Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

АРХИТЕКТУРНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура»

Составление
А.А. Бакатовича, Л.М. Парфеновой, А.М. Иваненко

Под общей редакцией
А.А. Бакатовича

Новополоцк 2005

УДК 72:620.22 (075.8)
ББК 38.3 я 73
А 87

Рецензенты:

Г.И. ЗАХАРКИНА, канд. архитектуры, доцент, зав. кафедрой «Архитектура»;
А.П. ЖУКЬЯН, канд. техн. наук, директор Проектного института реконструкции и строительства УО «ПГУ»;
И.В. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, зав. лабораторией монолитного бетона и растворов «Институт БелНИИС»

Рекомендован к изданию методической комиссией инженерно-строительного факультета

А 87 **Архитектурное материаловедение:** Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-69 01 01 «Архитектура» / Сост. А.А. Бакатовича, Л.М. Парфеновой, А.М. Иваненко; под общ. ред. А.А. Бакатовича – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 328 с.
ISBN 985-418-354-8

Содержит рекомендации к обучению, курс лекций, указания к выполнению лабораторных работ, материалы, обеспечивающие проведение текущего контроля качества усвоения знаний и умений студентов.

Предназначен для студентов высших и средних учебных заведений архитектурных специальностей. Может быть полезен архитекторам, дизайнерам, реставраторам и другим специалистам в области архитектуры и строительства.

УДК 72:620.22 (075.8)
ББК 38.3 я73

ISBN 985-418-354-8

© УО «ПГУ», 2005
© Бакатович А.А., Парфенова Л.М., Иваненко А.М., составление, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА 7
РЕКОМЕНДАЦИИ К ОБУЧЕНИЮ 11
РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ 11
КУРС ЛЕКЦИЙ 13
РАЗДЕЛ 1. Основы материаловедения 14
ГЛАВА 1. Общие сведения о материалах и изделиях 14
1.1. Основные понятия и определения материаловедения 14
1.2. Сведения о структурных частях зданий 14
1.3. Стандартизация и контроль качества строительных материалов 17
1.4. Классификация строительных материалов 20
1.5. Состав и структура материалов 21
Вопросы для самопроверки 22
ГЛАВА 2. Основные свойства строительных материалов и изделий 23
2.1. Эксплуатационно-технические свойства строительных материалов и изделий 23
2.2. Эстетические (архитектурно-художественные) свойства строительных материалов и изделий 37
Вопросы для самопроверки 40
РАЗДЕЛ 2. Органические строительные материалы 41
ГЛАВА 3. Древесные материалы 41
3.1. Общие сведения о древесных материалах 41
3.2. Сырье для производства древесных материалов 44
3.3. Общие свойства древесины 47
3.4. Материалы и изделия из древесины 52
3.5.Эстетические характеристики материалов из древесины 59
Вопросы для самопроверки 61
ГЛАВА 4. Материалы на основе полимеров 62
4.1. Общие сведения о полимерных материалах 62
4.2. Сырье для получения полимерных материалов 63
4.3. Способы изготовления полимерных материалов 65
4.4. Основные свойства полимеров 66
4.5. Область применения полимерных материалов 69
4.6. Эстетические характеристики полимеров 83
Вопросы для самопроверки 85
ГЛАВА 5. Битумные и дегтевые вяжущие, материалы на их основе 86
5.1. Общие сведения о битумах и дегтях 86
5.2. Свойства органических вяжущих 86
5.3. Материалы на основе органических вяжущих 88
Вопросы для самопроверки 93

ГЛАВА 6. Лакокрасочные материалы 94
6.1. Общие сведения о лакокрасочных материалах 94
6.2. Основные компоненты красочного состава 94
6.3. Полимерные красочные составы 96
6.4. Лаки и эмалевые краски 97
6.5. Олифы и масляные краски 98
Вопросы для самопроверки 99
РАЗДЕЛ 3. Неорганические строительные материалы 100
ГЛАВА 7. Материалы из природного камня 100
7.1. Общие сведения о материалах из природного камня 100
7.2. Классификация горных пород 102
7.3. Основные свойства горных пород 108
7.4. Область применения природных каменных материалов 110
7.5. Эстетические характеристики материалов из природного камня 114
Вопросы для самопроверки 117
ГЛАВА 8. Керамические материалы 118
8.1. Общие сведения о керамических материалах 118
8.2. Сырье и технология получения керамики 122
8.3. Область применения керамических материалов 125
8.4.Эстетические характеристики керамики 132
Вопросы для самопроверки 134
ГЛАВА 9. Материалы из минеральных расплавов 135
9.1. Общие сведения о стекле 135
9.2. Основы производства и свойства материалов из минеральных расплавов 136
9.3. Область применения материалов из стекла и других минеральных расплавов 140
9.4. Эстетические характеристики материалов из стекла 147
Вопросы для самопроверки 150
ГЛАВА 10. Металлические материалы 151
10.1. Общие сведения о металлах 151
10.2. Основы технологии черных металлов 153
10.3. Цветные металлы и их сплавы 155
10.4. Способы получения металлических материалов 158
10.5. Область применения металлических материалов и изделий 159
10.6. Защита металлических материалов и изделий от коррозии и огня 165
10.7. Эстетические характеристики металлических материалов 166
Вопросы для самопроверки 167
ГЛАВА 11. Минеральные вяжущие вещества 168
11.1. Общие сведения о минеральных вяжущих 168
11.2. Воздушная известь 170
11.3. Гипсовые вяжущие вещества 173
11.4. Магнезиальные вяжущие 176
11.5. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент 177

11.6. Гидравлическая известь ... 179
11.7. Портландцемент ... 179
11.8. Глиноземистый цемент ... 191
Вопросы для самопроверки ... 192
ГЛАВА 12. Материалы и изделия на основе минеральных вяжущих веществ ... 193
12.1. Вода, добавки, заполнители ... 193
12.2. Строительные смеси и растворы ... 202
12.3. Бетонные смеси и бетоны ... 207
12.4. Железобетонные изделия ... 223
12.5. Асбестоцементные и другие материалы и изделия ... 229
12.6. Эстетические характеристики материалов на основе минеральных вяжущих ... 235
Вопросы для самопроверки ... 241
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ... 243
Лабораторная работа № 1 «Исследование влияния макроструктуры на физические свойства материалов» ... 244
Лабораторная работа № 2 «Влияние строения и влажности древесины на ее физико-механические свойства» ... 253
Лабораторная работа № 3 «Определение физико-механических свойств нефтяных битумов» ... 263
Лабораторная работа № 4 «Исследование влияния качества пигментов на прочность и пластичность лакокрасочного покрытия» ... 268
Лабораторная работа № 5 «Определение физических и механических свойств керамических материалов различного назначения» ... 273
Лабораторная работа № 6 «Определение вида и качества минеральных вяжущих» ... 286
Лабораторная работа № 7 «Исследование свойств заполнителей» ... 298
Лабораторная работа № 8 «Влияние пластифицирующей добавки на свойства бетонной смеси и бетона» ... 310
Лабораторная работа № 9 «Влияние вида заполнителя на свойства легкого бетона» ... 318
ВОПРОСЫ КОЛЛОКВИУМОВ ... 323
ЛИТЕРАТУРА ... 327

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Архитектурное материаловедение» разработан для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура».

Курс «Архитектурное материаловедение» предназначен для подготовки архитекторов, хорошо знающих материальную основу современной архитектурно-строительной практики и умеющих технически грамотно и экономически целесообразно применять широкую гамму современных строительных материалов и изделий при проектировании жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, а также при реставрации памятников архитектуры.

Место учебной дисциплины в профессиональной подготовке дипломированного специалиста связано с созданием теоретической и практической базы для понимания физической сущности архитектурного, дизайнерского, реставрационного проектов, изучения конструкций зданий и сооружений.

Требования к уровню освоения содержания материаловедения включают представления о роли материалов на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и реставрации зданий и сооружений, умение оценить возможность применения определенных материалов для конкретных условий с учетом эксплуатационно-технических, эстетических и экологических требований.

Для успешной реализации поставленных задач комплекс содержит курс лекций, методические указания к выполнению лабораторных работ, вопросы коллоквиумов.

Теоретический курс состоит из двух разделов. В первом изложены основы материаловедения: понятия о физической сущности свойств материалов, стандартизации и классификации. Во втором разделе приведены краткие сведения об истории применения материалов, характеристиках сырья и основах современного производства, номенклатуре, свойствах, областях применения, а также основных критериях их современного выбора. Многочисленные рисунки представляют примеры применения строительных материалов в архитектуре.

Методические указания к выполнению лабораторных работ содержат задания, цель которых – углубление, закрепление, систематизация знаний, полученных при изучении теоретического материала.

Разработанные комплексные вопросы коллоквиумов позволяют усовершенствовать систему текущего, промежуточного межсессионного контроля работы студентов, осуществлять итоговую аттестацию по предмету независимо от экзаменационной сессии. Контроль приобретенных студентами знаний и умений проводится с использованием рейтинговой системы, которая позволяет проводить непрерывную текущую аттестацию, стимулирующую систематическую работу студента в семестре по предмету.

Изучение материаловедения предполагает использование коллекций образцов материалов и аудиовизуальных средств, а также комплекта приборов и оборудования для измерений эксплуатационно-технических и эстетических характеристик материалов.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Рабочая программа составлена на основании образовательного стандарта РД РБ 02100.5.033-98 по специальности 1-69 01 01 «Архитектура».

1. Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины состоит в том, чтобы квалифицированно подготовить будущих специалистов – архитекторов, которые должны в необходимом объеме знать основы производства конструкционных, отделочных и специальных строительных материалов, их структуру и свойства, уметь технически грамотно и экономически целесообразно применять гамму современных и традиционных материалов и изделий при проектировании жилых, общественных и промышленных зданий.

Существенная роль дисциплины «Архитектурное материаловедение» отводится и подготовке архитекторов, которые в последующем будут заниматься реставрацией памятников архитектуры. Знание этой дисциплины необходимо также для успешного изучения таких дисциплин, как «Архитектурные конструкции», «Инженерные конструкции», «Специальные конструкции», «Архитектурное проектирование», «Архитектурные и инженерные конструкции при реконструкции зданий», «Интерьер и оборудование зданий», «Интерьер жилых и общественных зданий».

Задачи дисциплины предполагают изучение теории (посещение лекций, работа с учебно-методической литературой) и применение ее на практике (выполнение лабораторных работ). При этом предусматривается

уделять особое внимание темам, связанным с номенклатурой, свойствами и примерами применения материалов. На лекциях и лабораторных занятиях студенты должны пользоваться представительными коллекциями образцов материалов различного функционального назначения, обширным иллюстративным фондом (фототека, учебные кинофильмы, плакаты, проспекты). Методика лабораторных работ основывается на их показательном характере с акцентом не на процессе испытания, а на количественной и качественной оценке студентами готового результата.

2. Виды занятий и формы контроля знаний

Виды занятий, формы контроля знаний	Количество часов
Курс	1
Семестр	1
Лекции, ч	36
Экзамен (семестр)	1
Зачет (семестр)	-
Практические (семинарские), ч	-
Лабораторные занятия, ч	36
Контрольные работы (семестр)	-
Курсовая работа (семестр /часы)	-
Курсовой проект (семестр /часы)	-
Управляемая самостоятельная работа	-

3. Содержание дисциплины для специальности 1-69 01 01 «Архитектура»
Лекционный курс

Наименование разделов и тем лекций и их содержание	Кол-во часов
1	2
1 семестр	
РАЗДЕЛ 1. Основы материаловедения. ТЕМА 1. Общие сведения о материалах и изделиях. 1.1. Основные понятия и определения. 1.2. Сведения о структурных частях зданий. 1.3. Стандартизация и контроль качества строительных материалов. 1.4. Классификация строительных материалов. 1.5. Состав и структура материалов.	2
ТЕМА 2. Основные свойства строительных материалов и изделий. 2.1. Эксплуатационно-технические свойства (физические, химические, механические, технологические). 2.2. Эстетические (архитектурно-художественные) свойства.	4

1	2
РАЗДЕЛ 2. Органические строительные материалы. ТЕМА 3. Древесные материалы. 3.1. Общие сведения о древесных материалах. 3.2. Сырье для производства древесных материалов. 3.3. Общие свойства древесины. 3.4. Материалы и изделия из древесины. 3.5. Эстетические характеристики древесины.	2
ТЕМА 4. Материалы на основе полимеров. 4.1. Общие сведения. 4.2. Сырье для получения полимерных материалов. 4.3. Основы производства. 4.4. Основные свойства полимерных материалов. 4.5. Область применения. 4.6. Эстетические характеристики полимерных материалов.	2
ТЕМА 5. Битумные и дегтевые вяжущие, материалы на их основе. 5.1. Общие сведения. 5.2. Свойства органических вяжущих. 5.3. Материалы и изделия на основе органических вяжущих.	2
ТЕМА 6. Лакокрасочные материалы. 6.1. Общие сведения 6.2. Основные компоненты красочного состава 6.3. Полимерные красочные составы 6.4. Лаки и эмалевые краски 6.5. Олифы и масляные краски.	2
РАЗДЕЛ 3. Неорганические строительные материалы. ТЕМА 7. Материалы из природного камня. 7.1. Общие сведения. 7.2. Классификация горных пород. 7.3. Основные свойства. 7.4. Область применения. 7.5. Эстетические характеристики каменных материалов.	2
ТЕМА 8. Керамические материалы. 8.1. Общие сведения. 8.2. Сырье и технология получения. 8.3. Область применения. 8.4. Эстетические характеристики керамики.	2
ТЕМА 9. Материалы из минеральных расплавов. 9.1. Общие сведения. 9.2. Основы производства и свойства. 9.3. Область применения. 9.4. Эстетические характеристики.	2
ТЕМА 10. Металлические материалы. 10.1. Общие сведения. 10.2. Основы технологии черных металлов. 10.3. Цветные металлы и их сплавы. 10.4. Получение изделий и конструкций из металлов. 10.5. Область применения. 10.6. Защита от коррозии и огня. 10.7. Эстетические характеристики металлических материалов.	2

1	2
ТЕМА 11. Минеральные вяжущие вещества. 11.1.Общие сведения. 11.2. Воздушная известь. 11.3. Гипсовые вяжущие вещества. 11.4. Магнезиальные вяжущие. 11.5. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент. 11.6. Гидравлическая известь. 11.7. Портландцемент (сырье, технология получения, твердение, разновидности). 11.8. Глиноземистый цемент.	4
ТЕМА 12. Материалы и изделия на основе минеральных вяжущих веществ. 12.1. Вода, добавки, заполнители. 12.2. Строительные смеси и растворы. 12.3. Бетонные смеси и бетоны. 12.4. Железобетонные изделия. 12.5. Асбестоцементные и другие материалы и изделия. 12.6. Эстетические характеристики материалов на основе минеральных вяжущих.	10
Итого:	36

Лабораторные занятия

Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
1. Введение, охрана труда.	2
2. Исследование влияния макроструктуры на физические свойства материалов.	4
3. Влияние строения и влажности древесины на ее физико-механические свойства.	4
4. Определение физико-механических свойств нефтяных битумов.	2
5. Исследование влияния качества пигментов на прочность и пластичность лакокрасочного покрытия.	4
6. Определение физических и механических свойств керамических материалов различного назначения.	4
7. Определение вида и качества минеральных вяжущих.	4
8. Исследование свойств заполнителей.	4
9. Влияние пластифицирующей добавки на свойства бетонной смеси и бетона.	4
10. Влияние вида заполнителя на свойства легкого бетона.	4
Итого:	36

РЕКОМЕНДАЦИИ К ОБУЧЕНИЮ

В соответствии с программой курса «Архитектурное материаловедение» для студентов специальности «Архитектура» дневной формы обучения, изучение дисциплины основывается на усвоении теоретического курса, выполнении лабораторных работ и сдачи коллоквиумов.

