для изоляции жилых и промышленных зданий, тепловых агрегатов и трубопроводов с целью уменьшения тепловых потерь в окружающую среду.

Теплозащитные свойства таких материалов обусловлены их пористой структурой и малой плотностью (не более 500 кг/м^3). Коэффициент теплопроводности – не более $0,175 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$.

Материалы с открытой пористостью обладают также способностью поглощать звуки и применяются в качестве акустических для звукоизоляции.

Область применения теплоизоляционных материалов:

- утеплители в 3- и 2-слойных стеновых конструкциях (пенопласты, газобетон, минеральная вата);
- теплоизоляционно-конструкционные стеновые материалы (туфы, газобетон, арболит);
- тепло- и звукоизоляция стен, потолков, полов, перегородок, перекрытий (ДВП, строительный войлок);
- изоляция трубопроводов (фенопласты, минеральная вата, пенополиэтилен).

Использование теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить потери тепла, уменьшить толщину стен зданий, соответственно снизить вес и стоимость сооружений.

Способность ограждений оказывать сопротивление потоку тепла, проходящему из помещения наружу, характеризуется *сопротивлением теплопередачи* R_o , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$:

$$R_o = 1/\alpha_g + R + 1/\alpha_n,$$

где α_g – коэффициент теплообмена внутренней поверхности ограждения, $8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; α_n – коэффициент теплообмена наружной поверхности ограждения, $23 \text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$; R – *термическое*

сопротивление конструкции ограждения зависит от толщины теплоизоляционного материала δ и его коэффициента теплопроводности λ и вычисляется по формуле:

$$R = \delta/\lambda.$$

В соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», нормативные значения *требуемого сопротивления* теплопередачи R_o^{tr} , исходя из условий энергосбережения, увеличены в 2,5–3,5 раза, по сравнению с требованиями СНиП II-3-79*.

В структуре теплоизоляции, применяемой в строительстве в России, более 70 % занимает минеральная и стеклянная вата, 12 % – пластмассы, 2,2 % – перлитовые изделия.

Теплоизоляционные материалы классифицируют:

1) *по виду основного сырья*: неорганические (из горных пород, шлаков, стекла, асбеста); органические (торф, древесное волокно); из синтетических полимеров;

2) *по форме и внешнему виду*: штучные жесткие (плиты, скорлупы, сегменты, кирпичи, цилиндры); гибкие (маты, шнуры, жгуты); рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок, вермикулит);

3) *по структуре*: ячеистые (пенопласты, пенобетон, пеностекло); волокнистые (минеральная вата, стекловолокно); зернистые (перлит, вермикулит);

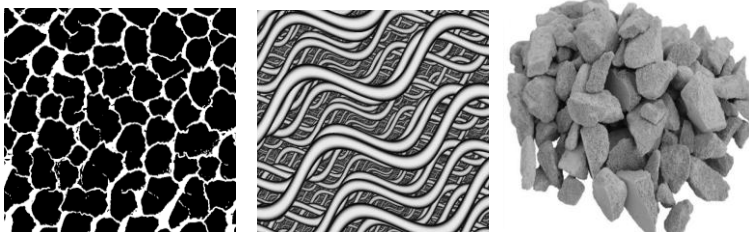


Рис. 9.1. Структура теплоизоляционных материалов

4) *по плотности* (марки): особо низкой плотности (ОНП) – 15, 25, 35, 50, 75 кг/м³; низкой плотности (НП) – 100, 125, 150, 175 кг/м³; средней плотности (СП) – 200, 250, 300, 350 кг/м³; плотные (Пл) – 400, 450, 500 кг/м³;

5) *по жесткости* (относительной деформации): М – мягкие (относительные деформации – выше 30 % при P_{y0} 0,02 МПа); П – полужесткие (от 6 до 30 %); Ж – жесткие (до 6 %); ПЖ – повышенной жесткости (относительные деформации до 10 % при P_{y0} = 0,04 МПа); Т – твердые (относительные деформации – до 10 % при P_{y0} = 0,1 МПа);

6) *по теплопроводности* λ , Вт/(м·°С), разделяют на классы: Класс А – низкой теплопроводности – до 0,06; класс Б – средней теплопроводности – 0,06–0,115; класс В – повышенной теплопроводности – 0,115–0,175;

7) *по назначению*: теплоизоляционно-строительные (для утепления строительных конструкций); теплоизоляционно-монтажные (изоляция промышленного оборудования и трубопроводов).

Теплоизоляционные материалы дополнительно должны обладать биостойкостью, малой гигроскопичностью, химической стойкостью, теплостойкостью, огнестойкостью.

9.2. Органические теплоизоляционные материалы

Сырьем для них являются: природное органическое сырье (отходы деревообработки, торф, шерсть животных и др.), синтетические смолы.

Теплоизоляционные материалы из органического сырья

Древесно-волокнистые теплоизоляционные плиты (ДВП) получают из отходов древесины или сельскохозяйственных отходов (соломы, камыша, костры, стеблей кукурузы).

Процесс изготовления ДВП состоит из следующих основных операций: дробление и размол древесного сырья рубильными машинами и дефибраторами; пропитка волокнистой мас-

сы связующим; формирование; сушка; обрезка плит. При изготовлении ДВП для обеспечения био- и огнестойкости добавляют антисептики и антипирены.

Размеры ДВП, мм: длина – 1200–2700, ширина – 1200–1700, толщина – 8–25, плотность изоляционных – 150–250 кг/м³, λ = 0,047–0,07 Вт/(м·°C); изоляционно-отделочных – 250–350 кг/м³, λ = 0,07–0,08 Вт/(м·°C). Предел прочности при изгибе – 0,4–2 МПа.

Применение ДВП: для тепло- и звукоизоляции стен, потолков, полов, перегородок и перекрытий зданий, акустической изоляции концертных залов и кинотеатров (подвесные потолки и облицовка стен).

Фибролитовые плиты изготавливают из древесной шерсти и цемента. Древесную шерсть получают из отходов в основном хвойной древесины на древошерстяных станках. Шерсть представляет собой тонкие ленты длиной 400–500 и шириной 4–7 мм.

Технология изготовления: затворение портландцемента раствором минерализатора, смешивание цементного теста с древесной шерстью, прессование в формах, пропаривание плит в камерах, распалубка и сушка плит.

Размеры плит, мм: длина – 2400–3000, ширина – 600–1200, толщина – 30–150. Плотность – от 250 до 500 кг/м³, прочность при изгибе – соответственно от 0,15 до 1,8 МПа, λ – от 0,08 до 0,1 Вт/(м·°C). Область применения: устройство перегородок, утепление стен, чердачных перекрытий.

Арболит изготавливают из смеси цемента, органических заполнителей, химических добавок и воды. Заполнитель – это дробленые отходы древесины, сечка камыша, костра конопли или льна.

Технология изготовления: дробление отходов; обработка их раствором минерализатора (CaCl₂, жидкое стекло, известь); смешивание заполнителя с цементным раствором; формование изделий; твердение отформованных изделий.

Плотность теплоизоляционного арболита – до 700 кг/м^3 ; прочность при сжатии – $0,5\text{--}3,5 \text{ МПа}$; теплопроводность $0,1\text{--}0,22 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Положительные свойства: биостойкость, трудносгораемость, морозостойкость, хорошо пилится, сверлится, хорошая гвоздимкость. Область применения: в виде блоков, плит и панелей для стен и перегородок одно- и двухэтажных зданий, а также перекрытий и покрытий домов в сельской местности.

Камышитовые плиты получают путем прессования и дополнительной прошивки проволокой стеблей камыша. Длина плиты – $2400\text{--}2800$, ширина – $500\text{--}1500$ и толщина – $30\text{--}100 \text{ мм}$. По плотности различают три марки: 175 , 200 и 250 кг/м^3 , теплопроводность – $0,06\text{--}0,09 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, влажность – 18% . Применяются для утепления перекрытий жилых малоэтажных зданий и сельскохозяйственных построек. Недостатки: подверженность порче грызунами, загниваемость, горючесть.

Строительный войлок (из шерсти животных) – полотнища длиной $1000\text{--}2000$, шириной $500\text{--}2000$ и толщиной 12 мм . Плотность – 150 кг/м^3 , теплопроводность – $0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. Применяется для утепления стен и потолков, оконных и дверных коробок и др. Недостаток – является средой для размножения моли (защита – NaF).

Льняной утеплитель выпускается из первичного (не переработанного) льняного волокна с добавлением полиэфирных волокон или крахмального связующего. Предназначен для каркасного домостроения. Он держит форму и обладает упругой сжимаемостью. Плотность – $32\text{--}34 \text{ кг/м}^3$; группа горючести – Г1; теплоизолирующая способность – $0,038\text{--}0,04 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$; температура применения – до $160 \text{ }^\circ\text{С}$.

Эковата – мелкозернистый утеплитель, полученный путем последовательного сухого измельчения макулатуры и обработки специальными химикатами. Плотность – $35\text{--}70 \text{ кг/м}^3$; теплопроводность – $0,038\text{--}0,047 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$; класс горючести – Г2, В1, Д1. Нанесение эковаты производится с помощью специальной установки: материал распушается в бункере и под давлением подается на утепляемые поверхности.

Теплоизоляционные материалы из пластмасс

Сырьем для производства таких материалов являются синтетические смолы – полистирольные, полиуретановые, феноло- и мочевиноформальдегидные, газообразующие и вспенивающие вещества, наполнители, пластификаторы, красители.

Теплоизоляционные вспененные пластмассы разделяют на пенопласты и поропласты. *Пенопласты* – ячеистые пластмассы с малой плотностью и наличием замкнутых полостей или ячеек, заполненных газом. *Поропласты* – пористые пластмассы, характеризующиеся сообщающимися между собой полостями.

Наиболее широко в современном строительстве представлены пенополистирол, пенополиуретан, пенополиэтилен.

Пенополистирол получают вспениванием под действием пара полистирольного бисера, из которого горячим способом формуют плиты. Марка ПСБ-С. Размеры плит – $1000 \times 500 \times 100$ мм, плотность – $25\text{--}40 \text{ кг/м}^3$. Теплопроводность – $0,037\text{--}0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Максимальная температура применения $+60^\circ\text{C}$. Применяют для утепления крупнопанельных зданий, изоляции промышленных холодильников, звукоизолирующих прокладок.

Экструзионный пенополистирол (ПС) получают с использованием газообразных вспенивателей. Вспенивающий агент (сжиженный газ) впрыскивают в зону смешения экструдера. Выходя из экструдера, расплав вспенивается. Формующая головка имеет щелевой зазор, формирующий изделие в виде листа. Плотность – $35\text{--}50 \text{ кг/м}^3$; коэффициент теплопроводности – $0,028\text{--}0,032 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; прочность при сжатии – $0,25\text{--}0,70 \text{ МПа}$; температура применения $+75^\circ\text{C}$; стойкость к огню – от Г4 до Г1. Один из самых эффективных пенопластов.

Пенополиуретан – заливочный пенопласт, бывает жестким и эластичным. Плотность жесткого – $50\text{--}60 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,030 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, теплостойкость $100\text{--}170^\circ\text{C}$. Применяют в качестве среднего слоя сэндвич-панелей, звукоизоляции перекрытий, изоляции трубопроводов, герметизации стыков панелей. Не стоек к ультрафиолету.

Пеноизол – пористый материал белого цвета, похожий на отвердевшую пену. Сырье – мочевиноформальдегидные смолы.

Плотность – 5–25 кг/м³; теплопроводность – 0,039 Вт/(м·°С); теплоустойчивость 110 °С. Недостатки: высокая гигроскопичность и низкая прочность (легко крошится), выделение формальдегида. Применяется для теплоизоляции строительных конструкций, изоляции холодильников, трубопроводов.

Вспененный полиэтилен – нетоксичный эластичный пенопласт с закрытой ячеистой структурой. Пенополиэтилен изготавливают экструзионным способом. Плотность – 30–200 кг/м³, теплопроводность – 0,031–0,049 °С, температура применения – 80–100°С. Назначение: утепление стен, потолков; изоляция трубопроводов, емкостей и арматуры в системах водоснабжения, отопления и вентиляции; звукоизоляция.

Вспененный каучук – это сравнительно новый и весьма эффективный материал, гибкий, эластичный, с закрытой поровой структурой, предназначенный для использования на любых типах оборудования и инженерных коммуникаций в целях:

- теплоизоляции трубопроводов высокотемпературных систем от –50 до +150 (+175) °С;
- предотвращения образования конденсата или обморожения от –50 (–200) до +105 °С;
- тепло- и звукоизоляции от +10 до +60 °С.

9.3. Неорганические теплоизоляционные материалы

К ним относятся: минеральная вата (каменная и стеклянная), пеностекло, вспученный перлит и вермикулит, асбестосодержащие теплоизоляционные изделия и др.