Самостоятельная работа студента по изучению курса «Архитектурное материаловедение» включает ознакомление с теоретическим материалом, позволяющим повторить и закрепить материал, прослушанный на лекции. После проработки текста учебно-методического комплекса студент осуществляет самостоятельную подготовку к лабораторным занятиям и текущему контролю знаний в виде сдачи коллоквиумов.

Методические указания к выполнению лабораторных работ разработаны с целью практического закрепления студентами пройденного теоретического курса, их ознакомлением со стандартными методами испытаний строительных материалов.

Вопросы защиты направлены на закрепление навыков и умений, приобретенных в процессе выполнения работы. Часть вопросов направлена на развитие продуктивной (творческой) деятельности студентов: умение анализировать полученные данные, устанавливать зависимости свойств материалов от различных факторов, самостоятельно делать выводы по работе.

Методика проведения лабораторных занятий предполагает решение студентами вопросов практического значения важных для будущих «главных строителей».

При работе над решением поставленной задачи студент анализирует технологию получения, структуру и свойства материалов, особенности эксплуатации, подтверждает ответ конкретными примерами, демонстрирует образцы соответствующих материалов.

Для успешной сдачи коллоквиума необходимо изучить теоретический материал по соответствующим темам, ознакомиться с вопросами и подготовить ответ.

Систематический контроль знаний и умений проводится по рейтинговой системе.

РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Рейтинговая система предусматривает оценку учебной деятельности студентов по всем ее видам и на всех этапах в баллах.

Эта система позволяет:

– проводить непрерывный сопоставимый дифференцированный контроль знаний, умений и навыков студентов по всем видам и формам учебного процесса на каждом этапе обучения;

– интегрировать результаты контроля учебного процесса на отдельных этапах в суммарные показатели успешности обучения по дисциплине;

– ранжировать студентов в группе по их суммарным показателям успешности обучения;

– пересчитывать суммарные показатели успешности обучения по отдельной дисциплине в обычную систему оценок.

Рейтинг по дисциплине ($R_{дис.}$) складывается из рейтинга по теоретическому курсу ($R_{т.}$), лабораторным работам ($R_{л.р.}$) и рейтинга активного отношения студента к выполнению своих обязанностей по изучаемой дисциплине ($R_{акт.}$).

$$R_{дис.} = R_{т.} + R_{л.р.} + R_{акт.}$$

Максимальная семестровая сумма баллов составляет ориентировочно – 1000. Рейтинг по теоретическому курсу включает сумму набранных баллов по проводимым письменным контрольным работам – коллоквиумам. Для придания весомости знаний теоретически-прикладного характера максимальная оценка коллоквиума составляет 200 баллов. Коллоквиум проводится по билетам, которые содержат два вопроса. Оценка одного вопроса составляет 100 баллов.

При защите лабораторной работы особое внимание уделяется теоретическому обоснованию и технике выполнения проводимых экспериментов, значимости определяемых показателей, факторам, влияющим на их величину, обработке результатов. Максимальная оценка ответа составляет 20 баллов. Минимальный балл оценки ответа на вопросы защиты составляет 5 баллов.

Рейтинг активности студента включает баллы, характеризующие его своевременный приход на лекционные и лабораторные занятия, а также активное участие в выполнении лабораторной работы. Максимальная оценка составляет 5 баллов за лекционные и 10 баллов за лабораторные занятия.

Изучение курса считается успешным, если рейтинг студента по дисциплине удовлетворяет условию $R \geq 650$.

При условии набора за курс обучения студентом суммы баллов 650 и более, он оценивается положительно в соответствии с таблицей.

Набранные баллы	650 – 699	700 – 749	750 – 799	800 – 849	850– 899	900 – 949	950 и более
Оценка по 10-ти бальной системе	4	5	6	7	8	9	10

Обучение дисциплины проводится в соответствии с учебно-технологической картой.

КУРС ЛЕКЦИЙ

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

1.1. Основные понятия и определения материаловедения

Термины «строительные материалы», «изделия» в научно-технической и учебной литературе обычно употребляются без различия вида той продукции стройиндустрии, которую они обозначают.

Попытки дать определение понятиям «строительный материал» и «изделие» до недавнего времени сводились, в основном, к тому, что продукция, имеющая законченную геометрическую форму, относилась к группе «изделий», а все то, что в процессе применения или перед ним дозируется, перемешивается или подвергается иной обработке, к материалам. Однако такая классификация противоречит общепринятому делению строительных материалов на сырьевые материалы (известь, цемент, гипс, необработанная древесина и т.д.), материалы-полуфабрикаты (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, фанера, брусья, металлические профили, двухкомпонентные мастики и т.д.) и материалы, готовые к применению (стеклоблоки, кирпичи, керамические облицовочные плитки, плитки для полов и подвесных акустических потолков и т.д.). Вместе с тем готовые к применению краски приобретают окончательный вид защитно-декоративного пленочного покрытия лишь после высыхания. То же относится к твердеющим растворным и бетонным смесям.

К группе «изделия» относятся столярные (оконные и дверные блоки, щитовой паркет и т.д.), скобяные (замки, ручки, другая столярная фурнитура и т.д.), электротехнические (осветительная арматура, розетки, выключатели и т.д.), санитарно-технические изделия (ванны, раковины, мойки и арматура к ним и т.д.), трубы. К изделиям относятся также детали строительных конструкций (зданий и сооружений) – бетонные и железобетонные стеновые и фундаментные блоки, балки, колонны, плиты перекрытий и другая продукция комбинатов железобетонных изделий и предприятий стройиндустрии. Более сложные элементы строительных конструкций (фермы, рамы, арки, оболочки, лестничные марши) также относятся к изделиям.

1.2. Сведения о структурных частях зданий

При всем разнообразии зданий все они состоят из ограниченного числа взаимосвязанных архитектурно-конструкционных элементов (частей). К основным конструктивным элементам зданий (рис. 1.1) относятся: фундаменты, стены, перекрытия, перегородки, крыша, лестница, окна, двери.

Фундамент 1 представляет собой опорную часть, через которую передается нагрузка от здания на грунт – основание. В массовом строительстве фундаменты под стены выполняют монолитными из железобетона или сборными из железобетонных плит и блоков. Фундаменты, имеющие плоскую подошву, подразделяют на ленточные, которые закладывают под стены, или столбчатые – в виде прямоугольных, трапециевидных отдельных опор под отдельно стоящие колонны или столбы. Фундаменты бывают и свайные, когда здание опирается на погруженные в грунт деревянные, бетонные или железобетонные сваи.

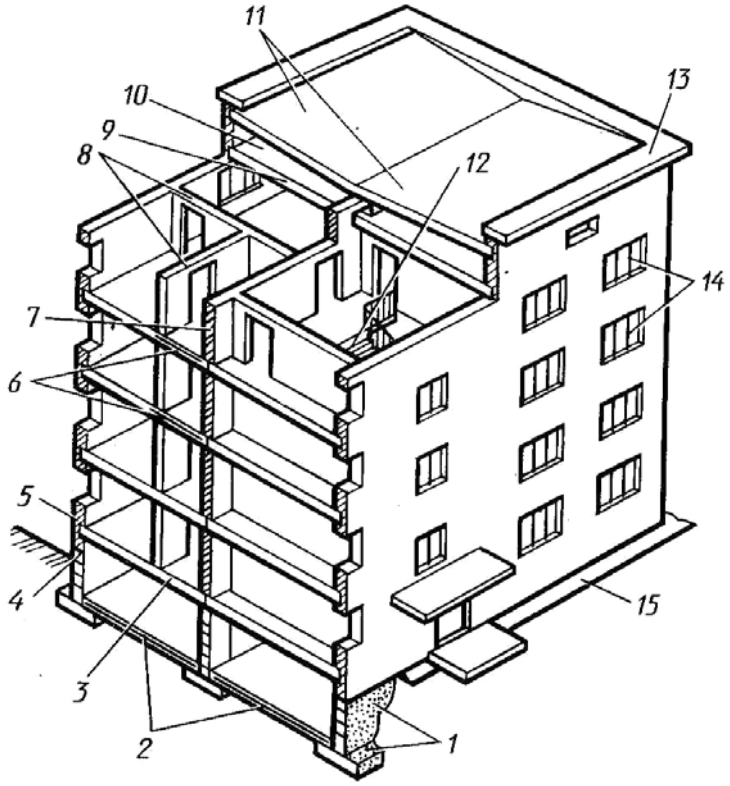


Рис. 1.1. Конструкционная схема многоэтажного здания:
1 – фундамент, 2 – пол подвала, 3 – перекрытие над подвалом, 4 – гидроизоляция,
5 – наружные стены, 6 – междуэтажные перекрытия, 7 – внутренние стены,
8 – перегородки, 9 – чердачное перекрытие, 10 – чердак, 11 – крыша,
12 – лестница, 13 – парапет, 14 – окна, 15 – отмостка

Стены по назначению и расположению в здании подразделяют на наружные и внутренние. Наружные стены *5* ограждают помещения от внешней среды и защищают их от атмосферных воздействий, внутренние *7* – отделяют одни помещения от других. Как наружные, так и внутренние стены

воспринимают ветровые нагрузки на здание, обеспечивают звуко- и теплоизоляцию помещений, защиту их от внешних климатических воздействий.

Стены бывают несущими, самонесущими и ненесущими. Несущие стены и воспринимают, и передают на фундаменты нагрузки не только от собственного веса, но и от других конструкций (перекрытия, крыши, лестницы), а также ветровые нагрузки.

Самонесущие стены передают на фундаменты нагрузки только от собственного веса. На такие стены не опираются перекрытия или другие конструкции здания.

Стены, которые только ограждают помещения зданий от внешнего пространства и передают собственный вес в пределах каждого этажа на другие несущие конструкции, называются ненесущими. Стены, навешиваемые на вертикальные конструкции каркаса здания, принято называть навесными.

Верхняя часть наружной стены, выступающая за плоскость стены, называется карнизом. Здания со стенами без карниза имеют парапет *13*, который является ограждающей частью крыши.

Междуэтажные перекрытия 6 совмещают ограждающие и несущие функции и разделяют здание по высоте на этажи. Перекрытия *9* над верхним этажом – чердачные. Перекрытия выполняют монолитными, из сборных железобетонных плит, из металлических балок, реже деревянных.

Перегородки 8 – ограждающие элементы, которыми разделяют внутреннее пространство здания в пределах одного этажа на отдельные помещения, возводят из гипсовых, фибролитовых плит, керамических камней, кирпича. Перегородки опираются на перекрытия и на них передают собственный вес.

Крыша 11 совмещает ограждающие и несущие функции и служит для защиты здания от атмосферных осадков и удаления их за его пределы; состоит из железобетонных панелей, опирающихся на наружные и внутренние стены и уложенных с уклоном для организации водоотвода. Между панелями крыши и чердачными перекрытиями образуется пространство, которое называют чердаком *10.* В малоэтажных зданиях крышу делают из деревянных стропил, по которым из досок устраивают обрешетку, к которым прикрепляют кровельное покрытие.

Лестницы 12 служат для сообщения между этажами; располагаются в помещениях с несущими стенами (лестничных клетках). Часть лестницы между площадками называется маршем.

1.3. Стандартизация и контроль качества строительных материалов

Стандартизацией называется процесс установления и применения *стандартов* – комплекса нормативно-технических требований, норм и правил на продукцию массового применения, утвержденных в качестве обязательных для предприятий, организаций-изготовителей и потребителей указанной продукции.

Качество материалов оценивают совокупностью показателей (как правило, числовых) технических свойств, которые были получены при испытаниях соответствующих образцов.

Основные требования к качеству материалов, изделий и готовых конструкций массового применения устанавливаются Государственными стандартами Республики Беларусь (СТБ), Государственными стандартами СССР и межгосударственными стандартами (ГОСТ) и техническими условиями (ТУ).

В ГОСТах, СТБ и ТУ содержатся краткое описание материала и способы его изготовления, указаны марки материалов и требования к их качеству, форма, размеры и допускаемые отклонения от них, а также правила транспортирования, приемки, упаковки и хранения, обеспечивающие сохранность материала, и методы испытаний. ГОСТы, СТБ и ТУ – это документы, устанавливающие, что данный материал или изделие одобрено для производства и применения при его определенном качестве.

Технические условия (ТУ) содержат комплекс требований к показателям качества, методам испытаний, правилам приемки к определенным видам материалов, которые не стандартизированы или ограниченно применяются. ТУ действуют в пределах ведомства, министерства.

Основные положения строительного проектирования и производства строительных работ регламентируются Строительными нормами Беларуси (СНБ) и Строительными нормами и правилами (СНиП) СССР обязательных для всех организаций и предприятий. Требования, нормы и правила, содержащиеся в СНиПах и СНБ, основаны на передовом опыте и соответствуют современному уровню архитектурно-строительной науки и техники.

В части II СНиП «Нормы проектирования» содержатся сведения, в каких конструкциях и как следует применять строительные материалы, с указанием необходимых требований к их свойствам. В стандартах, СНБ и СНиПах требования к свойствам материалов выражены в виде марок или классов на эти материалы. *Марка* строительных материалов – это условный показатель, устанавливаемый по главнейшим эксплуатационным характеристикам или комплексу главнейших свойств материала. Например, существуют марки материалов *по прочности, плотности, морозостойкости, огнеупорности* и др.

Один и тот же материал может иметь несколько марок по различным свойствам. Так, кирпич маркируют по прочности и морозостойкости, но основной считается марка по прочности – главнейшему эксплуатационному показателю. По прочности для всех природных и искусственных каменных материалов СНиП П-22-81 установлены следующие марки: 4; 7; 10; 15; 25; 35; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 800 и 1000. Цифра указывает минимально допустимый предел прочности материала, выраженный в кгс/см^2 (например, кирпич марки 100 должен иметь прочность 10 ... 12,5 МПа).

Теплоизоляционные материалы делят на марки по плотности. Это объясняется тем, что теплопроводность находится в прямой зависимости от плотности, но контролировать последнюю значительно проще. Например, минеральную вату выпускают марок 80, 90, 100 (в этом случае размерность марки в кг/м^3).

В СНБ 5.03.01 требования к бетону и арматуре выражены не только в виде марок, но и в виде классов. *Класс бетона по прочности* – это количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая ее гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой «*С*» и числами, выражающими значения нормативного сопротивления и гарантированной прочности в Н/мм^2 (МПа); например, $C^{12}/_{15}$ (в числителе – значение нормативного сопротивления $f_{ск}$, Н/мм^2, в знаменателе – гарантированная прочность бетона, $f^{G}_{C,\ ...\ cube}$, Н/мм^2).

Удовлетворение всех необходимых технических требований, указанных в стандарте, является обязательным условием выхода строительного материала хорошего качества. Однако этого условия недостаточно для выхода материала высшего качества. В последнем случае требуется, чтобы все числовые показатели свойств были равны их экстремальным значениям при оптимальных структурах. Высшее качество выпускаемой продукции служит основным критерием прогрессивности технологии в материаловедении.

Сопоставление строительных норм и системы стандартов показывает, что оба комплекса нормативных документов имеют ряд общих положений и различий. Например, ГОСТы и СТБ разрабатываются преимущественно на материалы и изделия массового изготовления, СНиПы и СНБ устанавливают требования ко всей строительной продукции. В СНиПах и СНБ отсутствуют методы определения показателей свойств материалов, для этого имеются соответствующие ссылки на действующие стандарты. В СНиПах и СНБ содержатся почти все нормы строительного проектирования, между тем как стандартов на такие нормы нет. В результате оба комплекса нормативных документов по строительству – строительные нормы и стандарты – взаимно дополняют друг друга.

К методам стандартизации относятся *унификация* и *типизация* материалов. Под *унификацией* следует понимать приведение различных видов материалов к технически и экономически рациональному минимуму типоразмеров, марок, форм, свойств и т.п. При этом, как правило, объединяются технические требования к нескольким материалам одинакового функционального назначения таким образом, чтобы была возможна замена одного материала другим без ухудшения качества строительного объекта. Например, в гражданском и промышленном строительстве республики большая часть сборного железобетона приходится на унифицированные изделия. При разработке учитывалось, что их выпуск должен осуществляться в заводских условиях по рациональной технологии и обеспечивать определенные массу изделий, их размеры, форму, сечение и т.д. Унификация типоразмеров ряда отделочных материалов для облицовки позволяет производить замену одного материала другим без изменения проектной документации.

Типизация предполагает разработку типовых материалов или конструкций на основе общих технических характеристик. С развитием индустриального строительства, когда основная часть материалов производится в заводских условиях, требования к их типизации весьма актуальны. Эти требования определяют выпуск материалов, размеры которых связываются с *модулем* – условной единицей измерения. Модуль применяется для координации размеров не только материалов, но и частей зданий, элементов оборудования. Единая модульная система в нашей стране была создана на базе основного модуля 100 мм (1 М). Установлен ряд произвольных укрупненных (3 М, 6 М, 12 М, 15 М, 30 М, 60 М) и дробных ($^1/_2$ М, $^1/_5$ М, $^1/_{10}$ М, $^1/_{20}$ М, $^1/_{50}$ М, $^1/_{100}$ М) модулей. Укрупненные и дробные ($^1/_2$ М и $^1/_5$ М) модули определяют в основном размеры элементов и материалов для несущих и ограждающих конструкций, а более мелкие дробные модули – толщину плитных и листовых материалов.

В процессе проектирования следует иметь в виду, что конструктивные размеры материалов должны приниматься с учетом величин швов и зазоров при их монтаже, а также различных видов примыкания и опирания, определяющих отклонения от осевых размеров в ту или другую сторону. Например, обычный керамический кирпич – один из основных стеновых материалов – имеет характерный размер 250×120×65 мм, но с учетом швов толщиной 10 мм получается номинальный размер 260×130×75 мм.

Важно понимать, что стандартизация непосредственно связана с процессом управления качеством материалов, а ее методы (унификация, типизация) не являются тормозом на творческом пути современного зодчего. Например, чем более жестки требования стандарта к количеству воз-

можных дефектов внешнего вида отделочного материала, тем выше его качество. Большое значение унификации и типизации придавали зодчие еще в глубокой древности, создавая теоретические принципы античной модульной системы для каменных стоечно-балочных конструкций. Бесконечное разнообразие древнегреческого орнамента основано на использовании ограниченного количества типовых стандартных элементов. Многообразные формы храма Василия Блаженного в Москве связаны с применением только восемнадцати типоразмеров керамического кирпича. И в современном строительстве на разнообразные решения архитектурной формы не должно влиять ограниченное число типоразмеров применяемых материалов. Их унификация и типизация позволяют архитектору создавать разнообразные и оригинальные проекты отдельных зданий и целых ансамблей в условиях массового индустриального строительства.

1.4. Классификация строительных материалов

Все строительные материалы и изделия классифицируют по назначению, виду материла, способу получения и происхождению.

По назначению: конструкционные (несущие и ограждающие конструкции), отделочные (внутренняя и наружная отделка), кровельные, специального назначения (гидроизоляционные, герметизирующие, теплоизоляционные, акустические, антикоррозионные, жаростойкие, дорожные, санитарно-технические).

По виду материала: природные каменные, древесные, полимерные, металлические, керамические, стеклянные, искусственные каменные и т.д.

По способу получения: природные и искусственные. *Природные* строительные материалы добывают в местах их естественного образования (горные породы), обычно в верхних слоях земной коры или роста (древесина). Их используют в строительстве, применяя преимущественно механическую переработку (глина, песок, облицовочные гранитные плитки, изделия из древесины). Состав и свойства этих материалов в основном зависят от происхождения исходных пород и способа их обработки и переработки. *Искусственные* строительные материалы разделяют по признаку их отвердевания:

– *безобжиговые*, затвердевание которых происходит при сравнительно невысоких температурах и в результате направленного структурообразования под влиянием химических и физико-химических превращений вяжущего вещества;

– *обжиговые*, затвердевание которых происходит при остывании жидких расплавов, выполняющих функцию вяжущего вещества.

Искусственные строительные материалы изготовляют из природного минерального и органического сырья (кирпич из глины, портландцемент из мергелей, полимеры из нефти и газа), промышленных отходов (шлаковый щебень, шлакоситаллы), а также из нескольких исходных материалов (бетон – щебень, песок, цемент, вода). Полученные искусственные материалы приобретают новые свойства, отличные от свойств исходного сырья.

По происхождению (химический состав): органические и неорганические. К органическим материалам относятся древесина, органические вяжущие, которые могут встречаться как в природе, так и быть полученными путем глубокого окисления нефти, а также синтезированные полимеры. К неорганическим строительным материалам относятся природные каменные, полученные в результате механической обработки горных пород, и искусственные материалы, такие как керамические, на основе минеральных расплавов, металлов, а также минеральных вяжущих веществ.

1.5. Состав и структура материалов

Свойства любого материала можно регулировать в широких пределах путем изменения его состава и структуры.

Состав материала: химический, минералогический, фазовый (твердый, жидкий, газообразный) зависит в большей степени от сырья, которое было использовано, и технологии изготовления изделий.

Различают три уровня структуры материала: *макроструктура* – строение, видимое невооруженным глазом, *микроструктура* – видимое в оптический микроскоп, и строение на *молекулярно-ионном* уровне – изучаемое с помощью электронного микроскопа.

К основным видам макроструктуры относят конгломератную, ячеистую, волокнистую, слоистую, рыхлозернистую (порошкообразную).

Конгломератная структура предполагает соединение разнородных веществ, обычно в виде зерен, кусков различных форм и размеров (бетон). *Ячеистая* структура характеризуется наличием макропор (пеносиликат), у мелкопористых большинство ячеек менее 1 мм (кирпич). *Волокнистая* структура присуща материалам с природными или искусственными волокнами, расположенными в одном определенном направлении (древесина). Показатели свойств таких материалов заметно отличаются при физическом воздействии вдоль или поперек волокон. *Слоистая* структура соответственно предполагает наличие нескольких, в том числе разнородных, слоев (пластики). *Рыхлозернистые* (порошкообразные) структуры состоят из большого количества не связанных зерен или мелких частиц (песок, цемент, гипс). Макроструктура зависит в основном от технологии получения материала и изделия.

В зависимости от состава микроструктура может быть аморфной, кристаллической и нестабильной коагуляционной (вязкой, пластичной – клей, лакокрасочные материалы, пластичное глиняное или цементное тесто), которая с течением времени и под действием атмосферных факторов переходит в устойчивую кристаллическую (большинство горных пород, металлы, цементный камень). Форма и размер кристаллов оказывают большое влияние на свойства материалов, в состав которых они входят. Мелкокристаллические материалы, по сравнению с крупнокристаллическими, обычно более однородны и стойки против внешних воздействий. Большое влияние на свойства и область применения материалов оказывает взаимное расположение кристаллов. Так, например, слоистое расположение (глинистые сланцы) обеспечивают легкое раскалывание по плоскостям и получение отделочных плит и плиток. Материалы с однородной структурой (гранит, известняк) целесообразно использовать в качестве заполнителя для бетонов.

Состав и структура определяют свойства материалов, которые не остаются постоянными, а изменяются во времени в результате механических, физико-химических, иногда и биохимических воздействий среды, в которой работает изделие или конструкция. Эти изменения состава и свойств материалов могут протекать медленно (разрушение каменных пород) или относительно быстро (вымывание из материала растворяемых веществ, колебание температуры, которое приводит к появлению внутренних разрушающих напряжений в бетоне, солнечный свет вызывает изменение цвета отделочных материалов). Следовательно, каждый материал должен обладать не только свойствами, позволяющими применять его по назначению, но и определенной стойкостью, обеспечивающей долговечность не только отдельной конструкции, но и всего сооружения в целом.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается различие между строительными материалами и изделиями?
2. Из каких структурных частей состоит здание?
3. Какими нормативными документами регламентируется качество строительных материалов и изделий, проектирование и производство строительных работ?
4. На какие группы делят строительные материалы и изделия по назначению, виду материала, способу получения, происхождению (химическому составу)?
5. Что понимают под макро- и микроструктурой материалов? В чем их различие?

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

2.1. Эксплуатационно-технические свойства строительных материалов и изделий

Свойства строительных материалов – это характеристики, проявляющиеся в процессе их применения и эксплуатации. Различают эксплуатационно-технические и эстетические (архитектурно-художественные) свойства строительных материалов.

Эксплуатационно-технические свойства обеспечивают необходимые защиту, прочность, долговечность здания, сооружения и их разделяют на четыре группы: физические, механические, химические и технологические.

Эстетические свойства материалов влияют на восприятие среды жизнедеятельности человека, в том числе внешнего вида зданий, сооружений и их интерьеров.

2.1.1. Физические свойства строительных материалов и изделий

Физические свойства подразделяют на общие физические (показатели структуры), гидрофизические, теплофизические и акустические.

Общие физические свойства характеризуют структуру материала и определяются по следующим показателям: средняя и насыпная плотность, пустотность, пористость материала.

Истинная плотность (ρ_u) – величина, определяемая отношением массы однородного материала m (кг) к занимаемому им объему в абсолютно плотном состоянии V_a (м^3), то есть без пор и пустот:

$$\rho_u = \frac{m}{V_a}. \qquad (1)$$

Размерность истинной плотности – кг/м^3 или г/см^3.

Истинная плотность каждого материала – постоянная физическая характеристика, которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры.

Средняя плотность ($\rho_{ср}$) – величина, определяемая отношением массы однородного материала m (кг) к занимаемому им объему в естественном состоянии V_e (м^3):

$$\rho_{ср} = \frac{m}{V_e}. \qquad (2)$$

Как правило, показатель истинной плотности материала больше значения средней плотности. Только для абсолютно плотных материалов (сталь, стекло, вода), истинная и средняя плотности численно равна.

Средняя плотность – важная физическая характеристика материала, изменяющаяся в зависимости от его структуры и влажности в широких пределах: от 5 (пористый полимерный материал) до 7850 кг/м^3 (сталь). Средняя плотность оказывает значительное влияние на показатели механической прочности, водопоглощения, теплопроводности.

Для сыпучих материалов (цемента, песка, щебня и др.) определяют насыпную плотность. **Насыпная плотность** ($\rho_н$) – величина, определяемая отношением массы однородного сыпучего материала m (кг) к занимаемому им объему в свободном (без уплотнения) насыпном состоянии $V_н$ (м^3):

$$\rho_н = \frac{m}{V_н}. \quad (3)$$

Величина $V_н$ включает в себя объем всех частиц сыпучего материала и объем пространств между частицами, называемых пустотами. Если для сыпучего материала известны насыпная плотность $p_н$ и средняя плотность зерен $p_{ср}$, то можно рассчитать его **пустотность** α – выраженную в процентах:

$$\alpha = (1 - \frac{\rho_н}{\rho_{ср}}) \times 100. \quad (4)$$

Пористость – степень заполнения объема материала порами, выражается в процентах. Если известны значения средней и истиной плотности, то пористость материала рассчитывается по формуле:

$$П = (1 - \frac{\rho_c}{\rho_и}) \times 100. \quad (5)$$

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 (сталь, стекло) до 90 … 98 % (пенопласт).

Значения средней и истинной плотности, а также пористости некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показатели средней, истинной плотности и пористости

Материал	Плотность, кг/м^3		Пористость, %
	средняя	истинная	
Гранит	2600 … 2700	2700 … 2800	0 … 2
Тяжелый бетон	2200 … 2500	2600 … 2700	2 … 25
Кирпич	1400 … 1800	2500 … 2600	25 … 35
Древесина	400 … 800	1500 … 1550	45 … 70
Пенопласт	15 … 100	950 … 1200	90 … 98

Поры в материале могут иметь различную форму и размеры. Они могут быть *открытыми*, сообщающимися с окружающей средой и *замкнутыми*, заполненными воздухом, *мелкими*, размером в сотые и тысячные доли миллиметра и *крупными* от десятых долей миллиметра до 2 … 5 мм.

Большое влияние на свойства материалов оказывает не только величина пористости, но и размер пор, их характер. При увеличении замкнутых пор повышается морозостойкость материала и снижается теплопроводность. Наличие открытых пор делает материал проницаемым для воды, неморозостойким, но в тоже время он приобретает акустические свойства.

Гидрофизические свойства проявляют материалы и изделия при контакте с водой. Наиболее важные из них, такие как влажность, гигроскопичность, водопоглощение, водостойкость, водонепроницаемость, морозостойкость, воздухостойкость.

Влажность (*W***) –** отношение массы воды, находящейся в данный момент в материале $m_в$ к массе материала в сухом состоянии $m_с$:

$$W = \frac{m_в}{m_с} \times 100. \qquad (6)$$

Увлажнение приводит к изменению многих свойств материала: повышается масса строительной конструкции, увеличивается теплопроводность, снижается прочность.

Гигроскопичность – свойство материала поглощать водяные пары из воздуха (при его повышенной влажности) и удерживать их на своей поверхности. Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры и капилляры, обладают, как правило, более высокой гигроскопичностью, чем крупнопористые. Процесс поглощения водяных паров является обратимым, то есть при снижении влажности воздуха, часть гигроскопичной влаги испаряется.

В зависимости от вещественной природы материала гигроскопичность различна. Одни материалы притягивают к своей поверхности молекулы воды и называются *гидрофильными* – бетон, древесина, стекло, кирпич; другие отталкивают воду – *гидрофобные*: битум, полимерные материалы. Характеристикой гигроскопичности служит отношение массы поглощенной влаги при относительной влажности воздуха 100 % и температуре + 20 ºС к массе сухого материала, измеряемое в процентах.

Водопоглощение – способность материала при непосредственном контакте с водой впитывать ее и удерживать. Характеризуется это свойство количеством воды, поглощенной высушенным до постоянной массы материалом, полностью погруженным в воду, выраженной в процентах от

массы (водопоглощение по массе W_M) или в процентах от объема – (водопоглощение по объему W_o). Вычисляют водопоглощение по массе и объему по следующим формулам:

$$W_M = \frac{m_в - m_c}{m_c} \times 100; \quad (7)$$

$$W_o = \frac{m_в - m_c}{V} \times 100, \quad (8)$$

где m_c – масса образца в сухом состоянии, г;

$m_в$ – масса образца в водонасыщенном состоянии, г;

V – объем образца, см^3.

Водопоглощение по объему можно вычислить при известных значениях водопоглощения по массе и средней плотности материала, используя формулу:

$$W_o = W_м \, p_{ср}. \quad (9)$$

Водопоглощение зависит от объема, природы пор (замкнутые, открытые) и степени гидрофильности материала. Примерное водопоглощение (по массе) древесины может достигать 150 % и более, кирпича керамического – 12 %, бетона тяжелого и линолеума – 3 %, гранита – 0,5 %.

В результате насыщения водой свойства материалов значительно изменяются: увеличиваются средняя плотность и теплопроводность, а для некоторых (древесина) и объем изделий – они разбухают. Кроме того, нарушения связей между частицами материала, вследствие проникновения молекул воды, ведет к снижению его прочности.

Водостойкость материала характеризуется коэффициентом размягчения $K_р$ – отношением предела прочности при сжатии материала, насыщенного водой, к пределу прочности при сжатии материала в сухом состоянии.

Материалы, у которых коэффициент размягчения больше 0,75 являются водостойкими. Металлы и стекло сохраняют свою прочность при действии воды и их $K_р = 1$.