Минераловатная теплоизоляция – волокнистый теплоизоляционный материал из силикатных расплавов. Сырье – горные породы (известняки, мергели, доломиты, базальты, граниты, диориты).

Производство минеральной ваты состоит из двух этапов: получение силикатного расплава и превращение его в тончайшие волокна. Силикатный расплав получают в плавильных печах – вагранках (печи шахтного типа), в которые загружают ми-

неральное сырье и топливо (кокс) или ваннх – топливо газ или мазут. Плавление происходит при температуре 1300–1500 °С.

Минеральный расплав превращают в волокно различными способами, чаще – дутьевым и центробежным. Сущность дутьевого способа заключается в том, что на струю жидкого расплава действует струя пара или воздуха.

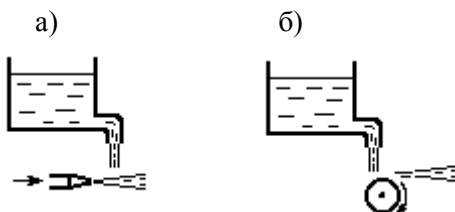


Рис. 9.2. Способы получения минерального волокна:
а – дутьевой; б – центробежный

Центробежный способ основан на использовании центробежной силы быстро вращающихся валков для превращения струи расплава в тонкие волокна толщиной 2–7 мкм и длиной 20–40 мм. Полученные волокна осаждаются в камере волокноосаждения на движущуюся ленту транспортера.

В камеру волокноосаждения вводится также связующее – раствор синтетических смол.

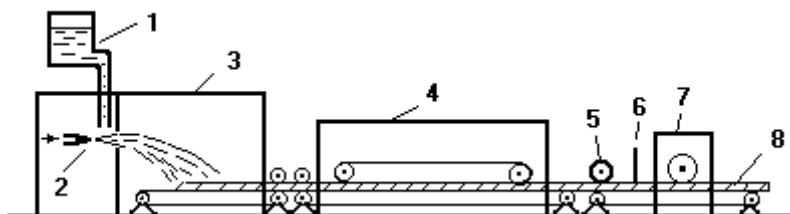


Рис. 9.3. Технология получения минераловатных плит:
1 – вагранка; 2 – дутьевые сопла; 3 – камера волокнообразования;
4 – камера тепловой обработки; 5 – нож продольной резки;
6 – нож поперечной резки; 7 – упаковка; 8 – минераловатная плита

Минеральную вату в зависимости от диаметра волокна подразделяют на три вида:

- ВМСТ – вата минеральная из супертонкого волокна, диаметром от 0,5 до 3 мкм;
- ВМТ – вата минеральная из тонкого волокна, диаметром от 3 до 6 мкм;
- ВМ – вата минеральная диаметром волокна от 6 до 12 мкм.

В промышленном и жилищном строительстве используют вату класса А: диаметр волокна – 5–7 мкм; отношение кислых оксидов к основным (M_k) – более 1,9; теплопроводность – 0,033–0,041 Вт/(м·°C); группа горючести – НГ.

Минераловатные маты – мягкий листовой или рулонный материал. Вата покрыта стеклосеткой и прошита стеклянными нитями. Толщина матов составляет 50–100 мм; плотность – 75–125 кг/м³; теплопроводность – до 0,044 Вт/(м·°C). Применяют для теплоизоляции ненагруженных ограждающих конструкций, технологического оборудования, трубопроводов.

Минераловатные плиты на синтетическом связующем (фенолоспирты, силаны, полисахара): длина – до 1800, ширина – 500–1000, толщина – 40–100 мм; марки по плотности – 50, 75, 125, 175, 200; теплопроводность – 0,045–0,054 Вт/(м·°C).

Применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, оборудования и трубопроводов, температура – от 180 до 400 °C; для утепления перекрытий, фасадов; в трехслойных конструкциях; для изоляции промышленного оборудования.

Для изоляции трубопроводов выпускают формованные *полуцилиндры*.



Рис. 9.4. Полуцилиндр

Стекланная вата. Сырье – шихта для варки стекла на основе кварцевого песка и стеклобоя. Стекланное волокно прочнее, длиннее, более стойко, чем минеральное. Изготавливают прошивные стекломаты и полужесткие плиты на синтетическом связующем. Температура эксплуатации – до 200 °С. Применение: теплозащита промышленного оборудования и трубопроводов, теплозвукоизоляция зданий.

Пеностекло (плиты, блоки) – ячеистый теплоизоляционный материал. Сырье – тонко измельченный порошок стеклобоя с газообразователем – молотым известняком (открытые поры) или коксом (закрытые поры).

Сырьевую смесь засыпают в формы и нагревают в печах до 900 °С. Происходит плавление частиц и разложение газообразователя. Выделяющиеся газы вспучивают стекломассу. Например, известняк разлагается с выделением углекислого газа $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$. После охлаждения стекломасса превращается в прочный ячеистый материал.

Пористость – до 95 %, поры размером 1–3 мм; плотность – 200–600 кг/м³; теплопроводность – 0,09–0,15 Вт/(м·°С); прочность – 2–6 МПа. Достоинства: водостойкость, морозостойкость, негорючесть, высокое звукопоглощение, хорошая обрабатываемость. Выпускают плиты размерами 500×400×(70–140) мм. Применяют для утепления стен, перекрытий, кровли; теплоизоляции оборудования, трубопроводов (температура эксплуатации до 300 °С); отделки и звукоизоляция кинотеатров, аудиторий и концертных залов.

Вспученный перлит. Сырье – кремнеземистая порода – перлит, содержащий структурно связанную воду – до 17 %. Перлитовый концентрат обжигают во вращающихся печах при 900–1200 °С. При этом удаляется структурно связанная вода, материал вспучивается. Объем увеличивается в 10–15 раз. Насыпная плотность перлитового щебня – 250–600 кг/м³, песка 100–150, теплопроводность 0,07–0,08 Вт/(м·°С). Применяется как легкий заполнитель при изготовлении теплоизоляционных изделий.

Вспученный вермикулит получают в виде чешуек золотистого цвета при вспучивании вермикулита (гидрослюда). Техно-

логия: дробление, фракционирование, обжиг, рассев. Температура обжига – 1000–1100 °С. Наблюдается увеличение объема при выделении химически связанной воды в 20 раз. Обладает высокой огнестойкостью (до 1100 °С). Насыпная плотность – 100–200 кг/м³. Применяется для засыпки изолируемых поверхностей и для формованных изделий (цемент, гипс, глина, растворимое стекло, синтетические полимеры).

Изделия на основе *перлита* или *вермикулита* и цемента или растворимого стекла применяют для тепловой изоляции горячих поверхностей промышленных печей, котлов, трубопроводов; на битумном и синтетическом связующем – для утепления строительных конструкций. Плиты, полуцилиндры имеют плотность – 200–500 кг/м³; теплопроводность – 0,05–0,11 Вт/(м·°С).

Асбестосодержащие материалы и изделия. Ценные свойства асбеста: температуростойкость, прочность, волокнистое строение используется для микроармирования.

Асбестовая бумага – огнестойкий листовой (рулонный) материал толщиной до 1,5 мм. Теплопроводность – 0,1 Вт/(м·°С). Применяют при температуре до 500 °С.

Асбестовую ткань получают прядением асбестовых нитей на ткацких станках в виде 25-метровых полотнищ толщиной до 3,5 мм. Плотность – 600 кг/м³; теплопроводность – 0,1 Вт/(м·°С). Применяется для теплоизоляции трубопроводов малых диаметров, сверху окрашивают краской.

Совелит – асбестомагнезиальный теплоизоляционный материал, состоит из смеси углекислых солей магния и кальция (получаемых переработкой доломита) и асбеста. Порошок затворяют водой и наносят на изолируемую поверхность. Изготавливают плиты 500×(170–500)×(40–80) мм, сегменты, полуцилиндры. Плотность – 400 кг/м³; теплопроводность до 0,08 Вт/(м·°С). Применяют для тепловой изоляции технологического оборудования и трубопроводов до 500 °С. Поверхность асбестовых изделий закрывается штукатуркой или окраской для предотвращения попадания микрочастиц асбеста в воздух.

Известково-кремнеземистые изделия (ИКИ) изготавливают формованием с последующей автоклавной обработкой водной суспензии асбеста, воздушной извести, кварцевого песка. ИКИ

предназначены для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, могут быть использованы также для противопожарной защиты строительных конструкций. Выпускают в виде плит и сегментов плотностью 200 и 225 кг/м^3 , теплопроводностью $0,058\text{--}0,065\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Пенодиатомитовые изделия (кирпич, полуцилиндры и сегменты) в зависимости от плотности подразделяются на марки ПД-350 и ПД-400. Сырьем служит диатомит – легкая тонкопористая порода осадочного происхождения, на 90–95 % состоящая из аморфного кремнезема и до 5–10 % – из глин. Изделия изготавливают путем заливки в формы пенодиатомитовой массы, состоящей из диатомита, воды и пены, с последующим обжигом высушенных изделий. Пенодиатомитовые изделия предназначены для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

9.4. Акустические материалы

Акустические материалы способны поглощать звуковую энергию, снижать уровень силы и громкости звуков, возникающих в воздухе и материале ограждения. Применяют для улучшения акустического комфорта в жилых, промышленных и общественных зданиях.

По назначению различают:

- *звукопоглощающие* материалы (шумоглушащие), предназначенные для изоляции в основном от воздушных шумов, возникающих *внутри* помещения; их назначение – обеспечить помещение хорошей акустикой (концертные залы, театры);
- *звукоизоляционные*, или прокладочные материалы, предназначенные для изоляции от воздушного и ударного шума в многослойных конструкциях перекрытий и перегородок, чтобы звук, поступающий *извне*, не проникал в помещение;

Поток звуковой энергии $E_{пад}$ при падении на поверхность ограждения частично отражается $E_{отр}$, частично поглощается ($E_{полг} = E_{пад} - E_{отр}$), остальная часть звуковой энергии проходит через ограждение ($E_{прош}$).

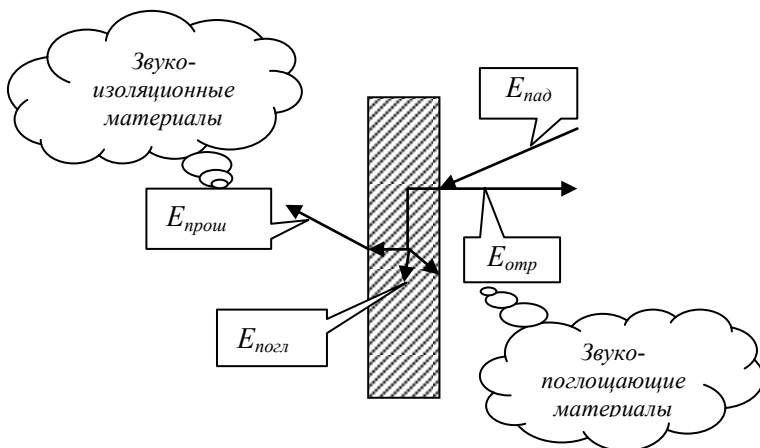


Рис. 9.5. Схема применения акустических материалов

По механизму звукопоглощения все **звукопоглощающие** материалы делят на пористые и резонансные поглотители.

Поглощение звука в *пористых* звукопоглотителях происходит за счет потерь энергии при трении, преодолеваемом воздушным потоком в порах материала; теплообмена между стенками пор и воздухом; деформации гибкого скелета. При этом, чем больше *открытая сообщающаяся пористость* материала, тем выше его звукопоглощающая способность. Высокочастотный звук поглощается мелкими порами, звукопоглощение на низких частотах происходит в более крупных порах.

Звукопоглощающие пористые материалы:

- ячеистые бетоны, пеностекло;
- минераловатные, стекловатные плиты, ДВП, поропласты;
- перфорированные (плиты и панели с отверстиями).

Резонансные звукопоглотители (резонаторы) служат для поглощения звука в области низких частот.

Коэффициент звукопоглощения равен отношению количества поглощаемой звуковой энергии к общей падающей звуковой энергии ($\alpha = E_{\text{погл}}/E_{\text{пад}}$) в диапазоне 125–4000 Гц.

Эффективны звукопоглощающие материалы с *перфорированным покрытием*. Основа – минераловатные плиты, полиуретановый поропласт; перфорированное покрытие – слоистый пластик, дюралюминий, оцинкованная сталь, гипсовые листы. Отличается простотой устройства и возможностью получения наилучшей звукоизоляционной характеристики за счет подбора диаметров отверстий, толщины покрытия и основы.

Плиты акминит и акмигран – отделочный звукопоглощающий материал из гранул минеральной или стеклянной ваты на крахмальном связующем. Размер – 300×300×20 мм; плотность – около 350 кг/м³, коэффициент звукопоглощения – 0,2–0,8. Применяют для облицовки стен и потолков общественных зданий.