Водонепроницаемость – свойство материала сопротивляться проникновению в него воды под давлением. Это свойство особенно важно для бетона, воспринимающего напор воды (трубы, резервуары, плотины). Водонепроницаемость бетона оценивают маркой *W*2 … *W*12, обозначающей максимальное одностороннее гидростатическое давление, при котором образец материала не пропускает воду. Для гидроизоляционных материалов водонепроницаемость характеризуется временем, по истечении которого появляется просачивание воды под давлением через образец материала (мастика, гидроизол).

Степень водонепроницаемости материала связана с характером его строения. Материалы особо плотные, то есть у которых средняя плотность равна истинной плотности (стекло или металлы), водонепроницаемы. Практически не пропускают воду под определенным давлением плотные материалы с замкнутыми мелкими порами.

В большинстве случаев используют материалы, которые обеспечивают элементам конструкции водонепроницаемость. Особо важна водонепроницаемость для гидроизоляционных и кровельных материалов.

Морозостойкость – способность насыщенного водой материала выдерживать попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и соответственно без значительных потерь массы и прочности.

При замерзании вода в порах увеличивается в объеме примерно на 9 %, в результате возникает давление на стенки пор, которое может привести к разрушению материала. Понижению прочности материала способствует также перемещение (миграция) влаги по порам и капиллярам. Ритмично чередующаяся кристаллизация льда в порах с последующим оттаиванием приводит к дополнительным внутренним напряжениям. Могут возникнуть микро- и макротрещины вызывающие разрушение структуры и снижение прочности.

Если предположить, что все поры в материале будут заполнены водой, то разрушение должно было бы произойти после первого цикла замораживания, но этого, как правило, не происходит. Способность материала противостоять морозному разрушению обусловлена в первую очередь присутствием в его структуре определенного объема замкнутых пор, в которые и отжимается часть воды под действием давления растущих кристаллов льда. Таким образом, главными факторами, определяющими морозостойкость материала являются показатели структуры его порового пространства, от которых зависят степень насыщения водой и интенсивность образования льда в порах.

Стандартный метод испытания материала на морозостойкость заключается в многократном замораживании образцов, насыщенных водой, и последующем их оттаивании. Замораживание образцов производят в лабораторных морозильных камерах при температуре – 15 ... – 20 °С в течение 4 … 8 ч, в зависимости от вида материала и условий его эксплуатации. Оттаивание происходит в ванне с водой при температуре + 15 ... + 20 °С в течение 4 ч и более. Такое замораживание и оттаивание составляет один цикл. Марка по морозостойкости *F* характеризуется числом циклов замораживания и оттаивания, которое выдержал материал, при допустимом

снижении прочности на 5 … 25 % и уменьшении массы образцов на 3 … 5 % в зависимости от назначения. Например, для тяжелых бетонов установлены марки по морозостойкости в пределах *F*50 … *F*500, для кирпича, керамических камней – *F*15 … *F*35.

Климатические условия на территории нашей республики таковы, что показатели морозостойкости в значительной мере определяют долговечность материала в ограждающих конструкциях. Например, в Минске температура воздуха периодически опускается ниже и поднимается выше 0 °С более 100 раз в год.

Воздухостойкость – способность материала длительно выдерживать многократное увлажнение и высушивание без деформаций и потери механической прочности. Природные и искусственные хрупкие каменные материалы (бетон, керамика), сжимающиеся при высыхании и расширяющиеся при увлажнении, разрушаются вследствие возникновения растягивающих напряжений. В подобных условиях работают дорожные покрытия, надводные части гидротехнических сооружений.

К основным *теплофизическим свойствам***,** оценивающим отношение материала к тепловым воздействиям, относятся теплопроводность, теплоемкость, термостойкость, огнеупорность и огнестойкость.

Теплопроводность – способность материала передавать через свою толщу тепловой поток, возникающий при разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Это свойство характеризуется коэффициентом теплопроводности, указывающим, какое количеством теплоты в Дж способен пропустить материал через 1 м^2 поверхности при его толщине 1 м и разности температур на его противоположных поверхностях в 1 °С в течение 1 ч. Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С), равен: для воздуха – 0,023; для воды – 0,59; для льда – 2,3; для керамического кирпича – 0,82; для тяжелого бетона – 1,4; для стали – 58.

Теплопроводность материала зависит от его строения, химического состава, пористости и характера пор, а также влажности и температуры. Так, например, увлажнение водой материала сильно повышает его теплопроводность, а при замерзании сырых материалов теплопроводность еще более увеличивается, что обусловлено высокими коэффициентами теплопроводности воды и льда по сравнению с воздухом. Мелкопористые материалы менее теплопроводны, чем крупнопористые; материалы с замкнутыми порами имеют меньшую теплопроводность, чем материалы с сообщающимися порами. Это объясняется тем, что в крупных и сообщающихся

порах возникает движение воздуха, сопровождающееся переносом тепла и повышением теплопроводности.

Теплоемкость – это свойство материала поглощать при нагревании и отдавать при охлаждении определенное количество тепла. При охлаждении материалы выделяют тепло, причем тем больше, чем выше их теплоемкость. Теплоемкость отнесенную к единице массы, называют *удельной теплоемкостью* и измеряют в Дж/(кг·°С). Удельная теплоемкость равна количеству тепла (Дж), необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 °С.

Удельная теплоемкость неорганических строительных материалов (бетон, кирпич, природные каменные материалы) изменяется в пределах 0,75 … 0,92 кДж/(кг·°С), древесины – 2,38 … 2,72 кДж/(кг·°С), вода имеет наибольшую теплоемкость – 4 кДж/(кг·°С). Поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает. Этот показатель имеет большое значение при проверке теплоотдачи стен и перекрытий, расчете подогрева материалов для зимних работ.

Термостойкость – способность материала сопротивляться, не разрушаясь, термическим напряжениям, возникающим при одно- и многократном воздействии высокой температуры, и характеризуется предельной температурой, при нагреве до которой и при последующем резком охлаждении существенно изменяются механические свойства (прочность). Эта температура составляет: для пенобетона 300 °С, для минераловатных материалов 550 °С, шамотного кирпича 1450 °С.

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное воздействие высоких температур без деформаций и разрушения. По степени огнеупорности материалы подразделяют на огнеупорные, работающие без снижения свойств при температуре свыше 1580 °С, тугоплавкие 1580 … 1350 °С и легкоплавкие – ниже 1350 °С. К этим материалам специального назначения относятся шамотные (обожженная глина), динасовые (состоящие в основном из оксида кремния) и высокоглиноземистые (содержащие преимущественно оксид алюминия), которые применяют в виде мелкоштучных кирпичей для внутренней футеровки промышленных тепловых агрегатов (доменные, сталеплавильные, стекловаренные печи, автоклавы).

Огнестойкость – способность материалов сохранять физико-механические свойства при воздействии огня и высоких температур, развивающихся в условиях пожара в течение определенного времени. Для оценки огнестойкости введен показатель возгораемости, основанный на трех признаках: потере несущей способности, теплоизолирующих свойств и сплошности.

По возгораемости строительные материалы делят на три группы: несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.

Несгораемые материалы при действии огня и соответственно высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К таким материалам относятся, например, природный камень, бетон, кирпич, металлы.

Трудносгораемые материалы под воздействием огня или высоких температур обугливаются, тлеют или с трудом воспламеняются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются. Такие материалы состоят обычно из сгораемых и несгораемых веществ, например асфальтобетон, цементный фибролит.

Сгораемые материалы горят или тлеют под воздействием огня и продолжают гореть после его устранения. К сгораемым относятся материалы, состоящие из органических веществ, например, древесина, большинство строительных пластмасс.

Принципиально, что при длительном воздействии огня может происходить химическое разложение определенных материалов, например мрамора, известняка, или же их деформация из-за потери прочности, например, стали. Поэтому по степени горючести нельзя судить об огнестойкости материала.

В современном мире ежегодно от пожаров гибнут сотни людей, значительны и материальные потери, поэтому повышению огнестойкости материалов следует уделять большое внимание.

Акустические свойства материалов проявляются при действии на него звука. По назначению акустические материалы делят на звукопоглощающие и звукоизолирующие.

Звукопоглощение – способность материалов поглощать звуковые волны. Звукопоглощение материала характеризуется коэффициентом звукопоглощения, показывающим, какое количество звуковой энергии поглотил материал в единицу времени по сравнению с общим количеством падающей звуковой энергии.

В полужестком и особенно упругом скелете материала звукопоглощение усиливается за счет деформаций самого скелета. Поэтому для звукопоглощающего материала относительно лучшей структурой является пористо-волокнистая, например, на основе минеральных волокон.

С возрастанием количества пор преимущественно сообщающегося разветвленного характера и с увеличением шероховатости поверхности возрастает звукопоглощение материала. При наличии открытых сравни-

тельно крупных пор материал поглощает больше звуковой энергии, чем мелкопористый с замкнутыми порами, но аналогичного состава.

Высоким считается коэффициент звукопоглощения более 0,8, низким – менее 0,2.

Звукоизолирующие материалы применяют для ослабления ударного звука, передающегося через строительные конструкции здания из одного помещения в другое. Оценку эффективности звукоизоляционных материалов проводят по двум основным показателям: динамическому модулю упругости (не более 15 МПа) и относительной сжимаемости под нагрузкой.

2.1.2. Химические свойства строительных материалов и изделий

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим взаимодействиям с другими веществами, с которыми он находится в соприкосновении, а также способность сохранять постоянными состав и структуру материала в условиях инертной среды.

Химическая или **коррозионная стойкость –** способность материалов сопротивляться действию агрессивных сред (жидкой, газообразной, твердой) или физическим воздействиям (электрический ток).

По механизму коррозионного процесса можно выделить следующие основные виды коррозии: *физическая*, приводящая к физическому разрушению материала без изменения его химического состава; *химическая*, определяющая необратимые изменения химического состава материала; *электрохимическая*, сопровождающаяся изменением химического состава материала в результате возникновения электрического тока на границе фаз (коррозия арматуры в водных растворах солей, кислот, щелочей проводящих электрический ток).

Особым видом коррозии является *биокоррозия* – разрушение материалов под действием живых организмов (грибков, микробов). Биокоррозия проявляется в гниении органических материалов (древесины), в разрушении бетона и металла продуктами жизнедеятельности поселившихся на них микроорганизмов.

При оценке коррозионной стойкости материалов определяют разность масс образцов до и после воздействия агрессивной среды и соответствующее изменение прочностных и упругих характеристик. Следует учитывать, что в зависимости от характера образующихся при коррозии продуктов масса материала может уменьшаться или увеличиваться; например, при эксплуатации бетона в кислой или некоторых других средах может иметь место растворение некоторых его составляющих, а в условиях соле-

вой агрессии в порах бетона может происходить кристаллизация солей, что приводит к увеличению его массы.

Таким образом, наряду с действием замораживания-оттаивания, коррозия материалов является важнейшим фактором, влияющим на срок их службы в ограждающих конструкциях.

Химическая активность – свойство материалов подвергаться химическим превращениям под влиянием воды, температуры, солнечной радиации или при взаимодействии с другими веществами. Химическая активность может быть положительной, если процесс химического взаимодействия приводит к упрочнению структуры (образование цементного, гипсового камня) и отрицательной, если протекающие реакции вызывают разрушение материала (коррозионное действие кислот, щелочей, солей).

Химическая активность зависит от состава и строения материала, а в случае с вяжущими веществами, минеральными добавками также и от тонкости измельчения.

2.1.3. Механические свойства строительных материалов и изделий

Механические свойства определяют поведение материалов под действием внешних нагрузок различного вида (сжимающей, растягивающей, изгибающей, ударной и т.д.). Внешние нагрузки вызывают деформации материалов либо их разрушение.

При незначительных внешних усилиях возникают упругие деформации. В случае упругих деформаций, материал после снятия нагрузки возвращается к прежним размерам. Упругие деформации при значительной величине нагрузки могут развиться в пластические, приводящие к необратимому изменению формы. При достижении некоторой предельной величины нагрузки происходит разрушение материала.

К деформативным свойствам материалов относятся, прежде всего, упругость, пластичность, хрупкость.

Упругость – способность материала деформироваться под влиянием нагрузки и самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней среды. Упругая деформация полностью исчезает после прекращения действия нагрузки, поэтому ее принято называть обратимой.

Пластичность – способность материала изменять форму, размеры под действием внешних сил, не разрушаясь. После прекращения действия силы материал не может самопроизвольно восстановить форму и размеры. Остаточная деформация называется пластической.

Хрупкость – способность твердого материала разрушаться при механических воздействиях без сколько-нибудь значительной пластической деформации.

Для измерения различного рода деформаций используют оптические длинномеры, индикаторы, тензометры, дилатометры.

По характеру деформаций, зависящих от состава и строения, материалы можно условно разделить на пластичные и хрупкие. К пластичным относятся, например, металлические материалы (кроме чугунных). Способность материала пластически деформироваться используют при его обработке. Хрупкие материалы – природный камень, бетон, стекло оконное – плохо сопротивляются растяжению, изгибу, удару.

При превышении заданных нагрузок каждый материал выходит из стадии упругой деформации. Проектируя конструкцию, необходимо назначать такие размеры и предусматривать применение таких материалов, которые работали бы только в пределах упругих деформаций.

Сопротивление механическому разрушению характеризуется их прочностными свойствами: прочностью, твердостью, истираемостью, сопротивлением удару, износом.

Прочность – способность материалов сопротивляться разрушению или необратимому изменению формы под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами.

Прочность материалов оценивают *пределом прочности* – напряжением, соответствующим нагрузке, при которой фиксируется начало разрушения. Наиболее распространенные нагрузки – сжатие, растяжение, изгиб и удар (рис. 2.1).

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ или **растяжении** $R_р$ (МПа, кгс/см^2) определяют по формуле:

$$R = \frac{P}{A}, \tag{10}$$

где P – нагрузка, вызывающая начало разрушения, Н (кгс);

A – площадь поперечного сечения образца до испытания, мм^2 (см^2).

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ (МПа, кгс/см^2) при испытании балки прямоугольного сечения, в случае если нагрузка сосредоточена в центре, определяют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2ab^2}, \tag{11}$$

где F – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

l – пролет между опорами, мм (см);

a и b – ширина и высота поперечного сечения балки, мм (см).

При двух равных грузах, расположенных симметрично оси балки предел прочности при изгибе равен

$$R_{изг} = \frac{3F(l-h)}{ab^2}, \qquad (12)$$

где h – расстояние между грузами, мм (см).

Прочность материала при ударе оценивается по суммарной работе нескольких сбрасываний груза на образец материала (на специальном приборе – копре), затраченной на его разрушение (до появления первой трещины) и отнесенной к единице объема материала. Сопротивление удару имеет большое значение для материалов, применяемых для полов и дорожных покрытий.

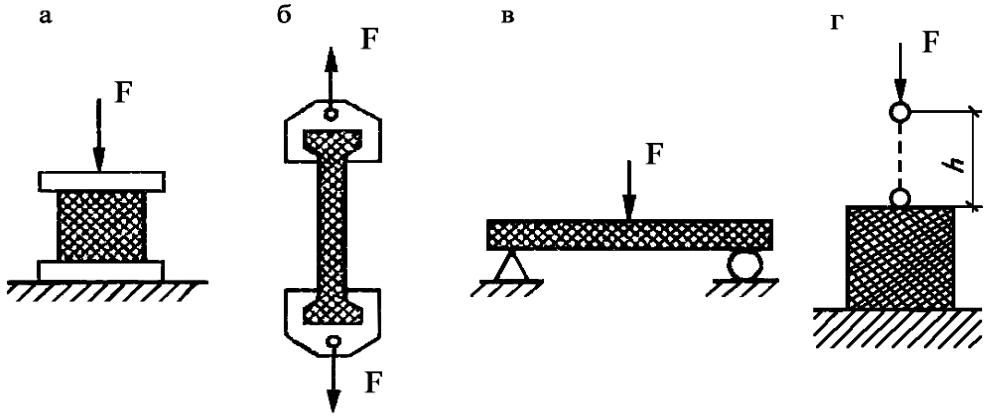


Рис. 2.1. Схемы определения пределов прочности материалов:
а – при сжатии, б – растяжении, в – изгибе, г – ударе

Прочность зависит от структуры материала, вещественного состава, влажности, направления приложения нагрузки. Некоторые природные и искусственные каменные материалы, например, гранит и бетон, сравнительно хорошо сопротивляются сжатию, но много хуже (в 5 … 50 раз) – растяжению, изгибу, удару. Материалы из древесины и металла хорошо сопротивляются сжатию, изгибу и растяжению. Вместе с тем структура древесины определяет ее анизотропность, в результате значения предела прочности материала из древесины при действии нагрузки вдоль или поперек волокон весьма существенно отличаются.

Высокой считается прочность, если значения предела прочности достигают 100 МПа и более, удовлетворительной – если предел прочности составляет десятки МПа, низкой – менее 10 МПа.

Значения предела прочности при сжатии стали может быть 400 МПа и более, тяжелого бетона – 40, кирпича керамического – 15. Предел прочности при изгибе стали аналогичен пределу прочности при сжатии, но у бетона он в 10 раз меньше, у кирпича ~ 2 МПа.

Понятно, что любой материал должен обладать определенной прочностью структуры, иначе его невозможно транспортировать, применять, эксплуатировать. Более высокая прочность часто позволяет снижать расход материала и получать технико-экономический эффект.

Твердость – способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим при местном внедрении другого, более твердого тела.

В зависимости от вида материала применяют различные методы оценки твердости. Для металлов, некоторых материалов на основе полимеров, бетона, древесины и других определение твердости основано на вдавливании в образец малодеформирующихся тел в виде шарика, конуса или пирамиды. В этом случае единицы измерения рассматриваемого показателя – МПа.

При определении твердости природных каменных материалов поверхность испытываемого камня последовательно царапают минералами, входящими в шкалу твердости Мооса, начиная с самого мягкого – талька, до тех пор, пока один из них не оставит царапину. Показатель твердости испытываемого образца материала будет находиться между аналогичными показателями минералов, один из которых чертит образец, а другой сам чертится образцом материала.

Твердость материала в большей мере зависит от его плотности. Но это свойство не всегда находится в прямой зависимости от прочности, материалы с различными значениями предела прочности (например, сталь различной прочности) могут иметь одинаковую твердость.

Определенными показателями твердости должны обладать материалы, которые часто подвергаются действию значительных сосредоточенных нагрузок (например, материалы для полов).

Истираемость – способность материала уменьшаться в объеме и массе вследствие разрушения поверхностного слоя под действием истирающих усилий. Ее оценивают по потере массы после истирания, отнесенной к единице площади истирания, – г/см^2. Испытания материалов на истирание проводят с помощью специальных машин – кругов истирания. При этом для сравнительно мягких материалов абразивом может служить чистый песок, для твердых – наждак.

Если при истирании теряется менее 0,5 г/см^2 массы материала, истираемость считают низкой, более 5 г/см^2 – высокой.

Истираемость, как и твердость, в большой мере зависит от плотности материала. Истираемость имеет большое значение прежде всего для материалов, которые используют для устройства дорог, покрытия полов, осо-

бенно в общественных и промышленных сооружениях. Весьма стойки к истиранию, например, некоторые природные камни – кварциты, базальты, диабазы, диориты, граниты, сравнительно менее стойки мраморы.

Износ – разрушение материала при совместном действии истирания и удара. Сопротивление износу определяют, испытывая образцы материала в специальном вращающемся барабане. Прочность при износе оценивают по потере массы, выраженной в процентах. Износу подвергаются покрытия дорог, аэродромов и полов промышленных предприятий.

2.1.4. Технологические свойства строительных материалов и изделий

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться тому или иному виду обработки. Так, например, к технологическим свойствам древесины относятся: хорошая гвоздимость, легкость обработки различными инструментами. Технологические свойства некоторых полимерных материалов включают способность обтачиваться, сверлиться, легко склеиваться, свариваться. Бетонные, растворные, глиняные, асфальтобетонные обладают пластичностью, вязкостью, которые обеспечивают заполнение определенного объема.

Пластичность – способность материала деформироваться без разрыва сплошности под влиянием внешнего механического воздействия и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекращается. Пластичность влияет на технологию производства бетонов, строительных растворов, керамических и других строительных материалов, а также на свойство готовых изделий. При высокой пластичности ускоряются и удешевляются операции смешивания и формования, повышается однородность готовых изделий, что благоприятно сказывается на их физических и механических свойствах, химической стойкости.

Вязкостью или **внутренним трением** называют сопротивление жидкости передвижению одного ее слоя относительно другого. Когда какой-либо слой жидкости приводится в движение, то соседние с ним слои тоже вовлекаются в движение и оказывают ему сопротивление. Величина этого сопротивления различна для разных жидкостей и зависит от их природы и температуры. Для количественной характеристики вязкости служит коэффициент динамической вязкости (Па·с), который имеет большое значение при использовании органических вяжущих материалов, синтетических и природных полимеров, клеев, масел, красочных составов. Вязкость этих материалов снижается при нагревании и резко повышается с понижением температуры.

2.2. Эстетические (архитектурно-художественные) свойства строительных материалов и изделий

К рассматриваемым характеристикам относятся форма, цвет, фактура, рисунок (текстура).

Форма строительных материалов и изделий играет существенную роль не только в их функциональной, но и в эстетической оценке. Эстетичность формы материала и изделия определяется ее геометрией (кубическая, параллелепипедная, цилиндрическая для объемных изделий; квадратная, прямоугольная, многогранная для плоских) и пропорциями (соотношениями) основных размеров. В современной архитектуре форма облицовочных материалов, как правило, лаконична – квадрат, прямоугольник.

Цвет материалов – зрительное ощущение, возникающее в результате воздействия на сетчатку глаза человека электромагнитных колебаний, отраженных от лицевой поверхности в результате действия света.

Все цвета материалов можно разделить на две группы – ахроматические (белые, черные и серые всех оттенков) и хроматические (красные, оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синие, фиолетовые со всеми промежуточными оттенками). Человеческий глаз способен различать до трехсот оттенков ахроматических и десятки тысяч хроматических цветов.

Объективная оценка цвета базируется на установленном положении о том, что любой цвет можно получить при смешении трех хроматических цветов – красный, зеленый и синий цвета, взятых в соответствующих пропорциях.

Основные характеристики цвета – цветовая тональность, светлота и насыщенность.

Цветовая тональность показывает, к какому участку видимого спектра относится цвет материала. Количественно цветовые тона измеряются длинами волн.

Светлота характеризуется относительной яркостью поверхности материала, определяемой коэффициентом отражения, который представляет соответственно отношение отраженного светового потока к падающему.

Насыщенность цвета – степень отличия хроматического цвета от ахроматического той же светлоты.

Применяя визуальные методы оценки цвета, используют атласы цвета, картотеку цветовых эталонов, образцы материалов-эталонов.

Цветовые атласы – альбомы или наборы большого числа ахроматических и хроматических накрасок, предварительно систематизированных.

Картотека цветовых эталонов – комплект карточек различных цветов, каждому из которых присвоен определенный номер. При этом каждая карточка имеет два гнезда, в которые вставляются глянцевая и матовая накраски одного цвета. Цветовые характеристики карточек в каждой партии перед выпуском измеряются с помощью фотоэлектрического колориметра. Максимальный срок эксплуатации карточек 5 лет.

При оценке цвета по *образцам-эталонам* часто используют металлические пластины размером 90×120 или 30×100 мм с эталонной краской. При старении цветовых покрытий образец-эталон подлежит замене.

Регулирование цвета материалов, как правило, осуществляется при использовании пигментов – цветных тонкоизмельченных неорганических и органических веществ. Пигменты используют для придания цвета краскам или в качестве компонента других материалов с искусственной структурой.

В современной лаконичной архитектуре цвет материалов, лицевая поверхность которых воспринимается визуально при эксплуатации, часто играет определяющую роль во внешнем облике зданий, сооружений и их интерьеров. Не случайны такие характеристики цвета при его восприятии, как тяжелый, легкий, возбуждающий, угнетающий, теплый, холодный. При проектировании наружной и внутренней цветовой отделки учитывается комплекс факторов. Например, при одинаковых условиях освещения интерьера пространство воспринимается большим при использовании для отделки основных поверхностей светлых материалов (в особенности холодных тонов); уменьшению воспринимаемой длины помещения способствует применение для отделки удаленных торцевых стен насыщенных теплых цветов, увеличению – холодных. На выразительность и своеобразие отделки влияют определенные цветовые сочетания, доминирующий (по площади или цветовому тону) цвет.

Фактура – видимое строение лицевой поверхности материала, характеризуемое степенью рельефа и блеска.

По степени рельефа выделяют *гладкие*, *шероховатые* (высота рельефа до 0,5 см) и *рельефные* (высота рельефа более 0,5 см) фактуры.

По степени блеска различают *блестящие* и *матовые* фактуры.

При выборе фактуры учитывается комплекс факторов, в том числе цвет материала. Фактура более отчетливо воспринимается на светлой поверхности.

При рельефной бугристой фактуре объем помещения воспринимается меньшим, чем при фактуре гладкой, горизонтальные рельефы способствуют зрительному сохранению высоты и удлинению помещения.

Современные архитекторы, дизайнеры предпочитают, как правило, матовые фактуры, считая, что блестящая фактура может искажать восприятие интерьера.

Рисунок – различные по форме, размерам, расположению, сочетанию, цвету линии, полосы, пятна и другие элементы на лицевой поверхности материала. Если упомянутые элементы созданы естественным путем, то рисунок называют **текстурой** (например, текстура древесины, природного камня, бетона).

У природных и большинства искусственных материалов текстура образуется видимыми на их поверхностях различными по форме, размеру, характеру пространственного расположения, цвету отдельными составными элементами: у древесины – годичными слоями, сердцевинными лучами, сосудами, волокнами; у естественного камня – зернами, прожилками, порами; у бетона – цементным камнем, мелким и крупным заполнителем. Текстуры этих материалов представлены на рис. 2.2 и 2.3.

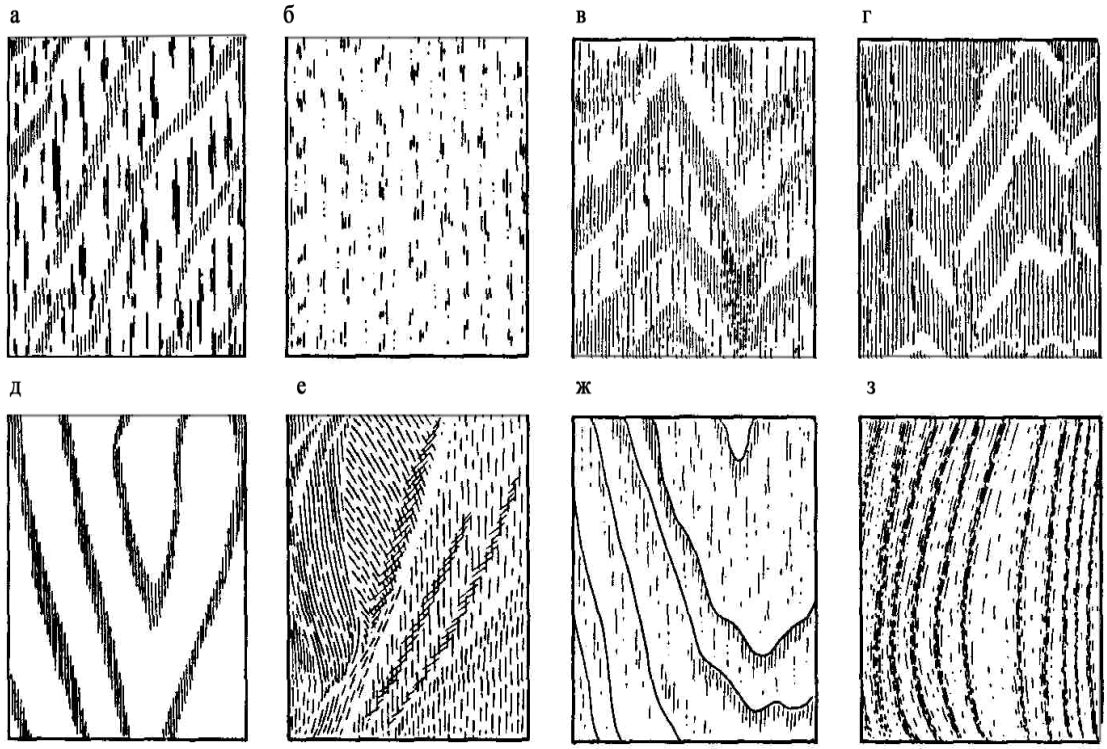


Рис. 2.2. Текстура различных пород древесины:
а – дуб; б – бук; в – береза; г – орех; д – сосна; е – кедр; ж – клен; з – карагач

а б

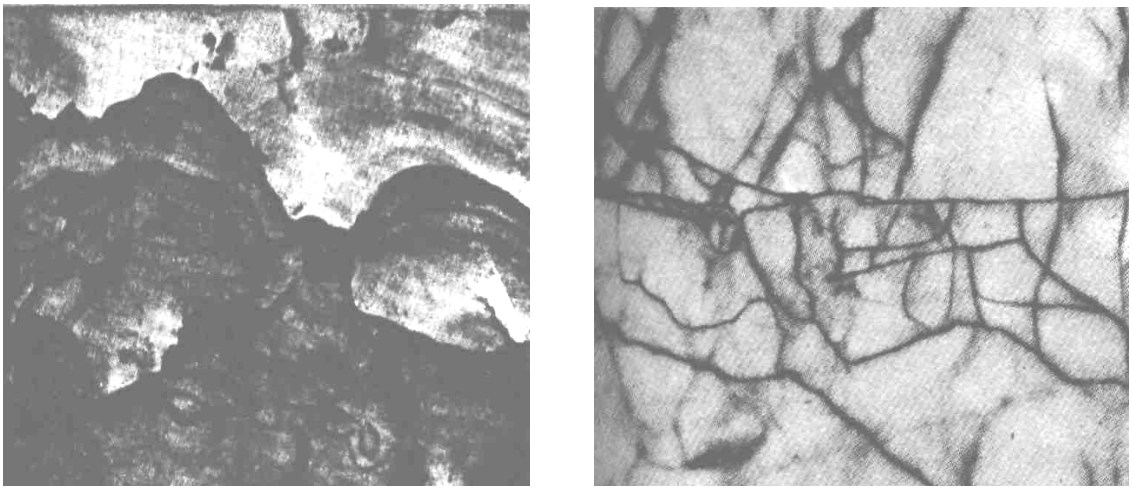


Рис. 2.3. Текстура природного камня:
а – гранит, б – мрамор

Рисунок (текстура), как и другие эстетические характеристики, влияет на своеобразие наружной и внутренней отделки зданий и сооружений.

Важно представлять, что все эстетические характеристики воспринимаются вместе и, например, определенные виды фактуры могут заметно менять цветовые параметры – насыщенность, светлоту.

Вопросы для самопроверки

1. Какие характеристики строительных материалов относятся к эксплуатационно-техническим свойствам, а какие к эстетическим?
2. Какие свойства материалов относятся к физическим?
3. От чего зависит теплопроводность материала?
4. Чем различаются химическая стойкость и химическая активность материалов?
5. Что понимают под механическими свойствами материалов?
6. Что такое предел прочности и как его определяют?
7. Какие факторы определяют морозостойкость материала?
8. Что такое цвет материала, и какими показателями он характеризуется?
9. В чем отличие между фактурой и текстурой материала?

РАЗДЕЛ 2. ОРГАНИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Согласно классификации, в зависимости от химического состава все строительные материалы разделяют на органические и неорганические. К органическим материалам относятся: древесина, органические вяжущие, полученные в результате окисления нефти, а также полимеры.