Гипсовые акустические плиты, армированные стекловолокном, со сквозной перфорацией используют в подвесных конструкциях.

Хорошими поглощающими свойствами обладают *поропласты*. Например, пористый полиуретан толщиной 50 мм имеет коэффициент звукопоглощения 0,9 при частоте 500 Гц.



Рис. 9.6. Перфорированная плита

Слоистые звукопоглощающие изделия – трехслойные плиты, состоящие из перфорированного экрана, основного слоя звукопоглощающего рыхлого материала и промежуточного слоя из уплотненного волокнистого материала с отштампованными с двух сторон лунками. Площадь перфорации – 15 % площади экрана. Все слои склеены между собой.

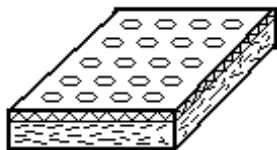


Рис. 9.7. Слоистая плита

В качестве звукопоглощающих изделий применяют также итальянские *древесноволокнистые (фибролитовые)* плиты HERAKUSTIK различных цветовых решений и фактур в сочетании с акустическими потолочными покрытиями. Американская компания ICC предлагает *напыляемое покрытие* из крупнодисперсных хлопьев целлюлозы (5–10 мм). Фактура покрытия напоминает штукатурку «под шубу».

Звукоизолирующие свойства ограждений основаны на применении специальных конструкций, как правило, многослойных, оказывающих повышенное сопротивление прохождению звуковой энергии как ударного, так и воздушного шума. Затухание звуковой волны объясняется тем, что, попадая в материал, звуковая энергия расходуется на упругое деформирование элементов структуры материала. Поэтому *звукоизоляционные* материалы должны обладать упругими свойствами и динамическим модулем упругости (E_d). Кроме того, звукоизоляционная способность конструкции зависит от ее размера, массы, структуры, жесткости, способа опирания и др.

Изоляции от воздушного шума подлежат звуковые волны с частотами 100–3200 Гц. Способами изоляции является применение тяжелых массивных конструкций; увеличение массы перекрытий; использование тяжелых стекол; уплотнение оконных и дверных проемов и стыков. Другим вариантом звукоизоляции является применение многослойных конструкций со специальными облицовочными панелями.

Ударный шум возникает в результате ударного воздействия на перекрытие и проникает через него. Изоляция ударного шума обеспечивается за счет мягкопружинящего звукоизоляционного слоя (плиты и маты из минерального и стекловолокна, плиты из жесткого пенополистирола, полиуретанового пенопласта, легкие древесноволокнистые плиты и др.). Эти же функции выполняют рулонные ворсовые материалы на основе войлока или губчатой резины.

10. КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

10.1. Общие сведения о гидроизоляционных материалах

При эксплуатации на сооружения действуют различные агрессивные атмосферные факторы: перепады температур, солнечная радиация, влага. Под действием влаги качество материалов ухудшается (коррозия бетона и металла, гнивание древесины и разрушение штукатурки), изменение влажностного режима затрудняет эксплуатацию сооружений. Вместе с тем, строителей ориентируют на качественное проектирование и строительство, эксплуатацию конструкций долгое время.

Гидроизоляционные материалы предназначены для защиты строительных конструкций от атмосферных воздействий. К таким материалам предъявляются специальные требования: водонепроницаемость, прочность, деформативность, водостойкость, химическая стойкость, долговечность (например, изоляция для подземных и подводных сооружений должна служить не меньше, чем все сооружение), технологичность материалов.

Область применения гидроизоляционных материалов:

- гидротехническое строительство (противофильтрационные экраны, укрепительные покрытия насыпей и откосов, изоляция водохранилищ);
- подземное строительство (защита котлованов, фундаментов, трубопроводов, туннелей);
- строительство зданий и сооружений (устройство кровли, герметизация стыков и швов, защита междуэтажных перекрытий);
- дорожное строительство.

В настоящее время в строительстве наиболее широко применяют искусственные битумы, а также синтетические смолы и полимеры, более качественные, чем битумы и дегти.

Классификация гидроизоляционных материалов:

- 1) *по назначению*: кровельные, гидроизоляционные;
- 2) *по структуре*: основные, безосновные;

- 3) *по виду основы*: на картонной, асбестовой, стекловолокнистой основе, основе из полимерных волокон, комбинированной основе;
- 4) *по виду связующего*: битумные, битумно-резиновые, битумно-полимерные, полимерные;
- 5) *по физическому состоянию*: жидкие, пластично-вязкие, упругие;
- 6) *по внешнему виду*: рулонные, листовые, штучные, мастики, пасты, эмульсии, лакокрасочные материалы.

10.2. Органические связующие

Органические связующие вещества делят на битумосодержащие и полимерные.

Битумосодержащие связующие

Нефтяные (искусственные) битумы являются продуктами переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от способа получения различают остаточные, окисленные и крекинговые битумы. *Остаточные битумы* (гудрон) образуются после отгонки от нефти бензина, керосина и части масел. Это твердые вещества. *Окисленные битумы* получают, продувая воздух через нефтяные остатки. *Крекинговые битумы* – продукт разложения нефти при высоких температурах (крекинг).

В зависимости от вязкости битумы разделяются на твердые, полутвердые и жидкие. Твердые и полутвердые битумы делят на *строительные, кровельные и дорожные*. Жидкие битумы применяются в дорожном строительстве; твердые и полутвердые – в дорожных покрытиях, кровельных и гидроизоляционных материалах.

В состав битумов входят высокомолекулярные углеводороды: асфальтены, парафины, смолы и масла.

Основные свойства, определяющие качество нефтяных битумов: температура размягчения и вспышки, вязкость, растяжимость.

При нагревании битумы постепенно размягчаются и становятся жидкими, а при охлаждении – загустевают.

Температуру размягчения битума определяют на приборе «кольцо и шар». Это свойство характеризует пригодность его для использования в различных температурных условиях. Температурой размягчения считают температуру, при которой стальной шарик вместе с битумом пройдет через кольцо и коснется нижнего диска.

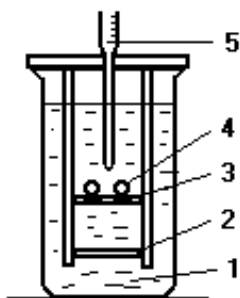


Рис. 10.1. Прибор «кольцо и шар»:

- 1 – химический стакан с водой;
- 2 – металлические диски;
- 3 – кольца с битумом;
- 4 – шарики; 5 – термометр

Битумы также характеризуются температурой вспышки, которая составляет 200–240 °С.

Вязкость измеряют на приборе пенетрометре по глубине проникания в битум иглы под нагрузкой.

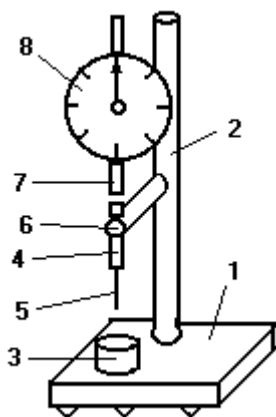


Рис. 10.2. Пенетрометр:

- 1 – подставка; 2 – штатив;
- 3 – образец битума;
- 4 – подвижный стержень;
- 5 – игла; 6 – стопорная кнопка;
- 7 – кремальера;
- 8 – циферблат со стрелкой

Растяжимость (дуктильность) битума определяется на приборе дуктилометре. В прибор заливают воду 25 °С и медленно растягивают образцы битума в виде восьмерок. Растягивание происходит со скоростью 5 см/мин.

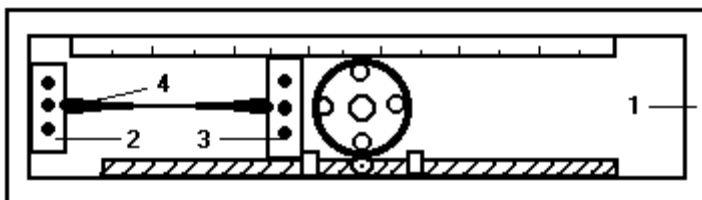


Рис. 10.3. Дуктилометр: 1 – ванна с водой; 2 – неподвижная пластина; 3 – подвижные салазки; 4 – образец битума

Свойства битумов взаимосвязаны. Например, твердые битумы имеют высокую температуру размягчения, но малую растяжимость. Вязкие битумы сильнее растягиваются.

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Глубина проникания иглы, 0,1 мм	Растяжимость при 25 °С, см, не менее	Температура размягчения, °С, не ниже
<i>Строительные</i>			
БН-50*/50**	41–60	40	50
БН-70/30	21–40	3	70
БН-90/10	5–20	1	90
<i>Кровельные</i>			
БНК-45/180	140–220	Не нормируется	40–50
БНК-90/40	35–45	Не нормируется	85–95
БНК-90/30	25–35	Не нормируется	85–95
<i>Дорожные</i>			
БНД-200/300	201–300	Не нормируется	35
БНД-130/200	131–200	65	39
БНД-90/130	91–130	60	43
БНД-60/90	61–90	50	47
БНД-40/60	40–60	40	51

Примечание: * температура размягчения; ** пенетрация.

Нефтяные битумы имеют *плотное строение*, пористость их равна нулю. *Плотность* битумов – 0,8–1,3 г/см³. Они водонепроницаемы, морозостойки, стойки к действию кислот и щелочей, агрессивных жидкостей. Битумы обладают способностью прочно сцепляться с каменными материалами, деревом, металлом. Растворяются в органических растворителях (бензине, керосине и др.).

Под действием света и кислорода воздуха происходит старение битумов, сопровождающееся повышением хрупкости. Срок эксплуатации битумных материалов 3–4 года.

Эластичность, температура размягчения и долговечность битумных связующих улучшаются при введении добавок, в качестве которых используется *регенерированная резина* от старых автомобильных покрышек. Срок эксплуатации – до 10 лет.

Более долговечны *битумно-полимерные* связующие, которые получают путем введения в битум *термоэластопластов*, обычно это АПП (атактический полипропилен), СБС (стирол-бутадиен-стирол). Полимер играет роль структурирующей или пластифицирующей добавки. Содержание полимера может составлять от 3 до 12 %. Долговечность модифицированных битумов – до 25 лет.

Полимерные связующие

Жесткие климатические условия России требуют от гидроизоляционных материалов устойчивости к низким температурам (до минус 50 °С и ниже); высокой теплостойкости летом (летом кровля разогревается до +90 °С); устойчивости к частым переходам через 0 °С; УФ-облучению и озону. Этим требованиям отвечают *полимерные* гидроизоляционные материалы.

Изоляционные композиции получают в основном на основе *термопластов*: полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), поливинилхлорида (ПВХ), полиамидов (ПА) и др. Полимерные связующие служат основой для получения различных гидроизоляционных составов: мастик, герметиков, пленок, пропиток.

Другое направление – применение материалов на основе *эластомеров*, так называемых мягких резин (ЭПДМ-СКЭПТ), стойких к окислению.

Полимерные материалы и эластомеры обладают значительно более высокими показателями эксплуатационных свойств (до 40 лет), по сравнению с материалами, содержащими битум, более просты в укладке, так как свариваются горячим воздухом или склеиваются синтетическими клеями.

10.3. Рулонные материалы

Рулонные материалы являются наиболее распространенным видом продукции для гидроизоляции и кровли. Преимущества рулонных кровельных материалов: устройство кровли с малыми уклонами и сложной конфигурацией крыши; экономия расходов на эксплуатацию кровли; технологичность в работе; высокая производительность труда. Их свойства зависят, прежде всего, от *вида связующих* (битумные, битумно-резиновые, битумно-полимерные, полимерные).

Рулонные материалы должны выдерживать испытание на гибкость в условиях:

Вид материала	Условия испытания материалов на гибкость	
	На брус с закруглением радиусом, мм	При температуре, °С, не выше
<i>Битумные</i> на картонной основе	25±0,2	5
<i>Битумно-полимерные</i>	25±0,2	–15
<i>Полимерные:</i> – эластомерные	5±0,2	–40
– термопластичные	5±0,2	–20

К *битумным рулонным материалам* на основе картона относятся такие традиционные кровельные и гидроизоляционные материалы, как рубероид и пергамин. Преимущества: дешевизна, простота изготовления, удовлетворительные защитные свойства. В настоящее время применяют как материалы для ремонта.

Рубероид получают путем пропитки кровельного картона мягким нефтяным битумом (БНК-45/80) с последующим покрытием с одной или двух сторон тугоплавким битумом (БНК-90/30) и минеральной посыпкой – для повышения атмосферостойкости, предотвращения слипания рулона, придания декоративности. Рубероид бывает кровельный (К) и подкладочный (П), а посыпка – крупнозернистая (К), чешуйчатая (Ч), пылевидная (П). Более эффективным материалом является наплавляемый рубероид.