ГЛАВА 3. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Общие сведения о древесных материалах

Древесные материалы получают путем обработки древесины различных пород деревьев, а также на основе отходов упомянутой обработки. Еще в первобытном обществе древесина после примитивной обработки играла в строительстве огромную роль.

Постройки в эпоху неолита характеризовались четко выраженной геометричностью плана. В V в. до н.э. в Центральной и Восточной Европе возводились города из древесных материалов с крепостными стенами и храмами. Фахверковое строительство широко распространилось в Центральной Европе уже в I в. н.э. Весьма рациональные конструкции из древесных материалов, в том числе перекрытия общественных зданий, многопролетные арочные и балочные мосты, были построены в Древнем Риме. Древнее деревянное каркасное строительство характерно для стран Северной Европы. В Норвегии до нашего времени сохранились деревянные церкви XII – XIII вв.

Наиболее интересна история применения древесных материалов с точки зрения развития строительной техники. История освоения древесины лучше и нагляднее, чем история применения других материалов, позволяет проследить диалектический закон развития техники по спирали, в которой каждый виток открывает в материале новые возможности.

Использование древесины как строительного материала стало возможным с изобретением каменного рубила, а затем и каменного топора с рукояткой, который позволил рубить не только жерди, но и толстые бревна. Однако расцвет бревенчатой архитектуры начался после создания металлического топора и изобретения врубки – нового надежного способа соединения бревен. Сруб позволял деревянным строениям расти вверх, расширяться и сужаться шатром, он воспринял нагрузки от распоров при пологих конструкциях крыш.

Рубленая бревенчатая архитектура развивалась прежде всего в районах, богатых лесом, в том числе на Русском Севере. Жемчужиной не только русской, но и мировой деревянной архитектуры является Кижский погост и, прежде всего, 22-главая Преображенская церковь (1714 г.). В этом памятнике русского деревянного зодчества наглядно показаны формообразующие возможности строительных материалов из древесины (рис. 3.1). При строительстве этого уникального сооружения использована только древесина.



Рис. 3.1. Архитектурный ансамбль построек на острове Кижи Онежского озера, Преображенская церковь (справа)

Подлинной революцией в обработке древесины стало применение пилы, изобретенной еще в каменном веке, но получившей широкое распространение гораздо позже. Пиленый брус и доска становятся главными строительными материалами.

В Беларуси сохранились десятки памятников белорусского деревянного зодчества. Из древесины возводились помещичьи усадьбы, церковные сооружения, дома крестьян (рис. 3.2 – 3.4).



Рис. 3.2. Часовня д. Королевцы, Вилейский район, начало XIX в.



Рис. 3.3. Усадьба Ильи Репина в д. Здравнева, Витебский район, конец XIX в.



Рис. 3.4. Крестьянский дом, конец XIX в.

Еще одной революцией в области производства древесных материалов в XX в. можно считать возможность склеивания прочными водо- и биостойкими полимерными клеями крупноразмерных пиломатериалов (досок) и получение элементов деревянных клееных конструкций. Во многих случаях они эффективнее железобетонных или металлических.

Древесина широко используется в строительстве и до сегодняшнего дня благодаря ряду положительных свойств: высокой прочности при небольшой средней плотности, малой теплопроводности, легкости обработки и декоративности.

3.2. Сырье для производства древесных материалов

Растущее дерево состоит из корня, ствола и кроны. Древесину, используемую в качестве строительного материала, в основном дает ствол, который составляет до 90 % объема дерева.

При соблюдении правил рубки и ухода за лесом запасы древесины практически неисчерпаемы.

Изучая строение древесины, различают макро- и микроструктуру. Достаточно полное представление о **макроструктуре** – строении, видимом невооруженным глазом или при небольшом увеличении, – получают, рассматривая разрезы ствола дерева по трем направлениям (рис. 3.5).

Основные части ствола дерева: сердцевина, сердцевинные лучи, ядро, заболонь, годичные слои (рис. 3.6).

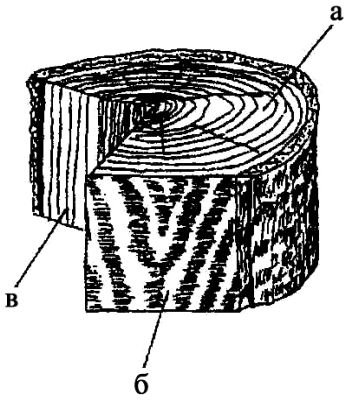


Рис. 3.5. Разрезы ствола дерева:
а – торцевой (поперечный);
б – тангенциальный; в – радиальный

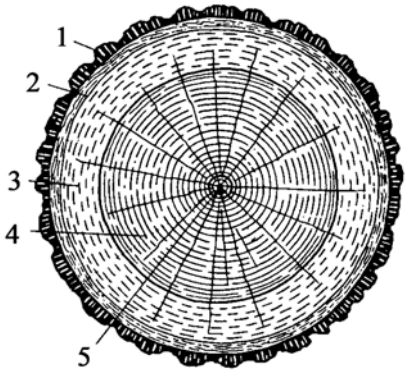


Рис. 3.6. Торцевой разрез ствола дерева:
1– пробковый слой коры; 2 – лубяной слой коры; 3 – заболонь; 4 – ядро; 5 –сердцевина

Сердцевина представляет собой рыхлую ткань, состоящую из клеток с тонкими, слабо связанными друг с другом стенками. Размеры сердцевинной трубки (сердцевина и слой первого года жизни дерева) невелики: до 10 мм или чуть больше. У спиленного дерева эта самая слабая часть ствола нередко крошится и легко загнивает. Поэтому недопустимо присутствие сердцевины в тонких досках и брусках, предназначенных для растянутых и изгибаемых элементов конструкций. Нежелательна сердцевина и в столярных изделиях, так как она постепенно выкрошивается.

У всех пород имеются *сердцевинные лучи* – светлые, часто отличающиеся блеском линии, которые направлены от сердцевины к коре. Сердцевинные лучи играют важную роль в создании текстуры древесины.

Ядро – внутренняя часть ствола, образующаяся по мере роста дерева. Когда внутренняя, наиболее старая часть древесины ствола отмирает, про-

водящая и запасающая системы перестают функционировать, а клетки уплотняются. Движение влаги по этим клеткам прекращается, поэтому древесина ядровой части отличается прочностью и стойкостью к загниванию. Некоторые древесные породы, например береза, клен, ядра не имеют.

Заболонь состоит из колец более молодой древесины, окружающих ядро. По живым клеткам заболони растущего дерева перемещается влага с растворенными в ней питательными веществами. Древесина заболони имеет большую влажность, легко загнивает, при последующей усушке усиливает коробление древесных материалов.

Образование *годичных слоев* связано с ежегодным приростом древесины. Внутри каждого слоя, соответствующего одному году жизни дерева, различают раннюю (весеннюю) и позднюю (летнюю) зоны, называемые соответственно ранней и поздней древесиной. Ранняя древесина состоит из крупных тонкостенных клеток, имеет большую пористость и низкую прочность. Поздняя древесина имеет темный цвет, большую плотность и прочность. Следовательно, чем больше образовалось поздней древесины, тем выше ее общая прочность. Годичные слои в большой мере определяют характер текстуры древесины.

Микроструктуру древесины можно наблюдать при сильном увеличении. Под микроскопом видно, что древесина слагается из большого количества живых и отмерших клеток различных формы и размеров. По функциональному назначению живые клетки делят на проводящие, механические и запасающие. Клетка имеет оболочку, внутри нее находится растительный белок – протоплазма и ядро. Микроскопическое строение древесины различных пород весьма разнообразно.

Древесина может иметь **пороки** – недостатки ее отдельных участков, снижающие качество и ограничивающие возможности использования материала. Пороки механического происхождения, возникающие в древесине в процессе ее добычи и обработки, называют *дефектами.*

К характерным порокам относятся: различные сучки (сросшиеся и несросшиеся, роговые и т.д.); трещины различного расположения и размеров (метиковые, морозные, усушки, отлупные); пороки строения (наклон волокон, тяговая древесина, свилеватость, завиток, глазки, смоляной кармашек, пасынок, сухобокость, пророст, рак, засмолок, ложное ядро, внутренняя заболонь, водослой, пятнистость), отклонения от нормальной формы ствола (сбежистость, закомелистость, нарост и кривизна); грибные поражения (ядровые пятна и полосы, ядровая гниль, плесень, заболонные грибные окраски, заболонная и наружная гниль); повреждение насекомы-

ми (червоточина); дефекты, образующиеся в процессе обработки; инородные включения (камни, гвозди и т. д.); деформации (покоробленность, образующаяся при сушке, хранении, выпиливании). На рис. 3.7 показаны некоторые пороки древесины.

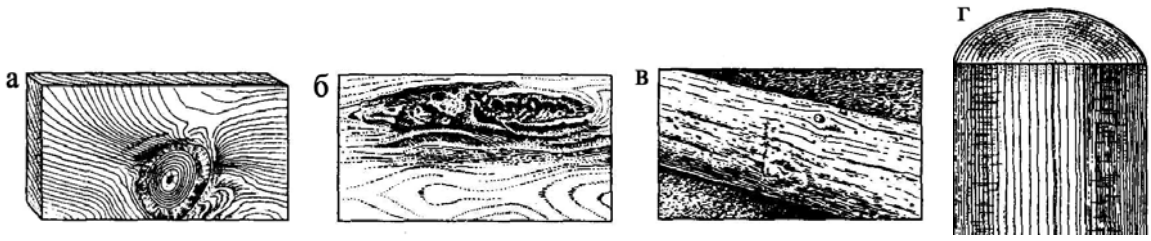


Рис. 3.7. Пороки древесины:
а – поперечный распил рыхлого сучка в сосновой доске; б – засмолок в сосновой доске;
в – червоточины; г – древесина с гнилью

Выделяют две группы древесных пород, встречающиеся в лесах нашей страны: *хвойные* и *лиственные.*

Среди наиболее распространенных хвойных пород, используемых в Беларуси для производства строительных материалов, – сосна и ель.

Сосна – ядровая порода, мягкая и прочная, легко обрабатывается, имеет смолистую древесину.

Ель отличается спелой древесиной, менее смолистой и более легкой, чем у сосны. По совокупности свойств ель уступает сосне. Ель труднее обрабатывается из-за большого количества твердых сучков. Эта порода сравнительно быстро загнивает, но деформация (коробление) древесины не высока.

Хвойные породы широко применяют в строительстве для изготовления конструкционных материалов.

Самые распространенные лиственные породы – дуб, бук, ясень, береза, осина, ольха, липа, клен.

Дуб отличается плотной, прочной и твердой древесиной, которую применяют для строительства гидротехнических сооружений, мостов, изготовления паркета, столярных изделий, фанеры.

Бук имеет тяжелую твердую древесину, которая легко раскалывается и склонна к загниванию. Из нее получают фанеру и паркет.

У *ясеня* весьма плотная, гибкая, но менее прочная, чем у дуба, древесина, используемая при столярно-отделочных работах, в производстве мебели. Порода весьма чувствительна к изменениям влажности и при ее повышении легко подвергается червоточине.

Береза имеет плотную заболонную древесину, которая сравнительно легко загнивает при повышенной влажности и отсутствии тока воздуха. Из древесины березы производят фанеру, столярные изделия, отделочные материалы. Она хорошо подвергается различной обработке, но сильно трескается и коробится, сравнительно медленно загнивает, но подвергается червоточине. Древесина березы предпочтительна в возрасте 40 … 50 лет, затем ее эксплуатационно-технические характеристики ухудшаются.

Осина – заболонная порода, сравнительно легкая, мягкая. Склонна к загниванию на корню, используется для производства фанеры, древесных плит. Сухая и выдержанная древесина осины стойка к загниванию даже при высокой влажности среды. Именно из нее делали лемехи для кровли куполов деревянных церквей. При этом лицевая поверхность изделий со временем приобретала оригинальный серебристый оттенок.

У *ольхи* сравнительно мягкая заболонная древесина, склонная к загниванию и червоточине, применяется в основном для сухой среды, но при повышенной влажности и под водой достаточно прочная и стойкая. Легко подвергается различной обработке.

Липа – сравнительно мягкая порода, хорошо обрабатывается, мало трескается и коробится, применяется для изготовления фанеры. Древесина липы отличается сравнительно высокой непроницаемостью для жидкостей, но подвержена червоточине.

У *клена* плотная древесина, которая сравнительно мало коробится и стойка к загниванию, хорошо подвергается различной обработке.

3.3. Общие свойства древесины

Истинная плотность древесины, состоящей в основном из целлюлозы составляет 1540 кг/м^3 и практически не зависит от породы дерева. Средняя плотность колеблется от 450 кг/м^3 (кедр, пихта) до 900 кг/м^3 и больше (граб, железное дерево, самшит, кизил) и зависит от общей пористости, которая для хвойных пород равняется 46 … 81 %, лиственных – 32 … 80 %.

Вследствие гидрофильной природы и волокнистой пористой структуры древесина при изменении температурно-влажностных условий эксплуатации легко впитывает и отдает влагу. В зависимости от влажности (степень насыщения водой в %) древесину подразделяют на мокрую – свежесрубленную (более 35 %), воздушно-сухую (15 … 20 %) и комнатно-сухую (8 … 12 %). Влажность, приобретенная древесиной при длительном нахождении в условиях постоянного температурно-влажностного режима называют **равновесной.** Полная влажность, при погружении в воду, может

доходить до 200 %. Так как влажность влияет на все физические и механические свойства древесины (увеличиваются размеры, повышается электро- и теплопроводность, снижается прочность), то с целью анализа области применения вводят показатель **стандартной влажности** – 12 % и все свойства пересчитывают с его учетом по специальным формулам. Влага в древесине находится в трех видах: химическая, входящая в состав основного вещества целлюлозы, гигроскопическая, адсорбированная на стенках клеток, и свободная, заполняющая клетки и межклеточные пространства.

Колебания влажности влекут изменения размеров и форм изделий. Вследствие неоднородности строения древесина усыхает в различных направлениях неодинаково. Вдоль волокон усушка составляет 1 см на 1 м (1 %), в радиальном направлении 3 … 6 см на 1 м (3 … 6 %), в тангенциальном 6 … 12 см на 1 м (6 … 12 %). Неравномерность усушки приводит к появлению внутренних напряжений вызывающих коробление и растрескиванию пиломатериалов и бревен (рис. 3.8).

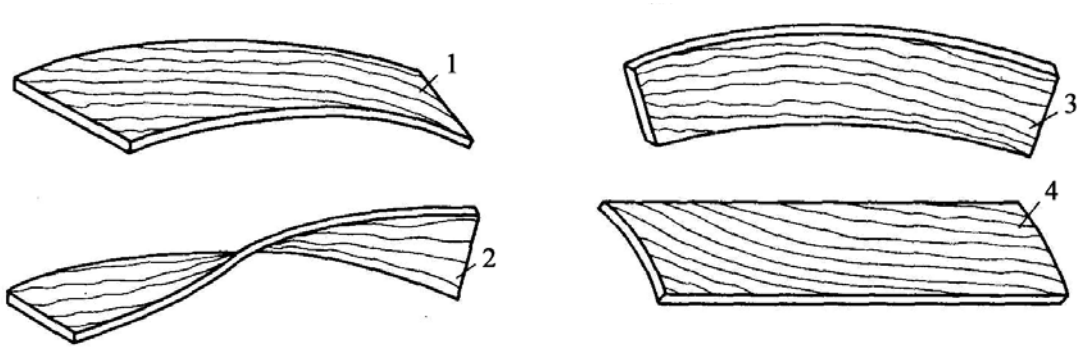


Рис. 3.8. Деформации досок из древесины:
1 – продольная по пласту; 2 – крыловатость;
3 – продольная по кромке;4 – поперечная

Для предотвращения коробления и растрескивания деревянных изделий их изготавливают из древесины высушенной предварительно до той равновесной влажности, которая будет при эксплуатации. Для столярных изделий влажность 8 … 10 %, для наружных конструкций 15 … 18 %. Чтобы защитить древесину от последующего увлажнения, ее покрывают водостойкими красками, полимерными пленками. В круглом лесе и пиломатериалах трещины усушки образуются, в первую очередь, на торцах. Для уменьшения растрескивания торцы бревен, брусьев обмазывают смесью из извести, соли и клея или другими защитными составами.

При влажных условиях эксплуатации древесина подвергается разрушающему действию микроорганизмов – загнивает. Предохранение древесины от разрушения и продление срока ее службы в зданиях и сооружени-

ях достигают путем обеспечения вентиляции, предварительной естественной или искусственной сушки, окраски водостойкими красочными и настовыми составами и антисептирования.

При высушивании древесины создаются условия для быстрого передвижения и испарения влаги с поверхности материала. Естественная сушка происходит на складах древесных материалов, искусственная – в специальных сушилках, горячих жидкостях (петролатуме) или в поле токов высокой частоты. Искусственная сушка происходит гораздо быстрее и позволяет получать материал с влажностью не более 6 … 10 %.

Антисептики – вещества, ядовитые для грибков, являющихся основной причиной загнивания древесины. Поверхностное антисептирование производят путем опрыскивания или промазывания растворами медного купороса, фтористого и кремнефтористого натрия. Масляные антисептики (горючие, с резким запахом каменноугольные дегти, масла, торфяной креозот и др.) пригодны для обмазок конструкций, находящихся в грунте или в воде. Для этой же цели применяют битумные антисептические пасты. Силикатными пастами обмазывают древесину в элементах конструкций, защищенных от воды. Глубокую пропитку древесины антисептиками осуществляют в высокотемпературных ваннах или в специальных котлах под давлением.

К антисептикам предъявляют следующие требования: возможно большая токсичность по отношению к дереворазрушающим микроорганизмам, длительное сохранение токсичных свойств; отсутствие вредного влияния на прочность древесины и металла крепления (болты, гвозди); способность как можно глубже проникать в толщу древесины; безвредность для людей.

Теплопроводность и электропроводность древесины зависят от ее пористости, влажности и направления потока тепла или электрического тока. В сухом состоянии древесина является теплоизоляционным материалом и хорошим диэлектриком.

По огнестойкости древесина относится к сгораемым материалам, ее возгорание происходит при температуре 250 … 300 °С. Нормами допускается использование древесины для изготовления балок, колонн, арок, ферм, рам при условии пропитки материала специальными огнезащитными веществами – *антипиренами.* Обработка материала антипиренами может быть поверхностная и объемная (метод глубокой пропитки). При глубокой пропитке огнестойкость древесины повышается более существенно.

Действие антипиренов основано на образовании в результате действия температуры на поверхности материала пленки, преграждающей доступ кислорода; выделении при термическом разложении инертных газов и паров; повышенном углеобразовании пропитанного материала. Пропитанное антипиреном дерево не воспламеняется при высокой температуре, а тлеет. Поскольку такая обработка не создает на поверхности древесины никакого слоя, антипирированные материалы можно подвергать механической обработке и склеивать. Составы растворов для антипирирования древесины разнообразны. Хорошими защитными свойствами обладают растворы на основе сульфата аммония, диамионийфосфата, борных и фосфатных соединений. Например, для пропитки древесины под давлением часто применяют антипирены, состоящие из фосфорнокислого и сернокислого аммония, фтористого натрия и воды в разных соотношениях. Большинство антипиренов обладает одновременно и антисептическим действием. Антипирирование, позволяет получать долговечные несгораемые материалы, объемы применения которых в отечественном строительстве должны увеличиваться.

Традиционными средствами огнезащиты деревянных конструкций являются покрытия на основе цементно-песчаных и других штукатурок. Для огнезащиты древесины широко применяют также разнообразные краски – невспучивающиеся и вспучивающиеся, неорганические и органические. Покрытия и краски выполняют следующие функции: защищают сгораемый материал от воспламенения, выделяя при нагревании газы, препятствующие процессу горения и поглощающие выделяющуюся теплоту; при нагревании выделяют воду, поддерживая температуру на уровне 100 °С. Для огнезащиты деревянных конструкций применяют также плитные и листовые материалы. Наиболее широкое распространение нашли гипсокартонные и асбестоцементные листы. Их применение позволяет увеличить предел огнестойкости деревянных конструкций на 20 … 30 мин при толщине 10 мм.

Оценивая эксплуатационно-технические свойства древесных материалов, архитектор должен учитывать, что сравнительно крупные элементы конструкций из древесины, например клееные балки, арки, фермы, рамы, могут достаточно длительное время сохранять прочность в условиях пожара. Так, при периодическом действии огня и температуре 750 °С конструкции из стали могут деформироваться через 15 мин, но конструкции из крупных деревянных элементов в аналогичных условиях потеряют необходимую прочность через 45 мин.

Химическая стойкость древесины зависит от концентрации и длительности воздействия растворов кислот и щелочей. Органические кислоты (уксусная, молочная и т.п.) не разрушают древесину, в равной мере, как и слабощелочные растворы. Сильные неорганические кислоты (серная, фосфорная) обезвоживают древесину, вызывая ее обугливание.

Механические свойства древесины зависят от направления приложения нагрузки по отношению к древесным волокнам, средней плотности и влажности.

Предел **прочности при сжатии** определяют вдоль и поперек волокон на образцах в виде прямоугольной призмы размером 20×20×30 мм. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон в 4 … 6 раз больше, чем поперек. Например, для сосны вдоль волокон – 48 МПа, поперек 10 … 12 МПа. Древесина, вследствие своего органического происхождения и волокнистого строения, оказывает большое сопротивление изгибу, поэтому ее применяют при изготовлении балок, стропил, ферм. Прочность, которая колеблется от 60 до 100 МПа, определяют на образцах-балочках 20×20×300 мм. Испытания проводят по схеме балки, свободно лежащей на двух опорах с пролетом 240 мм и нагруженной двумя сосредоточенными грузами на расстоянии 80 мм.

Характерные значения средней плотности и прочности различных пород древесины представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Показатели средней плотности и прочности
различных пород древесины при стандартной 12 % влажности

Порода древесины	Средняя плотность, кг/м^3	Предел прочности вдоль волокон, МПа		
		при сжатии	при растяжении	при статическом изгибе
Лиственница	660	65	125	110
Сосна	500	48	100	85
Ель	450	45	100	80
Дуб	690	58	125	105
Береза	630	55	165	110
Осина	495	40	125	75
Липа	495	45	120	85

На **скалывание** древесина работает в стропильных фермах. Прочность составляет 6 … 13 МПа при скалывании вдоль волокон и 24 … 40 МПа поперек волокон.

Статическая твердость численно равна нагрузке, которая необходима для вдавливания в поверхность образца половины металлического шарика, определенной массы и диаметра. В зависимости от этого показателя все древесные породы подразделяют на мягкие (сосна, ель, ольха) – 35 … 50 МПа, твердые (дуб, граб, береза) – 50 … 100 МПа, очень твердые (кизил, самшит) больше 100 МПа. Твердость древесины понижается с увеличение ее влажности.

Один из перспективных способов значительного улучшения свойств древесины – модификация ее синтетическими полимерами. Сущность модификации состоит в том, что натуральную древесину пропитывают жидким мономером, который затем отвердевает под действием тепла, химических реагентов или ионизирующих излучений. Особенности модификации состоят в том, что синтетический полимер не просто заполняет свободные пространства в древесине, а взаимодействует с ее компонентами. В результате исключаются такие недостатки древесины как набухание и усушка, коробление растрескивание, загнивание и возгорание.

3.4. Материалы и изделия из древесины

Древесные материалы применяют в современной архитектуре в качестве конструкционных, отделочных, теплоизоляционных, акустических и погонажных изделий.

К конструкционным материалам относят круглые лесоматериалы, пиломатериалы, фанеру, древесные слоистые пластики, фибролит, арболит, цементно-стружечные плиты.

Круглые лесоматериалы – отрезки стволов деревьев. В зависимости от толщины (диаметра) бревна в узкой части (верхнем отрубе) их могут подразделять на мелкие, с толщиной для хвойных пород 6 … 13 см, для лиственных 8 … 13 см, средние, толщиной 14 … 24 см для всех пород и крупные, толщиной 26 см и более.

Пиломатериалы получают при продольном раскрое пиловочных бревен. В зависимости от направления раскроя различают пиломатериалы радиальной, тангенциальной и смешанной распиловки. Материалы с опиленными кромками называют *обрезными,* с неопиленными – *необрезными.* Пиломатериалы, у которых с одной из двух боковых кромок не снята круглая поверхность бревна – обзол, называют полуобрезными. Некоторые пиломатериалы, используемые как в целом виде, так и для выработки заготовок материалов, показаны на рис. 3.9.

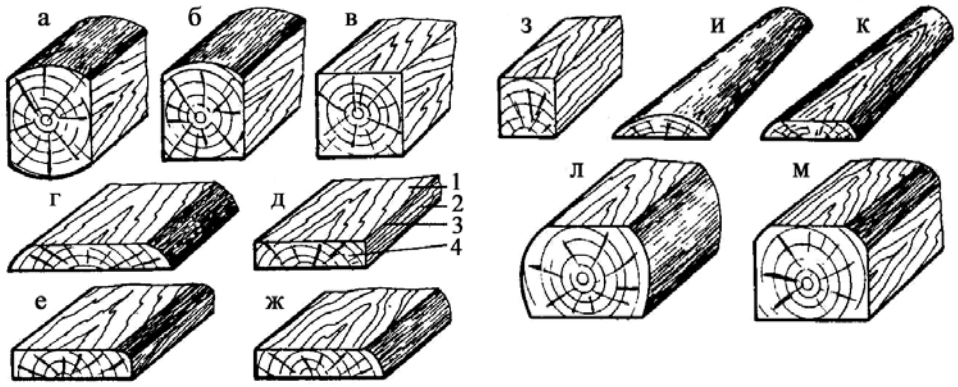


Рис. 3.9. Виды пиломатериалов:
а – двухкантный брус; б – трехкантный брус; в – четырехкантный брус;
г – доска необрезная; д – чистообрезная доска (1 – пласть доски; 2 – кромка; 3 – ребро;
4 – торец); е – обрезная доска с тупым обзолом; ж – обрезная доска с острым обзолом;
з – брусок; и – облапол горбыльный; к – облапол дощатый;
л – шпала необрезная; м – шпала обрезная

Весьма популярны малоэтажные жилые дома из бревен или бруса. Бревенчатые дома строят по всей территории Беларуси, средней полосе и на севере России, в Скандинавских (в основном в Финляндии) и других странах.

При склеивании прочными водо- и биостойкими полимерными клеями крупноразмерных пиломатериалов (досок) получают элементы деревянных клееных конструкций – балки, рамы, арки, фермы (рис. 3.10). Во многих случаях они эффективнее железобетонных или металлических. Пролеты таких конструкций могут достигать более 100 м.

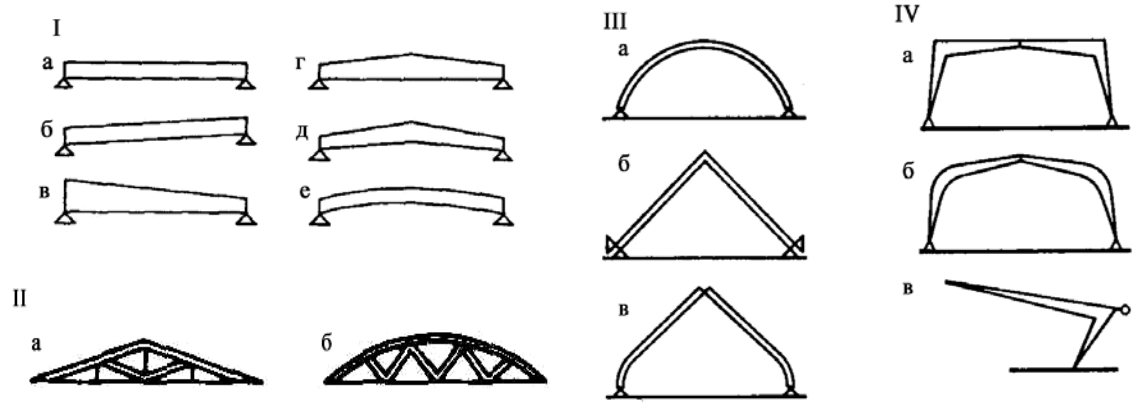


Рис. 3.10. Схемы некоторых видов деревянных клееных конструкций:
I – балки: а – прямолинейная постоянной высоты, б – прямолинейная постоянной высоты с наклоном, в – односкатная переменной высоты, г – двускатная прямолинейного очертания; д – двускатная ломанного очертания; е – криволинейного очертания; II – фермы: а – треугольная, б – сегментная; III – арки: а – кружальная, б – треугольная, в – стрельчатая; IV – рамы: а – с горизонтальным ригелем, б – гнутоклееная, в – консольная

Шпон – тонкие срезы древесины заданной толщины (0,35…4 мм). В зависимости от технологии получения различают шпон строганый и лущеный (рис. 3.11). Строганый шпон отличается более оригинальной и разнообразной текстурой.

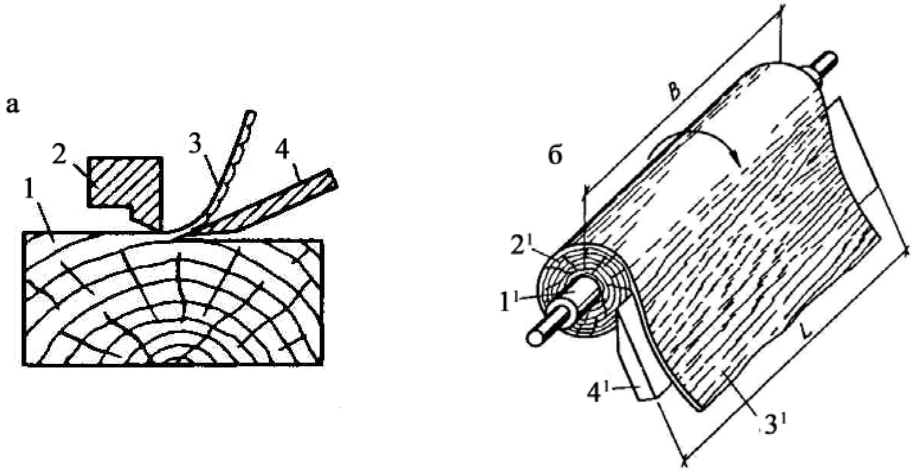


Рис. 3.11. Схемы получения строганного (а) и лущеного (б) шпона:
1 – брус; 2 – прижимная рейка; 3 – лист строганного шпона; 4 – нож; B – длина чурака; L – длина ножа; 1' – кулачок; 2' – чурак; 3' – лист лущеного шпона; 4' – нож

Фанера – слоистый материал, состоящий из трех и более листов лущеного шпона, иногда в композиции с другими материалами. По числу слоев шпона различают трехслойную, пятислойную и многослойную (в т.ч. в виде плит) фанеру толщиной до 18 мм и более. Смежные слои шпона располагают во взаимоперпендикулерных направлениях с целью повышения однородности изделий по свойствам и исключения усадочных деформаций и коробления.

Бакелизированную фанеру получают из березового лущеного шпона, пропитанного и склеенного фенолформальдегидными клеями. Бакелизированная фанера имеет высокие конструктивные качества: ее предел прочности при растяжении 60 … 80 МПа, при этом она почти так же легка, как и древесина. Эта фанера обладает повышенной водостойкостью, атмосферостойкостью и прочностью.