Пергамин – беспокровный материал, получаемый путем пропитки кровельного картона мягким битумом. Подкладочный материал под рубероид. Горит и гнивает. Марки: П-300, П-350.

Пути повышения качества битумных рулонных материалов:

- замена основы на гнилостойкую и более прочную (синтетическая или стеклоткань, фольга);
- замена покровной массы на более растяжимую и трещиностойкую битумно-полимерную (интервал пластичности до 200 °С);
- одновременная замена основы и покровной массы.

Гидроизол: асбестовый картон пропитывается нефтяным битумом. Применяют для подземных сооружений, плоской кровли, трубопроводов. Гнилостоек и долговечен. Марка – ГИ.

Бикрост получают путем двустороннего нанесения на стекловолоконистую (стеклохолст, перфорированный стеклохолст, каркасная стеклоткань) или полиэфирную основу связующего, состоящего из битума и наполнителя, с последующим нанесением на обе стороны полотна защитных слоев. Теплоустойчивость – не ниже 80 °С; температура гибкости на брусе $R = 25$ мм – не выше 0 °С.

Битумно-резиновые рулонные материалы отличаются значительным разнообразием: это может быть стеклохолст, покрытый резиновой мастикой; в другом варианте основой служит кровельный картон; в третьем – это безосновный рулонный битумно-резиновый ковер.

Изол – безосновный материал конгломератной структуры (резинобитумное связующее, асбестовое волокно, антисептик, пластификатор), гибкий при отрицательной температуре, растяжимый, гнилостойкий, долговечный. Толщина – 2 мм; водопоглощение за 24 ч – до 1 %; эксплуатация – от –25 до +80 °С. Область применения – оклеечная гидроизоляция подвалов, туннелей, бассейнов, мостов, трубопроводов, кровли. Клеят горячими и холодными мастиками, кромки соединяют путем сварки и выравнивают швы специальной гладилкой.

Стеклоизол: стеклохолст покрывают резинобитумной мастикой. Теплостойкость – 85 °С; гибкость на брусе $R = 25$ мм – не выше –5 °С. Применение: кровля, мосты, метро.

Армобител – на основе стеклохолста или стеклосетки с утолщенной покровной массой из битумно-каучуковых мастик с посыпкой. Высокая температуростойчивость, морозостойкость, водостойкость. Марки: АБСхМ-2,0; АБСсМ-3,0; АБСтК-3,5.

Фольгоизол – тонкая рифленая или гладкая алюминиевая фольга толщиной 0,3 мм, покрытая с одной стороны резинобитумным или полимербитумным вяжущим с минеральным наполнителем и антисептиком. Кровельный и гидроизоляционный материал. Долговечный, прочный, гибкий, водонепроницаемый, отражает солнечные лучи. Ширина – 1000 мм, длина – 10 м.

Битумно-полимерные материалы

Унифлекс получают путем двустороннего нанесения на стекловолокнустую или полиэфирную основу битумно-полимерного вяжущего, состоящего из битума, бутадienstирольного термоэластопласта и наполнителя. В качестве защитного слоя используют крупно- и мелкозернистую посыпки, фольгу и полимерную пленку. Толщина – 3,8 мм; температура

хрупкости – не выше -30°C ; температура гибкости на брус $R = 25\text{ мм}$ – не выше -20°C ; теплостойкость – не менее 95°C .

Техноэласт – многофункциональный СБС-модифицированный, наплавляемый кровельный и гидроизоляционный материал повышенной надежности. Предназначен для устройства кровельного ковра зданий и сооружений, гидроизоляции фундаментов и других конструкций с повышенными требованиями по надежности во всех климатических районах. Толщина – 4,2 мм; водопоглощение в течение 24 ч – не более 1 %; температура гибкости на брус $R = 10\text{ мм}$ – не выше -25°C ; теплостойкость – не менее 100°C .

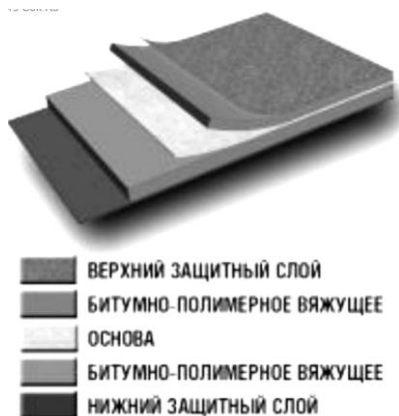


Рис. 10.4. Структура рулонных битумно-полимерных материалов

Полимерные мембраны долговечнее других гидроизоляционных материалов. Стоимость мембран практически сравнялась со стоимостью битумно-полимерных материалов премиум-класса (техноэласт и т.д.), но срок службы у них значительно больше. Так, ведущие производители кровельных мембран дают им гарантию на 10–20 лет, а прогнозируемый срок безремонтной службы полимерной кровли – до 50 лет (при точном соблюдении технологии).

ЭПДМ-мембраны (СКЭПТ) – самый «старый» из полимерных кровельных материалов. Первые кровли, выполненные из него в США, эксплуатируются уже более 40 лет. В России материал

ЭПДМ известен с 1980-х годов. Гибкость на брус $R = 5$ мм при -60 °С; толщина 1,15–1,5 мм; теплостойкость $+130$ °С. Швы склеиваются резиновым клеем. Нестойки на прокол.

ПВХ-мембраны изготавливают из высококачественного эластичного поливинилхлорида (PVC-P) широко применяют в западных странах. *Основные особенности материала:* скрепление швов производится путем сварки горячим воздухом; имеет высокую прочность на прокол и разрыв (армирована полиэфирной сеткой) и широкую цветовую гамму (9 стандартных цветов). Обладает повышенной паропроницаемостью, что позволяет испаряться конденсатной влаге. Гибкость на брус $R = 5$ мм при -55 °С; толщина 1,2–2 мм; теплостойкость $+130$ °С.

ТПО-мембраны изготавливают на основе термопластичных полиолефинов последнего поколения, разработаны и запущены в серийное производство в США в 1990-х годах. Первый проект в России был осуществлен в начале 1998 года. ТПО-мембрана состоит из смеси каучука и полипропилена, обладает высокой химической стойкостью. Скрепление швов производится путем сварки горячим воздухом специальными сварочными машинами. Гибкость на брус $R = 5$ мм при -55 °С; толщина 1,2–2 мм; теплостойкость $+90$ °С.

Комбинированные мембраны («Резитрикс», «Элон-Супер Н») – гибридные кровельные материалы нового поколения с дополнительным битумно-полимерным слоем – представляют собой двухслойный материал, верхний слой которого – полимерная мембрана на основе каучука СКЭПТ (ЭПДМ), а нижний слой – из битумно-полимерного вяжущего. Таким образом получают полимерную мембрану, которая монтируется на кровле с помощью привычных горелок. К тому же, наплавив один слой, получают прочный двухслойный кровельный ковер толщиной около 4 мм. Гибкость на брус $R = 5$ мм при температуре -60 °С; теплостойкость 130 °С.

10.4. Мастики, бетоны и герметики

Мастики получают смешением органических связующих с тонкодисперсными наполнителями (зола, мел, известняк, тальк, асбест, минераловатная сечка). Назначение: приклеивание отделочных материалов к стенам, наклеивание покрытий пола, рулонных кровельных материалов, безрулонная кровля.

Классификация мастик:

- 1) *по виду вяжущего*: битумные, битумно-резиновые, битумнополимерные, полимерные;
- 2) *по условиям применения*: горячие (битумные +160...+180 °С), холодные (от температуры воздуха – до 70 °С);
- 3) *по назначению*: приклеивающие (склеивание рулонных кровельных материалов); кровельно-гидроизоляционные (безрулонная кровля, гидроизоляция); асфальтовые (литая штукатурка, скрепление камней); антикоррозионные (защита конструкций и трубопроводов от кислот и щелочей, окислов азота, паров аммиака).

Качество мастик характеризуется:

- 1) теплостойкостью (предельной температурой, при которой слой мастики в 2 см между полосками пергамина не вытекает за 5 ч под уклоном 45°);
- 2) трещиностойкостью (диаметром стержня, при огибании которого слой в 1 мм не трескается при определенной температуре).

Мастика битумная кровельная горячая представляет собой однородную массу, состоящую из битумного вяжущего, наполнителя, антисептиков и других добавок. Для ее приготовления применяют нефтяные кровельные, а также нефтяные дорожные битумы и их сплавы. Выпускаются мастики следующих марок: МБК-Г-55, МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85 и МБК-Г-100 (цифра означает температуру размягчения мастики). Горячие битумные мастики характеризуются: высокой водостойкостью; химической стойкостью; гибкостью при температуре +18 °С на стержнях диаметром 10–40 мм; незначительной долговечно-

стью. Область применения зависит от района строительства и уклона кровли. Мастики наносят в горячем виде.

Холодные битумные мастики получают путем смешивания битумных эмульсионных паст с минеральными наполнителями без нагрева компонентов. Они представляют собой *водные дисперсионные системы*, переходящие после испарения воды из жидкотекучего состояния в пластичное (мастика «Хамаст»). Другая разновидность холодных мастик представляет собой смесь раствора битума в *органическом растворителе* (керосине, солярке и др.) с наполнителем и антисептиком (мастики МБК-Х, МБС-Х). Холодные мастики продлевают строительный сезон и улучшают условия труда; снижается толщина слоя, экономится битум. Недостаток – необходимость многократного прикатывания для устранения вздутий.

Мастика битумно-резиновая – многокомпонентная однородная масса, состоящая из нефтяного битума, наполнителя и пластификатора. В качестве наполнителя применяют резиновую крошку (от 6 до 12 %) и минеральный порошок, пластификатором служит зеленое масло. Битумно-резиновые мастики рекомендуется применять при следующих температурах окружающей среды, °С: МБР-65 – от +5 до –30; МБР-75 – от +15 до –15; МБР-90 – от +35 до –10; МБР-100 – от +40 до –5.

Битумно-каучуковые и каучуковые мастики: в состав входят бутилкаучук или хлорсульфополиэтилен (мастики «Вента», «Кровлелит», «Поликров-М», «Битурэл» и др.) Их производство включает сложный процесс совмещения и гомогенизации компонентов смеси. Для получения таких мастик используются высокотехнологичные установки и материалы, что значительно улучшает их свойства и повышает долговечность.

Асфальтовые растворы и бетоны материалы, получаемые в результате уплотнения смеси, состоящей из битума, минерального порошка, песка и крупного заполнителя (гравия, щебня). Общее содержание битума – 5–6 %. Достоинства асфальтобетона: прочность, износостойкость, водонепроницаемость, ровность покрытий и упругость. В строительстве используют

горячие и холодные асфальтобетоны. *Горячие* готовят при перемешивании подогретых до 180–200 °С заполнителей с расплавленным битумом. Укладывают и укатывают горячими. *Холодные* асфальтобетоны готовят на жидких битумах. После укладки они затвердевают в течение нескольких дней за счет испарения легких фракций. Дешевы, но менее долговечны, чем горячие. Асфальтобетон применяют для покрытий автодорог, улиц, полов промышленных цехов, складов, хранилищ.

Асфальтовые растворы – смесь асфальтового вяжущего с песком. Общее количество битума в растворе – 9–11 %. Готовят раствор при 180 °С. Применяют для покрытия тротуаров, полов промышленных зданий, устройства плоских крыш, оснований полов. Асфальтовое покрытие наносят слоем 2–3 см на сухое уплотненное основание. После укатки битум остывает и постепенно загустевает, раствор твердеет.

Листовые и штучные изделия

Кровельные битумные листы получают пропиткой плотной основы битумом с нанесением кровельного слоя с наполнителем. Маркировка: ЛБ-500 (ЛБ – лист битумный); ЛБ-650 (с крупнозернистой цветной посыпкой). Форма – прямоугольная и шестиугольная.

Кровельные плитки типа «Шинглс» представляют собой битумный или битумно-полимерный штучный материал со стекловолоконистой основой различных типоразмеров толщиной 3–5 мм. На верхней стороне плитки имеется посыпка, которая придает материалу определенный цвет и служит защитой от воздействия атмосферных осадков. Конфигурация таких изделий может быть получена путем вырубки, штамповки, прессовки. Крепление производят гвоздями, специальными скобами или самоклеящимися точками к деревянной обрешетке.

Плиты асфальтовые бывают армированные (стеклоткань, металлическая сетка) и неармированные. Получают прессованием горячей мастики или асфальтобетонной массы в изделие 100×60×2 см. Применяют для устройства оклеечной гидроизоляции.

Асфальтовые маты на основе стеклоткани: длина – 3–10 м; ширина до 1000 мм; толщина 4–6 мм. Применяют для оклеечной гидроизоляции.

Гидроизоляционные камни получают путем пропитки пористых штучных изделий (кирпича, бетона, туфа, опоки, мела) битумом, петролатумом. Температура +180...+200 °С, пропитка – на глубину 10–20 мм. Гидроизоляция выполняется в виде кладки или футеровки на цементном и асфальтовом растворе.

Газоасфальт – битумоизвестковая паста, портландцемент, газообразователь (алюминиевая пудра). Применяют для кровельных панелей и изоляции трубопроводов.

Герметики применяют для заделки температурных швов, стыков панелей и монтажных швов. Ассортимент строительных герметиков достаточно разнообразен. При этом марки герметиков различаются не только по основным эксплуатационным свойствам, но и по внешнему виду и технологическим показателям. Прежде всего, различают *мастичные* и *штучные* герметики.

Мастичные герметики. В зависимости от физико-химических процессов, происходящих после применения, различают мастичные герметики *отверждающегося* (вулканизирующегося), *нетвердеющего* и *высыхающего* типов.

Герметики *отверждающегося* (вулканизирующегося) типа после их нанесения в пастообразном состоянии отвердевают, т.е. переходят из вязкого в резиноподобное состояние, прочно сцепляясь с основанием. Эти герметики часто называют по типу каучука: *тиоколовые*, *силоксановые*, *фторкаучуковые*, *фторсилоксановые* и др. В России выпускаются *вулканизирующиеся* герметики следующих марок: «Тиксопрол», «Тиксур», «Аэропласт», «Электросил» и др.

Нетвердеющие герметики остаются мягкими и пластичными на протяжении всего периода эксплуатации здания и отличаются удобством применения (методом шприцевания) и возможностью герметизировать стыки любых конфигураций. Представляют собой высоконаполненные резиновые смеси на основе *полиизобутилена*, *бутилкаучука*, *этиленпропиленового каучука* и их сочетания друг с другом. К отечественным герме-

тикам нетвердеющего типа относятся мастики УМ-40, УМ-50, УМ-60, УМС-50, «Бутепрол», а также резинобитумная мастика (горячая и холодная) изол Г-М и многие другие.

Герметики *высыхающего* типа представляют собой растворы резиновых смесей определенного состава в органических растворителях. После заполнения стыков сборных элементов зданий и испарения растворителя они становятся эластичными, резиноподобными.

Наиболее известные из них: «Бутислан», «Гермабутил», «Пигментобутил» – представляют собой растворы бутилкаучука в бензине или уайт-спирите, содержащие неактивные наполнители и модифицирующие добавки. Применяют также акриловые герметики в виде мастик. Они представляют собой модифицированные эфиры акриловой кислоты, содержащие различные добавки: наполнители, пластификаторы, регуляторы вязкости, растворители и др., отверждение происходит путем высыхания.

Штучные герметики – эластичные прокладки – получают в виде *пористых* или *плотных* лент, жгутов, штапиков различной конфигурации. Используют для уплотнения деформационных швов монолитных и сборных конструкций, оконных и дверных проемов, стыков между панелями и других полостей. Штучные герметики изготавливаются из каучуков и резин, поливинилхлорида, полипропилена и иных эластичных материалов.

Пористые прокладки и жгуты. Жгуты имеют различные поперечные сечения. Они эластичны и устанавливаются в шов в обжатом состоянии

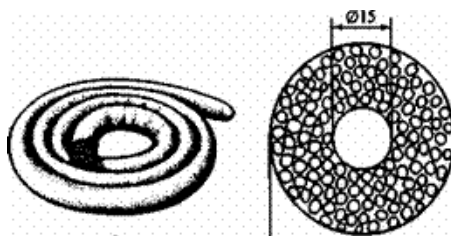


Рис. 10.5. Вид пористых герметиков

Пороизол – вулканизированная газонаполненная резина. Формируют жгуты и ленты и вулканизуют при 150–160 °С. При укладке предварительно обжимают на 15–50 % по объему. Применяют приклеивающие мастики. Используется от –80 до +50 °С.

Гернит – пористый эластичный материал из негорючего полихлоропренового каучука (наирита) в виде прокладок длиной 3 м и диаметром 20, 40, 60 мм (используется от –40 до +70 °С). Применяется в крупнопанельном домостроении и метростроении.

Вилатерм – пористые прокладки на основе пенополиэтилена. Диаметр – 8, 15, 20, 30, 40, 50 мм; интервал эксплуатации – от –60 до +90 °С.

Пенополиуретан применяют в виде эластичных жгутов или монтажных пен. *Монтажные пены* – жидкие полиуретановые составы, которые отверждаются на воздухе. Они расфасованы в баллончики. При нажатии на клапан баллончика, из него выходит струя вязкой жидкости, вспучивающаяся и затвердевающая в виде пены через несколько часов. Данный герметик обеспечивает не только гидроизоляцию, но и теплоизоляцию в герметизируемом шве.

Профильные эластичные уплотнители изготавливают из каучуковых составов (ЭПДМ), полиэтилена, поливинилхлорида и других эластичных материалов без применения поризации.

В настоящее время выпускается широкий ассортимент профильных лент чрезвычайно разнообразной конфигурации для уплотнения деревянных, пластиковых, алюминиевых и других конструкций. Они могут иметь профиль очень сложного сечения, быть полыми, плотными, заполненными упругим наполнителем или специальными жидкостями и т.д., обеспечивая максимально плотное прилегание к поверхностям стыка. Интервал эксплуатации прокладок – от –60 до +70 °С.

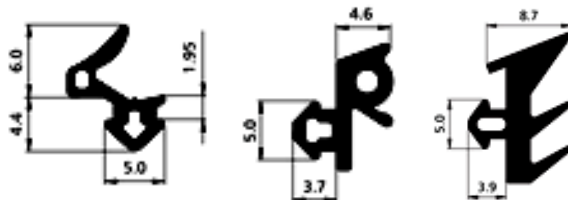


Рис. 10.6. Виды сечений некоторых профильных герметиков

Обычно *пористые* и *плотные* профильные герметики применяются с *нетвердеющими* мастичными герметиками, чем обеспечивается максимальная защита стыка от проникновения влаги.

Объемная гидроизоляция – вид изоляции, при которой гидроизоляционные функции выполняет сам защищаемый материал за счет подбора его состава, введения специальных добавок, пропитки или инъекции уплотняющими веществами.

Бетоны с добавками полимеров делятся на:

- *полимерцементные бетоны* – цементные бетоны, в состав которых добавляют водорастворимые полимеры или водные эмульсии типа поливинилацетатной, водорастворимые эпоксидные или кремнийорганические смолы и др.;

- *полимербетоны (ПБ)* – получают на основе синтетических смол и химически стойких наполнителей и заполнителей без применения минеральных вяжущих и воды;

- *бетонополимеры (БП)* – цементные бетоны, которые после завершения процессов твердения подвергаются пропитке различными мономерами на различную глубину.

Пропиточные и инъекционные составы

Пропитке подвергают изделия из бетона (трубы, сваи, колонны, плиты и др.), керамики (кирпичи, трубы, блоки); асбоцемента (листы и трубы) или из природных пористых камней

(известняк – ракушечник, туф и др.). *Пропиточными материалами* служат органические вяжущие (битумы, петролатум), термopластичные полимеры, мономеры терморепактивных смол (стирол, метилметакрилат), жидкое стекло. Пропитанные изделия и конструкции обладают высокой водопроницаемостью, водоустойчивостью и морозостойкостью.

Наиболее известны водоотталкивающие пропитки на основе *кремнийорганических жидкостей*. Они бесцветны, в основном водорастворимы, могут проникать на глубину 5–40 см, поэтому применяются для гидроизоляции памятников архитектуры, стен жилых и общественных зданий. Это полиорганосиликонаты щелочных металлов, полиорганогидросилоксановые эмульсии. Силиконовые составы в виде 0,5–5%-ных растворов или эмульсий предназначены для гидрофобизации капилляров в материале, не ухудшают паропроницаемость. Новое поколение силиконовых гидрофобизаторов – «Пента», «Аквастоп», «Софэксил» и др. Они позволяют снизить капиллярный подсос в 10 раз по сравнению с необработанными поверхностями.

Инъекционная гидроизоляция представляет собой заполнение пор или трещин в сооружении в результате нагнетания уплотняющего вещества с последующим его отверждением. В качестве уплотняющих составов применяют: суспензии (цементные, цементно-глиняные); растворы (цементные, полимерцементные); жидкое стекло; битумные расплавы и эмульсии, битумно-латексные композиции, полиуретановые и другие смолы. Этот вид гидроизоляции используется для ликвидации течей через фильтрующие железобетонные ограждающие конструкции, повышения плотности и обеспечения водонепроницаемости сооружений.

Материалы проникающего действия представляют собой сухие смеси на основе специальных цементов, кварцевого песка и активных химических добавок. Принцип действия заключается в проникновении химических веществ в структуру бетона, где они, взаимодействуя с составляющими цементного камня,

образуют нерастворимые кристаллы, заполняющие (кольматирующие) микротрещины, поры бетона. Кристаллы уплотняют структуру бетона, тем самым перекрывая доступ воде, но не воздуху. Глубина проникновения – до 100 мм. Время схватывания в зависимости от вида и назначения состава – от 15–20 с до 4–6 ч, толщина покрытия – 2–4 мм.

Область применения материалов проникающего действия – защита резервуаров, фундаментов, подвальных помещений, плотин, шахт, хранилищ нефтепродуктов, канализационных коллекторов, мостовых сооружений, туннелей, гидротехнических сооружений и т.д. Примером материалов проникающего действия могут быть составы «Акватрон», «Стромикс», «Penetron», «Kalmatron» и др.

11. ПОЛИМЕРНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

11.1. Общие сведения о полимерах и пластмассах

Полимеры (греч. «поли» – много, «мерос» – часть, доля) – высокомолекулярные соединения, состоящие из многих элементарных звеньев одинаковой структуры и обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью теряется после отверждения полимера. Полимеры имеют молекулярную массу более 5000 ед., низкомолекулярные – менее 500 ед.

Пластические массы (пластмассы) – это композиции, состоящие из полимерного связующего, наполнителей, стабилизаторов, пластификаторов, отвердителей.

Для производства полимеров имеются огромные запасы сырья. Исходными материалами для их получения являются природный газ и так называемый «попутный» газ, сопровождающий выходы нефти.

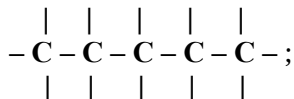
Классификация полимеров

1. По происхождению:

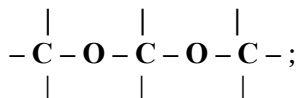
- *природные* (каучук, целлюлоза);
- *искусственные* модифицированные (нитроцеллюлоза);
- *синтетические* (полиэтилен, полистирол и др.).

2. По составу основной цепи макромолекул полимеры делят на три группы:

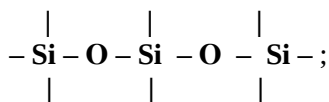
- *карбоцепные полимеры*, молекулярные цепи которых содержат лишь атомы углерода (полиэтилен, полиизобутилен и т.п.):



- *гетероцепные полимеры*, в состав молекулярных цепей которых входят, кроме атомов углерода, атомы кислорода, серы, азота, фосфора (эпоксидные, полиуретановые, полиэфирные полимеры и т.п.):



- *элементоорганические полимеры*, в основных молекулярных цепях которых содержатся атомы кремния, алюминия, титана и некоторых других элементов, не входящих в состав органических соединений, например, кремнийорганические соединения:



3. По строению молекул:

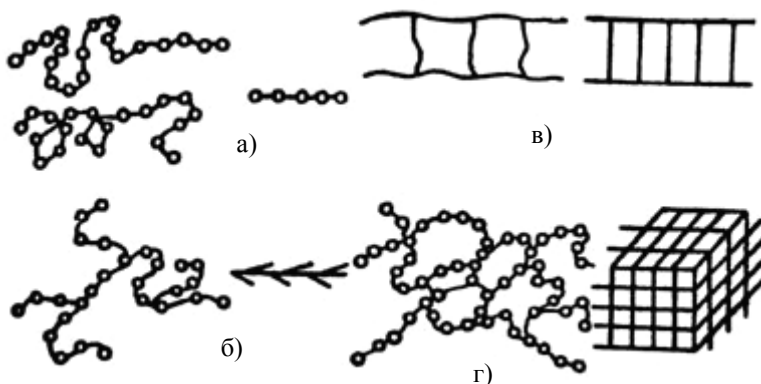


Рис. 11.1. Различные типы строения молекул полимеров:

а – линейное; б – линейно-разветвленное;

в – плоско-сшитое; г – пространственно-сетчатое

4. По отношению к нагреву:

- *термопластичные* (термопласты) – полимеры, способные обратимо размягчаться при нагреве и отвердевать при охлаждении, сохраняя основные свойства; эти полимеры имеют линейное строение (полиэтилен, полистирол);

- *термореактивные* (реактопласты) – полимеры, которые, будучи отверждены, не переходят при нагреве в пластичное состояние; термоактивные полимеры при повышении температуры ведут себя подобно древесине, т.е. претерпевают деструкцию и загораются (эпоксидные, карбамидные).

5. *В зависимости от метода синтеза: полимеризационные, поликонденсационные.*

Полимеризационные полимеры получают методами полимеризации, которой подвергаются мономеры, в молекулах которых содержатся двойные связи. За счет раскрытия связей образуются свободные валентности, соединяющиеся в макромолекулы. Не отщепляются атомные группы, не образуются побочные продукты, химический состав полимера и мономера одинаков.

Полиэтилен (ПЭ): высокая химическая стойкость; низкая теплостойкость (80 °С); плохая адгезия к клеям (соединяются сваркой горячим воздухом); поедаются грызунами.

Полипропилен (ПП): по свойствам сходен с полиэтиленом, но более теплостоек; легко сваривается. Как и полиэтилен, используется при изготовлении труб, пленок, погонажа, пенопластов.

Полистирол (ПС): пропускает до 90 % солнечных лучей; хрупок; растворим в органических растворителях. Применяется при изготовлении пенопластов и облицовочной плитки.

Поливинилхлорид (ПВХ): не горюч, но при повышении температуры до 150–170 °С начинает разлагаться с выделением ядовитого хлористого водорода. Из ПВХ изготавливают линолеум, плитки, пленки, погонаж, трубы.

Поливинилацетат (ПВА): высокая адгезия; эластичность; светостойкость; бесцветность. На его основе изготавливают лаки, краски, клеи, полимербетон.

Полиметилметакрилат (ПММА) – органическое стекло, пропускает 99 % света; высокая прочность, легкость обработки. Применение – остекление, краски, лаки.

Синтетические каучуки (эластомеры) эксплуатируют в упруго – эластичном состоянии. Температура хрупкости – более –60 °С. Различают изопреновые, бутадиеновые, бутадиен-сти-

рольные и другие каучуки. При обработке серой (140–150 °С) и давлением вулканизируются – получается резина. Наполнители: газовая сажа, мел, каолин. Применение: клеи, добавки в мастики, растворы, бетоны, производство герметиков.

Поликонденсационные полимеры получают методами поликонденсации. При поликонденсации макромолекулы образуются в результате химического взаимодействия между функциональными группами, это взаимодействие сопровождается отщеплением молекул побочных продуктов (воды, хлористого водорода, аммиака и др.). В связи с этим химический состав полимера отличается от состава исходных веществ.

Фенолоформальдегидные – термопластичные (новолачные) и термореактивные (резольные). Применяют в качестве связующих в слоистых пластиках, пенопластах, минераловатных плитах, клеях. При эксплуатации выделяется формальдегид (канцерогенное вещество).

Карбамидные: свойства и область применения сходны с фенолоформальдегидными. Окрашивают в яркие цвета.

Эпоксидные: отличаются высокой адгезией к бетону, металлу, древесине; прочностью; химической стойкостью. Область применения: клеи, связующие в стеклопластиках и полимербетоне.

Полиуретановые: горючи, не стойки к ультрафиолету. Применяют для наливных полов, мастик, пенопластов, герметиков, инъекционных составов.

Кремнийорганические (полиорганосилоксаны): теплостойкость – более 400 °С; водостойки; морозостойки. Малая прочность и адгезия. Применение: герметики, жаростойкие лаки, пенопласты, стеклопластики.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна, бумага, ткани, древесный шпон и другие листовые материалы. Уменьшают потребность в дорогом полимере, улучшают ряд свойств изделий: повышают теплостойкость, сопротивление растяжению и изгибу. Органические – древесная мука, лигнин, ткань, бумага, дре-

весный шпон); неорганические – асбест, стекловолокно, тальк, слюда, кварцевая мука, каолин, графит, сажа.

Пластификаторы повышают эластичность, облегчают переработку. В виде пластификаторов могут использоваться некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости.

Добавки **стабилизаторов** способствуют сохранению структуры и свойств пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха, нагрева и других неблагоприятных факторов.

В качестве **красителей** пластмасс применяют как органические (нигрозин, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты – охру, мумию, сурик, ультрамарин, белила и др.

Для производства пористых пластических масс в полимеры вводят специальные вещества – **порообразователи** (порофоры), обеспечивающие создание в материале пор.

11.2. Технология и свойства полимерных материалов

Способы получения заключаются в следующем: подготовка сырья → дозирование → приготовление композиции → формование → стабилизация (твердение), охлаждение.

Формование материалов и изделий осуществляется различными способами:

- вальцевание (рулонные и листовые материалы);
- экструзия (погонаж, трубы, пленки);
- литье под давлением в форму (штучные изделия, плитки, части труб);
- термоформование под вакуумом из листов (емкости, ванны, раковины);
- прессование (слоистые пластики, штучные изделия).

Свойства полимерных материалов

Пластмассы обладают **положительными** свойствами:

- *различной плотностью* от 5 до 2200 кг/м³;
- *высокими прочностными характеристиками*: предел прочности при разрыве волокнистых пластиков достига-

ет 350 МПа. Коэффициент конструктивного качества (К.К.К.) достигает 1–2 (кирпич – 0,02, бетон – 0,06);

- *низкой теплопроводностью*: самые легкие пористые пластмассы имеют показатель теплопроводности всего лишь 0,025–0,035 Вт/(м·°C). Теплопроводность плотных пластмасс – 0,12–0,35 Вт/(м·°C).
- *высокой химической стойкостью, водостойкостью*: водопоглощение плотных пластмасс составляет 0,1–0,5 %.
- *способностью окрашиваться в различные цвета*;
- *малой истираемостью*, что целесообразно использовать для покрытия полов: истираемость ПВХ линолеума – 0,035–0,05; гранита – 0,01–0,1 г/см²;
- *прозрачностью*: органические стекла пропускают более 70 % ультрафиолетовых лучей, тогда как обычные – менее 1 % при значительно меньшей плотности;
- *технологической легкостью обработки* (пиление, сверление, фрезерование, строгание, обточка и др.), позволяющей придавать изделиям из пластмасс разнообразные формы. Пластмассовые изделия поддаются склеиванию, благодаря чему возможно изготовление различных комбинированных клееных изделий и конструкций;
- *легкостью сварки* материалов (в струе горячего воздуха), что позволяет механизировать работы по монтажу;
- *способностью образовывать тонкие пленки* в сочетании с их высокой адгезией, что позволяет использовать их для производства строительных лаков и красок;
- *наличием широкой сырьевой базы* для производства полимеров (природные газы, газы нефтепереработки).

К **отрицательным** свойствам пластических масс следует отнести:

- *низкую теплостойкость*, которая составляет +60...+150 °C, кроме кремнийорганических полимеров (более 400 °C);
- пластические массы имеют *малую поверхностную твердость*;

- значительным недостатком является *высокий коэффициент термического расширения* – $25\text{--}120 \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$, т.е. в 2,5–10 раз выше, чем у стали, что необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций, особенно крупноразмерных;
- *повышенную ползучесть*, особенно при повышении температуры. Модуль упругости пластмасс составляет 0,1–4,5 ГПа (сталь – 200–220, древесина – 6–14);
- пластмассы относятся к диэлектрикам и *способны накапливать статическое электричество*;
- *горючесть* и *токсичность* продуктов горения; негорюемы фторопласты и перхлорвинил; при повышении температуры эксплуатации выше установленных пределов могут выделяться *токсичные вещества* (бензол, ацетон, фенол, хлор и др.);
- *старение* под действием солнечных лучей и кислорода воздуха (охрупчивание, потеря свойств, цвета). Для защиты от старения вводят специальные добавки – *стабилизаторы*.

11.3. Полимерные материалы и изделия в строительстве

1. *Конструкционные* – древесно-слоистые пластики, стеклопластики, полимербетоны (см. п. 10.4).
2. *Материалы для пола* – рулонные, ковровые, плитки, наливные полимерные полы.
3. *Отделочные материалы* – бумажно-слоистые пластики, пленки, сайдинг, плитки, влагостойкие обои.
4. *Кровельные, гидроизоляционные, герметизирующие* – мембраны, пленки, мастики, герметики.
5. *Материалы для трубопроводов и сантехники*.
6. *Тепло- и звукоизоляционные пластмассы* (пено-, поро-, сотопласты).
7. *Лаки, краски, мастики и клеи*.

Конструкционные материалы

Древесно-слоистые пластики состоят из древесного шпона, склеенного фенолоформальдегидным или карбамидным связующим. Область применения – несущие конструкции, монтажные и крепежные элементы.

Стеклопластики. В качестве арматуры используют стеклянные волокна, жгуты, ткани; связующие – фенолоформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные смолы. СВМ – стекловолокнистый анизотропный материал (с ориентированными стеклянными волокнами); прочность при растяжении – до 1000 МПа; плотность – 1800–2000 кг/м³.

Применяют как арматуру в бетонах, для гибких связей, для изготовления бассейнов, труб, обшивок многослойных панелей, корпусов яхт, ограждения лоджий, балконов, как светопрозрачные перегородки, фонари верхнего света и т.д.



Рис. 11.2. Стеклопластиковая арматура

Оргстекло (акриловое стекло) – прозрачный твердый материал из ПММА (полиметилметакрилата). Горит при 300 °С. Применяется в светопрозрачных ограждениях, пропускает до 99 % солнечных лучей.

Террасная доска, или декинг (англ. decking) – композит, который состоит из древесных волокон (50–80 %) и полимерных связующих. Может быть любой формы, поверхности и рисунка. Не впитывает влагу; не дает усадки; трещин; не меняет геометрических размеров из-за перепадов температуры. Используют для настила полов на открытом воздухе, в общественных местах с повышенной проходимостью, на эксплуатируемых крышах, для настила палуб яхт, судов, в качестве конструктивных элементов мебели.



Рис. 11.3. Террасная доска

Материалы для полов

Полимерные материалы для полов малоистираемы; не набухают при увлажнении; прочны; плохо проводят тепло; имеют устойчивый цвет; гигиеничны.

Рулонные материалы: линолеумы (ПВХ, коллоксилиновый, резиновый – релин); синтетические ковровые покрытия.

Безосновный ПВХ линолеум может быть одно-, двух- и многослойным. Выпускается также линолеум и на тканевой, пористой или войлочной основе. Длина рулона линолеума обычно более 12 м, ширина – 150–400 см. Толщина: однослойного – 1,2–2,5 мм; многослойного – 2–2,5 мм; на тканевой основе – 2–2,5 мм; на ТЗИО (теплозвукоизоляционной основе) – 4–6 мм. Водопоглощение (за 24 ч) – до 5 %; гибкость – 20 мм; усадка – 0,5 %. Линолеум эксплуатируют при температуре более +10 °С и влажности до 60 %.

Коллоксилиновый линолеум – однослойный без подосновы или с тканевой подосновой: коллоксилин (нитроцеллюлоза) + пластификатор (дibuтилфталат) + наполнитель (гипс, асбест) + красители. При отрицательных температурах гибок.

Релин (резиновый линолеум) – двухслойный рулонный материал. Нижний подкладочный слой изготавливают из вулканизированной дробленой старой резины и нефтяного битума, а износостойкий верхний декоративный слой – из синтетического каучука, наполнителя и пигмента. Применяют для покрытия полов в промышленных зданиях, гаражах и т.д.

Ковровые синтетические материалы: ворсолин (петлевой), ворсонит (иглопробивной). Состоит из полимерной основы и

ворса. Основа – полиуретан, ПВХ, вспененный латекс. Ворс – синтетические (полипропиленовые, полиэфирные, амидные) и натуральные волокна. Может имитировать мех, используют для дизайна помещений.

Плиточные материалы для пола: в основном – на основе ПВХ. Получают вырубкой плиток на прессе из рулона, плитки – квадратной или прямоугольной формы. При укладке покрытий пола из плиток практически нет отходов, но они менее гигиеничны (из-за швов) и более трудоемки.

Резиновые плитки – методом высечки из кусков релина или горячим прессованием. Водо- и термостойки, стойки в щелочах и кислотах, эластичны.

Ламинат – 3-, 5-слойная доска. Длина – 1,2–1,5, ширина – 0,19–0,38 м, толщина – от 6 до 12 мм. Внутренний слой – твердая древесноволокнистая плита. Соединение паз – гребень. Верхний бумажный слой имитируют ценные породы дерева, камень. Применяют для отделки полов жилых и общественных зданий небольшой проходимости.

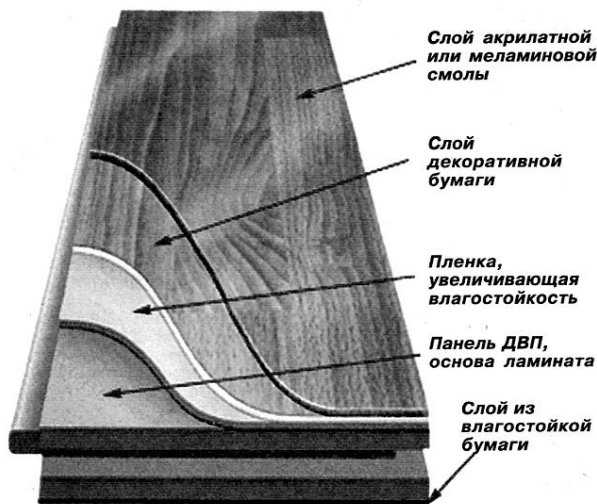


Рис. 11.4. Структура ламинированной паркетной доски

Наливные полы – это бесшовные полимерные покрытия толщиной 2–3 мм. Существует несколько видов покрытий для пола: метилметакрилатные (из метилметакриловых смол); эпоксидные; полиуретановые. Дополнительно содержат наполнители (молотый песок, зола) + пигмент. Массу наносят в 2–3 слоя на выровненное основание. Каждый последующий слой наносят после высыхания предыдущего. Отличаются износостойкостью, термостойкостью, пожаробезопасностью, долговечностью, гигиеничностью, беспыльностью, бесшовностью и т.д.

Полимерцементные полы получают на основе акриловых эмульсий, цемента и песка. По устойчивости к агрессивным средам и морозостойкости превосходят бетонные полы с упрочненным верхним слоем. Являются оптимальным решением устройства пола в паркингах, гаражах и на пищевых производствах.

Полимербетонные полы изготавливают на основе эпоксидных и полиэфирных связующих. Наполнители – минеральные порошки, заполнители – песок, щебень, гравий. Толщина покрытий пола – до 50 мм. Такие полы выдерживают большие нагрузки и химически стойки. Применяют в промышленных зданиях.

Отделочные материалы

Виды материалов для отделки стен: *рулонные* (пленочные) на бумажной и тканевой основе; *листовые* (бумажно-слоистые пластики, ДВП, ДСП, стеклопластики); *плиточные* (полистирол, ПВХ); *профильно-погонажные* (ПВХ-профили, уголки); *масляные* (краски, лаки, эмали).

Полимерные связующие: фенолоформальдегидные, фурановые, карбамидные (мочевиноформальдегидные), меламиноформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, кремнийорганические, поливинилхлоридные, синтетические каучуки, латексы.

Наполнители (повышают прочность): бумага, ткани, волокна (полимерные и натуральные), шпон, асбест, стекловолокно, тальк, каолин, графит, сажа.

Способы получения отделочных материалов и изделий: вальцевание, экструзия, промазной способ, литье под давлением, термоформование, прессование.

Пленочные материалы – без основы, с основой из бумаги или ткани с клеевым слоем. Имитируют ценные породы дерева, любые рисунки, фактуры, могут быть выполнены с металлизацией, матовые и глянцевые. Чаще всего применяют декоративные ПВХ-пленки. Для устройства «натяжных» потолков используют пластифицированные ПВХ-пленки с большой термической деформацией.

Моющиеся обои – рулонный отделочный материал на бумажной основе, покрытый тонкой пленкой на основе ПВХ, ПВА, ПММА. Можно клеить в помещениях с повышенным уровнем влажности и загрязнений. Их используют при отделке кухонь, прихожих и коридоров, ванных комнат. Поверхность может быть гладкой или рельефной, однотонной или с различными рисунками.

Бумажно-слоистые пластики ДБСлП получают пропиткой синтетическими смолами (карбамидной, фенолоформальдегидной, полиэфирной) и горячим прессованием нескольких слоев бумаги. Плиты до 3×1,6 м, толщина – 1–5 мм. Яркоокрашенная лицевая поверхность, темно-коричневая тыльная сторона. Отделочный материал для облицовки панелей, потолков, стен и мебели, так называемые «фасады МДФ».

Облицовочные плитки и панели (полистирольные, ПВХ) декорированы методом термопереводной печати. Полистирольные плитки получают методом литья под давлением на литьевых пресс-автоматах. Наполнители – каолин, тальк. Плитки 100×100, 150×150 мм, толщина 1,25–1,5 мм. Панели длиной 2,7–3 м, шириной – 0,25 м, пустотелые с ребрами жесткости, общая толщина – 10 мм. Применяют для внутренней облицовки стен и потолков.

Облицовочные рейки (сайдинг) изготавливают на основе ПВХ. Длина – 3 м, ширина – 0,18–0,25 м, толщина 1,2 мм. Имитируют дерево, кирпич, природный камень. Легко соединяются друг с другом. Применяют для наружной облицовки индивидуальных домов, торговых павильонов, зданий 3-й категории долговечности.

Материалы для трубопроводов и сантехники

Трубы и детали санитарно-технического оборудования выпускаются из полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена. Достоинства полимерных труб: легкость, устойчивость к коррозии, гибкость, постоянная пропускная способность, легкость монтажа. Недостатки: низкая теплостойкость, линейное расширение, температура жидкостей – до +60...+100 °С. Диаметр полимерных труб до – 630 мм. Применяют в водоснабжении, канализации, вентиляции, химических и пищевых производствах, газопроводах.

Тепло- и звукоизоляционные пластмассы

Полимерные материалы ячеистой структуры:

- *пенопласты* (изолированные ячейки);
- *поропласты* (сообщающиеся поры);
- *сотопласты* (повторяющиеся полости).

Наибольшее распространение в строительстве получили пенополистирол, пенополиуретан, пеноизол (карбамидный пенопласт).

Теплостойкость пенопластов (температура, при которой усадка пенопласта за 24 ч составляет менее 1 %) зависит от вида полимера: термопластичные +60...+70 °С, полиуретановые +90...+120 °С, фенопласты 150 °С, карбамидные 200 °С, кремнийорганические 250 °С. Подробнее о пенопластах см. п. 9.2.

Кровельные, гидроизоляционные, герметизирующие материалы (пленки, мастики, герметики) – см. п. 10.4.

12. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) предназначены для:

- декоративной отделки поверхности, защиты материала от вредных воздействий окружающей среды;
- улучшения санитарно-гигиенических качеств зданий и сооружений.

К лакокрасочным материалам относятся краски, лаки, эмали и вспомогательные вещества (грунтовки, шпатлевки, замазки и др.).

Процесс получения красочного покрытия состоит из нескольких последовательных операций:

- грунтование;
- шпатлевание;
- нанесение красочных слоев.

12.1. Назначение лакокрасочных материалов

Грунтовочный слой представляет собой жидкий состав, предназначенный для выравнивания свойств материала по отссылающим свойствам. Грунтовка способствует улучшению сцепления основного покрытия с материалом – подложкой.

Шпатлевочные составы наносят с целью выравнивания поверхности и ликвидации ее дефектов. Шпатлевки представляют густые пастообразные составы, образующие трещиностойкий слой. Число перечисленных операций определяется требованием к внешнему виду и условием эксплуатации.

Краски – это однородные суспензии пигментов, наполнителей в пленкообразователях, дающие после высыхания непрозрачные покрытия. Краска может представлять собой сухую композицию пленкообразующего вещества с пигментом и наполнителем, образующую после сплавления, охлаждения и отвердевания твердую непрозрачную пленку (порошковая краска).

Лаки – это растворы пленкообразователей в органических растворителях или воде, образующие после высыхания прозрачную однородную пленку.

Эмаль – это суспензия пигмента, возможно и наполнителя, в лаке, образующая после высыхания блестящую пленку.

Все лакокрасочные составы содержат связующее или пленкообразующее вещество, в них вводится целый ряд специфических добавок для придания цвета, повышения их технологических и эксплуатационных характеристик.

12.2. Классификация лакокрасочных материалов

1. По виду связующего и эксплуатационному признаку: природа и химический состав пленкообразующего вещества определяют технологический процесс, долговечность красочного покрытия и экологическую безопасность. Поэтому в основу обозначений ЛКМ положен вид пленкообразующего вещества (буквенный индекс) и его назначение (цифровой индекс). Например, ВА – поливинилацетатные, ЖС – силикатные, АК – полиакриловые, КО – кремнийорганические.

2. По назначению: цифровой индекс указывает на группу и условия эксплуатации:

Наименование по назначению	Группа	Условия эксплуатации
Атмосферостойкие	1	Покрытия, стойкие к различным климатическим воздействиям, эксплуатируемые на открытой площадке
Ограниченно атмосферостойкие	2	Покрытия, эксплуатируемые под навесом и внутри неотапливаемых помещений
Консервационные	3	Покрытия, применяемые для временной защиты окрашиваемой поверхности
Водостойкие	4	Покрытия, стойкие в условиях воды и ее паров
Специальные	5	Покрытия, обладающие специфическими свойствами: стойкостью к рентгеновскому излучению, светящиеся и др.

В соответствии с ГОСТ установлено 7 классов внешнего вида покрытий в зависимости от дефектов: 1-й класс – не допускаются никакие дефекты; 2–7 – возможны отдельные включения с учетом их числа (штуки на метр квадратный) в зависимости от длины, ширины, диаметра дефекта и расстояния между ними; в классах 3–7 допускается волнистость; в классах 5–7 – потеки; в классах 4–7 – разнооттеночность.

3. По консистенции:

- жидкие;
- вязкие;
- пастообразные;
- порошковые.

4. По виду растворителя:

Краски наносят тонким слоем на поверхность, жидко-вязкая консистенция достигается различными растворителями.

К группе *водоразбавляемых красок* относят известковые, цементные, полимерцементные, клеевые, казеиновые и водно-дисперсионные лаки и краски, а также пасты. В отделке зданий и сооружений применяют комплексные покрытия (пасты), обладающие одновременно свойствами штукатурок и красочных составов, что позволяет уменьшить трудоемкость и срок процесса отделки. Пасты разнообразны по виду связующего вещества: это могут быть водоразбавляемые минеральные вяжущие и дисперсии полимеров, а также синтетические смолы.

Вторую группу составляют *масляные краски* на основе высыхающих масел или олифы. Традиционные масляные краски обладают невысокой технологичностью.

Третью группу составляют окрасочные составы, содержащие летучие органические растворители – *лаки и эмали*. Использование летучих растворителей создает серьезный источник экологической вредности (токсичность, взрыво-, пожароопасность и др.).

Четвертая группа – *порошковые краски*, они не нуждаются в жидком компоненте и переводятся в рабочее состояние разогревом (расплавлением).

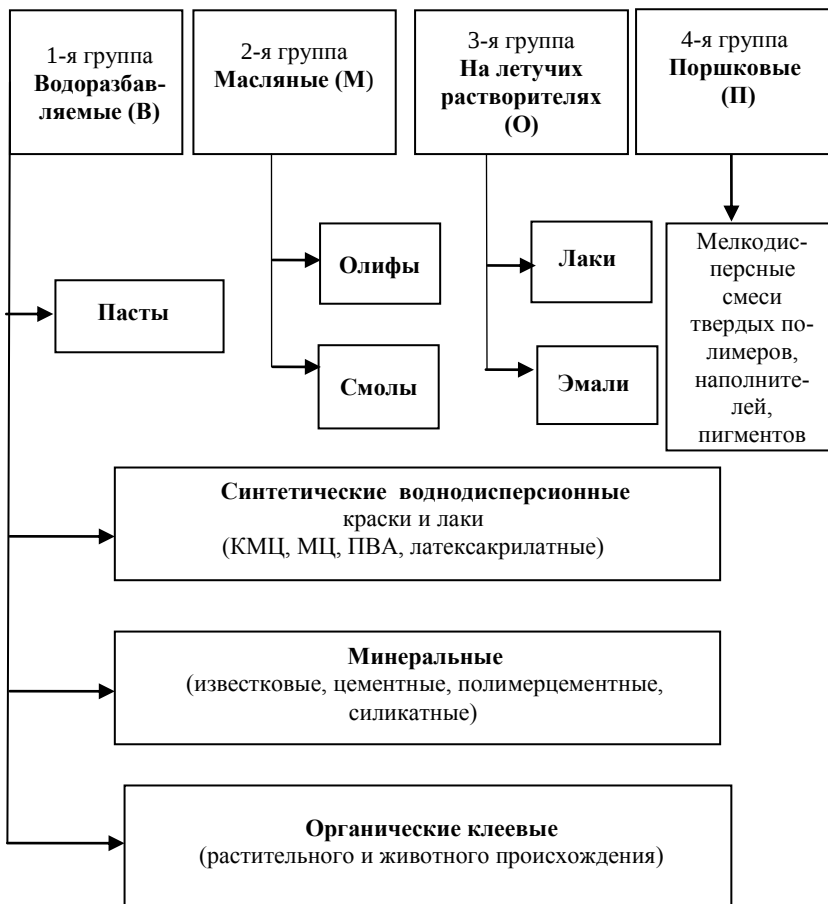


Рис. 12.1. Классификация ЛКМ по виду растворителя

12.3. Компоненты и их назначение

Пленкообразующие вещества служат для сцепления между собой компонентов красочного состава и создания тонкой пленки, прочно держащейся на поверхности.

Процесс пленкообразования зависит от вида связующего и связан с протеканием физико-химических процессов в слое краски (В): минеральные, известковые, цементные); связан с испарением растворителя (ОД), распадением водных дисперсий (ВД), «высыханием» масел за счет окисления кислородом воздуха (М). Ускоряют этот процесс отвердевания краски различные добавки – *сиккативы* (сикко – сушить, высушивать), лессирующие добавки, наоборот, замедляют высыхание краски.

Связующим веществом в порошковых красках являются термопластичные полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, полиамид) и реактопласты (эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые). Под воздействием определенных температур (170–250 °С) происходит ожижение состава (расплавление), слияние частиц, отверждение (образование стойкого покрытия).

Пигменты – сухие красящие порошки, являющиеся также наполнителями системы, нерастворимые в воде, масле и других наполнителях. Свойства пигментов изучаются в лаборатории.

Дисперсность пигмента (тонкость – размер частиц) влияет на все его свойства: укрывистость, красящую способность, а также количество связующего вещества, необходимого для перевода пигмента в пастообразное состояние (маслоемкость пигмента, %) и рабочее состояние (малярная консистенция, %).

Помимо традиционных порошковых пигментов, в настоящее время используют новые пигменты в виде паст-концентратов, эмульсий и микрокапсул.

Пигментные пасты применяют для колеровки водных, алкидных и масляных лакокрасочных материалов, а также антисептиков.

Для получения различных оттенков краски в настоящее время используют несколько базисных красок и пигментных паст (колерирующих концентратов). При составлении рецептуры колеровки применяется спектрофотометрическое оборудование и компьютеры. Примером современной системы колеровки красок и пионером в технологии является фирма «Тиккурила» и ряд других предприятий, основное технологическое оборудование которых представляет последние достижения науки в изготовлении лакокрасочных материалов. Ассортимент базовых красок

разнообразен: водорастворимые на акрилатной основе, масляные, эмали алкидные, водоразбавляемые акрилатные лаки.

Наполнители вводятся в красочные составы для их уде- шевления, повышения декоративных и защитных свойств. В ка- честве наполнителей применяют тальк, диатомит, слюду, моло- тые мел, известняк, кварцевый песок и др. Известно использо- вание полимерных порошков, таких как полиэтилен, полипро- пилен, поливинилхлорид и др.

12.4. Общие технические свойства

Лакокрасочные материалы должны обладать определенны- ми свойствами, характеризующими их как отделочные, защит- ные и декоративные покрытия строительных конструкций. К та- ким свойствам относятся: стойкость в атмосферных условиях; свето-, щелоче-, кислотостойкость; стойкость к действию серо- водорода; красящая способность; укрывистость; дисперсность; устойчивость к воде и маслу; время и степень высыхания; ус- ловная вязкость; прочность покрытия на изгиб; степень перети- ра красочного состава; цвет; розлив и др.

Для красочных составов большое значение имеет вязкость, прочность сцепления всех частиц между собой (когезия) и прочность сцепления с поверхностью (адгезия).

Вязкость – относится к реологическим свойствам и связана со структурой материала. Этот показатель определяет выбор способа нанесения красочных составов. В соответствии со стан- дартами определяют условную вязкость по скорости истечения заданного объема из емкости с определенным диаметром отвер- стия.

Твердость покрытия – характеризует его когезионную прочность и степень высыхания. Определение делают при по- мощи маятниковых приборов.

Красящая способность – свойство пигмента окрашивать другой материал. Красящая способность выражается в процен- тах и устанавливается сравнением с красящей способностью ут- вержденного образца.

Укрывистость (кроющая способность) – способность краски при равномерном нанесении ее на одноцветную поверхность делать невидимым цвет последней или при нанесении на черно-белую поверхность уменьшать контрастность между черной и белой поверхностями до исчезновения разницы между ними, выражается в г/м².

Прочность покрытия на изгиб устанавливают путем определения минимального диаметра стержня, изгибание на котором окрашенной металлической пластинки толщиной 0,25–0,3 мм не вызывает разрушения и отслаивания лакокрасочной пленки.

Степень высыхания – состояние поверхности нанесенного лакокрасочного материала при определенной продолжительности и температуре сушки.

Различают 5 степеней высыхания. В строительстве в основном приводится время высыхания до степени 1 («от пыли») и до степени 3, которое условно называют «полным».

Степень отверждения покрытия характеризуется твердостью.

Адгезия лакокрасочных материалов – способность сцепления с металлическими поверхностями. Для определения используется метод решетчатых надрезов, которые делаются бритвой или скальпелем. Далее делается оценка состояния покрытия. Количественный метод основан на измерении усилия, необходимого для отслаивания гибкой подложки от лакокрасочной пленки.

Степень перетира заключается в установлении наименьшей толщины компонентов в испытуемом материале.

Розлив – свойство материала через некоторое время после нанесения его на поверхность делать незаметными следы кисти, создавать совершенно гладкое покрытие.

Кроме указанных свойств, могут быть и дополнительные – специфические, например, огнестойкость и т. д.

Современные лакокрасочные материалы

Задача промышленности – ограничить содержание летучих растворителей в лакокрасочных материалах и использовать в большей степени вододисперсионные и порошковые краски.

Лидирующее место в настоящее время заняли *акриловые краски*, которые могут быть двух видов: водоразбавляемые (ВД) и органически разбавляемые (ОД). В первом случае они изготавливаются из водных дисперсий (латексов), во втором – из акриловых смол. В качестве связующих в *водоразбавляемых* красках применяются акриловые сополимеры (акрилат), поливинилацетатная дисперсия. Водоразбавляемые краски и лаки обладают хорошей технологичностью (легко наносятся кистью, валиком или распылителем), имеют хорошую адгезию практически ко всем строительным материалам, образуют паропроницаемое покрытие (стены «дышат»). В большей степени ВД краски используют для сухих помещений. Но известны и материалы, предназначенные для окрашивания ванных комнат, стен в бассейнах («Tikkurila»).

К ВД предъявляют дополнительные требования по стойкости к мытью (испытание 0,5%-ным раствором соды с применением щетки), водостойкости и т.д. Кроме того, водоразбавляемые краски должны обладать стойкостью к воздействию плесени, что обеспечивается введением в их состав фунгицидных добавок. Вододисперсионные краски теряют свои свойства при замерзании, хотя известны краски «зимней формулы», способные выдерживать ограниченное количество циклов замораживания и размораживания без ухудшения свойств (обычно до 5).

В условиях отрицательных температур использовать необходимо краски на летучих *органических* растворителях. К группе «зимних» фасадных красок относятся (ОС), винилхлоридные (ХВ) и кремнийорганические (КО). Все они имеют много недостатков: нетехнологичность, взаимная несовместимость, сильнопахнущие растворители. Акриловые краски на разбавителе – уайт-спирите (очищенном керосине) выгодно отличаются невысокой ценой, долговечностью, большей декоративностью.

Декоративный эффект покрытия может быть достигнутым с помощью специальных декоративных красок, образующих тонкие полупрозрачные покрытия.

Фактурная краска – это ВД краска, загущенная наполнителем, ее применение обеспечивает получение поверхностей различных фактур – как за счет наполнителя, так и за счет инструментов нанесения (губки, валика, шпателя и т.д.).

Мозаичные краски представляют собой взвесь (эмульсию) мелких нерастворимых желеобразных капелек в базовом составе. Капельки окрашены в различные цвета, отличные от цвета базиса. В процессе нанесения распылителем образуется покрытие с однотонным фоном (цвета базиса) и вкраплениями разноцветных капелек, более или менее равномерно распределенных.

Флоковые покрытия чаще всего имеют трехкомпонентный состав, включающий базу (акриловая краска), флоки (тонкие чешуйки сухой краски различных цветов, размеров и конфигурации) и бесцветный финишный акриловый лак. Способ нанесения на поверхность – последовательно, слой за слоем. Декоративный эффект может быть достигнут применением специальных пневматических распылителей, отличных от краскопультов, используемых при проведении обычных малярных работ.

12.5. Технология лакокрасочных материалов

Получают краски смешиванием пигментов и наполнителей с пленкообразователем, после чего полученную суспензию подвергают диспергированию («перетиру») для разрушения агрегатов пигментов до частиц требуемых размеров и равномерного распределения их в пленкообразователе.

Диспергирование твердых, абразивных и плохо смачивающихся пигментов производят в стальных шаровых мельницах с металлическими шарами или футерованных мельницах с керамическими шарами; низковязких суспензий – в шаровых мельницах с мешалкой (аттриторах) и бисерных мельницах непрерывного действия (мельющее тело – стеклянный бисер диаметром 1–2 мм или кварцевый песок).

Для диспергирования вязких суспензий применяют валковые краскотерочные машины, имеющие гранитные или стальные валки с полированной поверхностью.

Полученную после диспергирования пигментную пасту смешивают с оставшимся количеством пленкообразователя и другими компонентами и фильтруют.

Лаки получают растворением пленкообразователей в растворителях или синтезом из мономеров в среде растворителя, затем вводят добавки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Знание структуры и свойств, областей применения, методов испытаний и основы производства строительных материалов является важной частью подготовки инженеров по направлению «Строительство».

Свойства материалов неразрывно связаны с особенностями их структуры, а с помощью технологических приемов удастся получать материалы с заранее заданным набором эксплуатационных характеристик, т.е. управлять свойствами и структурой материалов, что и показано в данном пособии.

В объеме краткого курса невозможно рассмотреть все свойства современных строительных материалов, поэтому при подготовке инженеров-строителей необходимо рекомендовать изучение и другой учебной и справочной литературы по строительному материаловедению и строительным материалам.

Учебное пособие, подготовленное на основе многолетнего их изучения, поможет будущим строителям сделать правильный выбор строительных материалов и оценить технологические решения при строительстве зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современные строительные материалы и технологии: учеб. пособие / Н. А. Машкин [и др.] ; под ред. Н. А. Машкина ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 236 с.
2. Материаловедение : учеб. пособие / Н. А. Машкин [и др.] ; под ред. Н. А. Машкина ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 104 с.
3. Барабанщиков Ю. Г. Строительные материалы и изделия: учебник / Ю. Г. Барабанщиков. – 3-е изд., переработ. – М. : Академия, 2012. – 416 с.
4. Строительные материалы / В. Г. Микульский [и др.]. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2007. – 519 с.
5. Мартынов К. Я. Материаловедение : учеб. пособие / К. Я. Мартынов, Н. А. Машкин, Г. С. Юрьев. – Новосибирск : НГАСУ, 2001. – 180 с.
6. Ржевская С. В. Материаловедение : учебник / С. В. Ржевская. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Логос, 2004. – 422 с.
7. Попов К. Н. Строительные материалы и изделия : учебник / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М. : Высшая школа, 2002. – 368 с.
8. Попов Л. Н. Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия» : учеб. пособие / Л. Н. Попов, Н. Л. Попов. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 224 с.
9. Горбунов Г. И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов) : учеб. пособие / Г. И. Горбунов. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2002. – 168 с.
10. Завадский В. Ф. Строительные материалы и изделия для ремонта зданий и сооружений : учеб. пособие / В. Ф. Завадский, А. С. Денисов. – Новосибирск : НГАСУ, 2000. – 70 с.
11. Балахнин М. В. Материаловедение : метод. указания / М. В. Балахнин, О. А. Игнатова, С. А. Иноземцева. – Новосибирск, 1996. – 33 с.

12. Материаловедение: природные и обжиговые строительные материалы : учеб. пособие / В. Ф. Завадский [и др.]. – Новосибирск : НГАСУ, 2000. – 88 с.
13. Наназашвили И. Х. Строительные материалы и изделия : справ. пособие / И. Х. Наназашвили, И. Ф. Бунькин, В. И. Наназашвили. – М. : Аделант, 2005. – 479 с.
14. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение : учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – М. : Высшая школа, 2002. – 702 с.
15. Физико-химические основы строительного материаловедения : учеб. пособие / Г. Г. Волокитин [и др.] ; под общ. ред. Г. Г. Волокитина, Э. В. Козлова. – М. : Ассоц. строит. вузов, 2004. – 192 с.
16. Химия : учеб. пособие / Г. И. Бердов [и др.] ; под ред. Г. И. Бердова ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 184 с.