В строительстве фанеру применяют для выполнения обшивки внутренних перегородок на деревянной раме, пространственных конструкций в виде сводов и куполов, а также клееных балок, арок и ферм. С целью повышения прочности, твердости и жесткости при изготовлении фанеры между ее слоями прокладывают металлическую сетку. В этом случае фанера называется армированной и может применяться в особо важных конструкциях.

Древесные слоистые пластики – крупноразмерные листы и плиты, получаемые при горячем прессовании листов лущеного шпона, пропитанных полимерным раствором. В последнем случае листы и плиты отличаются от фанеры бóльшими плотностью и прочностью. Из пластиков выполняют обшивку градирен, конструкции жестких пространственных оболочек для покрытия помещений больших пролетов (крытые стадионы, цирки, рынки).

Фибролит – плитный материал, получаемый в результате твердения неорганического вяжущего с наполнителем из спрессованной массы древесной «шерсти» (тонких длинных стружек). Древесную «шерсть» производят в виде лент шириной 4 … 7 и толщиной 0,25 … 0,5 мм из отходов хвойных и лиственных пород. Фибролит выпускают в виде крупноразмерных плит длиной до 3 м, шириной до 1,2 м, толщиной 30, 50, 75, 100 мм.

Плиты фибролита можно пилить и сверлить обычными деревообрабатывающими инструментами; в них легко забивать гвозди и ввертывать шурупы; они хорошо оштукатуриваются и окрашиваются; прочно сцепляются с незатвердевшим бетоном и надежно крепятся к поверхности бетонных и каменных конструкций. Фибролит морозостоек, не загнивает, не поражается грызунами. По огнестойкости материал относится к трудносгораемым.

Конструкционные фибролитовые плиты применяют для изготовления перекрытий, перегородок и покрытий сельскохозяйственных и складских зданий, а также стен деревянных стандартных домов.

Арболит изготовляют из цемента и древесных опилок, дробленой стружки или щепы. Из арболита делают навесные панели наружных стен, самонесущие панели наружных и внутренних стен, плиты покрытий. Поверхность панелей защищают асбестоцементными листами на шурупах, цементным раствором, керамической плиткой. Не разрешается использовать изделия из арболита для цоколей, стен подвалов.

Цементно-стружечные плиты в отличии от фибролита и арболита прессуют при повышенном давлении, поэтому они имеют большую плотность. Цементно-стружечные плиты применяют для наружной обшивки стеновых панелей жилых домов, в качестве опалубки для бетона, изготовления санитарно-технических кабин.

Для отделки стен в жилых комнатах применяют вагонку, обои, в помещениях общественного назначения – цементно-стружечные, древесностружечные, твердые древесноволокнистые плиты с отделкой лицевой

поверхности декоративными лакокрасочными составами, полимерными пленками, пластиком или шпоном ценных древесных пород.

Древесностружечные и древесноволокнистые плиты получают методом плоского прессования отходов древесины (стружки, опилок) смешанных с синтетическими смолами и добавками.

Для облицовки внутренних стен, общественных административных и производственных зданий применяют декоративную фанеру с отделкой лицевой поверхности бумагой, имитирующей текстуру ценных пород древесины или ткани, пленочным покрытием, строганным шпоном. Если проектом предусмотрена улучшенная или высококачественная отделка, используют древесные слоистые пластики.

Обои бумажные получают путем нанесения рисунка на обойную бумагу (негрунтованные) или на цветной фон (грунт), предварительно наносимый на бумагу (грунтованные). Негрунтованные обои выпускают на белой и цветной бумаге с рельефным печатным рисунком. Грунтованные обои – материал с более разнообразными эстетическими характеристиками. Длина обоев в рулоне (куске) обычно до 12 м, ширина 50, 60, 75 см и др.

Традиционный характер отечественного жилища, формировавшийся на протяжении многих веков, предполагает широкое применение материалов из древесины для покрытий полов. Использование этих материалов заметно увеличивается и в зарубежных странах, особенно в Скандинавских.

Нередко в отечественной практике используют дощатый настил из массивной древесины. Однако его высокая материалоемкость (доски делают толщиной 30 … 50 мм), необходимость обязательной построечной доводки и окраски, возможность коробления досок и расстройства стыков между ними, не позволяет считать его перспективным.

Большой популярностью в современной архитектурно-строительной практике для покрытий полов в жилых и общественных зданиях пользуются штучный паркет, паркетные щиты и доски. Многочисленные фирмы выпускают разнообразные виды этих изделий.

Вместе с тем для покрытий полов применяют материалы на основе древесных отходов – ДСП, ДВП. Из них устраивают сборные стяжки под рулонные покрытия, но их можно использовать и непосредственно для лицевого покрытия пола с последующей окраской или с заводским отделочным слоем.

Штучный паркет представляет собой деревянные строганые планки различных размеров и формы с профилированными кромками и торцами.

Планки изготавливают из древесины твердых пород (дуба, бука, ясеня, березы, лиственницы). Длина планок от 150 до 500 мм, ширина – от 30 до 90 мм, толщина 15 … 18 мм. Двухслойный паркет – новый вид штучного паркета. Верхний слой такого паркета (ламель) толщиной 4 мм изготавливается из древесины твердой породы. Нижний слой толщиной 8 мм – многослойная фанера.

Паркетные доски могут состоять из тонких лицевых планок твердых древесных пород, наклеенных на реечное основание из низкосортной древесины хвойных пород. Разнообразные конструкции досок делят на два типа: двухслойные и многослойные. Поставляются они полной заводской готовности с покрытой лаком лицевой поверхностью разнообразных размеров (рис. 3.12). Кромки и торцы имеют паз и гребень для сборки, а рейки основания – продольные пропилы для исключения коробления.

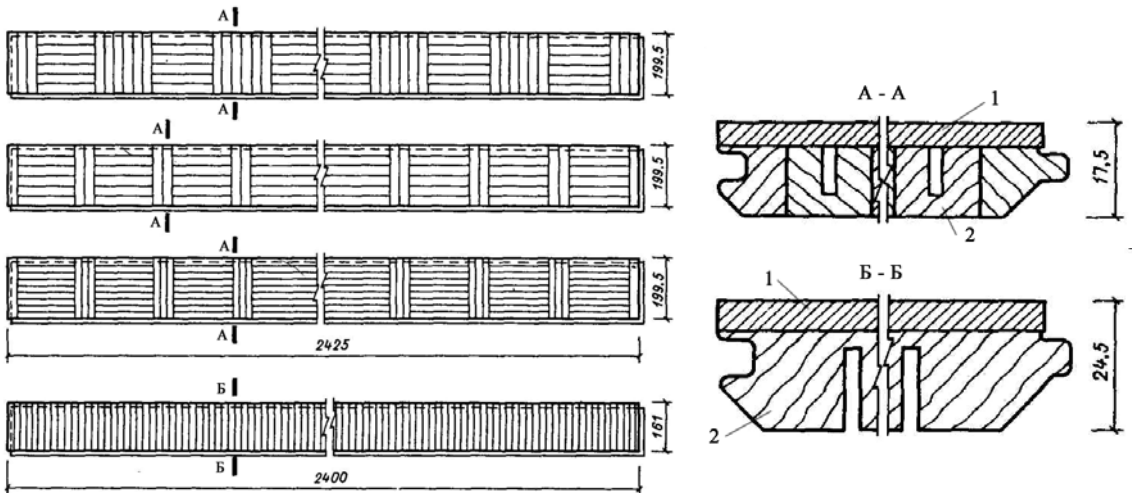


Рис. 3.12. Паркетные доски:
1 – лицевые планки из древесины твердых лиственных пород;
2 – слои основания из древесины хвойных пород

Паркетные щиты, или щитовой паркет, изготовляют различной конструкции и размеров (рис. 3.13). Щиты состоят из лицевых планок, наклеенных на основание. Лицевой слой такой же, как у паркетных досок, а основание может быть из низкосортных реек хвойных пород, строительной фанеры, древесностружечной плиты и др. При сборке полов щиты соединяют друг с другом фанерными или иными шпонками, вставляемыми в пазы с четырех кромок щита. К щитовому относится и художественный наборный (мозаичный) паркет, его выполняют по специальным чертежам в заводских условиях.

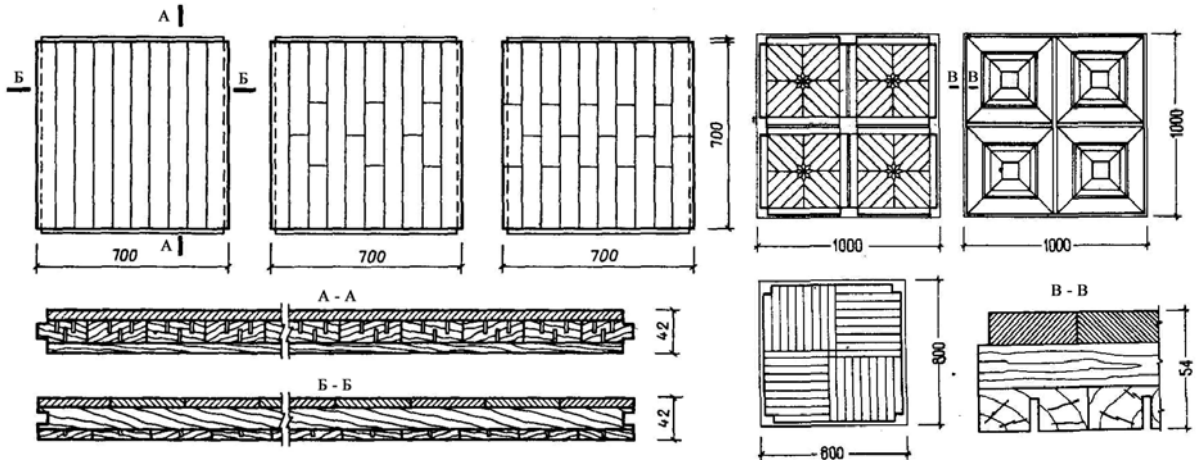


Рис. 3.13. Щитовой паркет

Древесные материалы нельзя использовать для покрытий полов в помещениях с влажным режимом работы (влажность более 60 %) и большими пешеходными нагрузками (полы в вестибюлях, торговых залах, столовых).

К *теплоизоляционным* древесным материалам относятся теплоизоляционный фибролит, арболит, мягкие древесноволокнистые плиты, средней плотностью 175 … 500 кг/м^3 применяют для утепления тонких кирпичных и бетонных стен в сельскохозяйственных постройках, ограждающих стеновых конструкций жилых, общественных и промышленных зданий с сухим режимом эксплуатации. С недавнего времени в республике налажена технология производства экологически чистого, безопасного, долговечного и эффективного материала – целлюлозной теплоизоляционной ваты (эковата). Эковата состоит из обработанной целлюлозы (газетной макулатуры) на 81 %, антипирена (борной кислоты) на 12 % и антисептика (буры) на 7 %.

Акустические фибролитовые и древесноволокнистые плиты применяют при строительстве зданий аэропортов, фойе театров, кафе, ресторанов. Фибролитовые и древесноволокнистые акустические плиты используют для выполнения звукопоглощающих подвесных потолков. Для улучшения акустических свойств на их поверхность наносят специальные акустические объемные штукатурки или выполняют перфорацию.

Различают строганные и профильные *погонажные изделия.* **Строганные погонажные изделия** – это доски для полов, шпунтованные доски, у которых на одной кромке имеется паз, на другой – гребень (выступ), что обеспечивает плотное соединение досок при устройстве полов; фальцевые доски применяемые для обшивки стен и потолков (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Строганные погонажные изделия:
а – шпунтованные доски; б – фальцованные доски

К группе **профильных погонажных изделий** относятся плинтусы, галтели, используемые для заделки углов между полом и стенами, поручни для перил, наличники для оконных и дверных блоков, доски подоконника, раскладки (рис. 3.15).

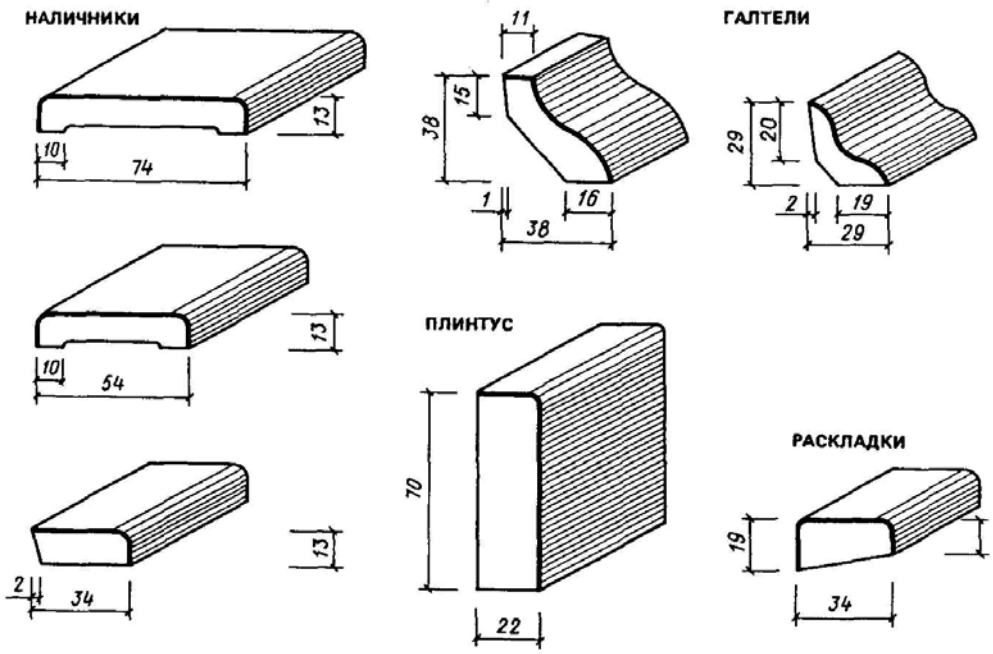


Рис. 3.15. Профильные погонажные изделия

3.5.Эстетические характеристики материалов из древесины

Формирование эстетических характеристик древесных материалов связано прежде всего с характером *отделки их лицевой поверхности.*

Среди всех современных древесных материалов с эстетической и экологической точек зрения выделяются прежде всего те, которые получают из натуральной (массивной) древесины, – бревна, брус, шпон, пиломатериалы, разновидности паркета, погонажные изделия. Природные цвет и рисунок древесных пород вызывают ощущение теплоты, комфорта и по-

ложительные эмоции, а природные составляющие уникальной структуры древесины оказывают положительное влияние на физическое состояние человека. Поэтому особое внимание следует уделять прозрачной отделке древесных материалов и элементов деревянных клееных конструкций.

Прозрачная отделка поверхности древесных материалов позволяет сохранить или еще более проявить текстуру древесины. Основные этапы такой отделки включают подготовку поверхности древесины, создание покрытия и его облагораживание.

В ходе столярной подготовки поверхности устраняют ряд дефектов – заделывают трещины, высверливают и заделывают сучки, выравнивают и зачищают поверхность, циклюют и шлифуют. Затем материал проходит цикл отделочной подготовки поверхности, который может состоять из следующих операций: удаление ворса, обессмоливание, отбеливание, крашение, грунтование, порозаполнение.

В производственных условиях нанесение основного отделочного слоя производится на конвейерных, автоматических и полуавтоматических линиях, в составе которых имеются станки для нанесения отделочных покрытий, установки для сушки и стабилизации покрытий, механизмы загрузки и выгрузки изделий, транспортные средства. При ремонтных работах можно применять ручные методы отделки.

Облагораживание основного отделочного покрытия производят шлифованием или разравниванием (разглаживание тампоном, смоченным растворителем), а также полированием. Шлифуют поверхность шкурками на бумажной или стеклолаковой основе. Политуры наносят вручную тампоном или на полировальных станках. Эти составы позволяют получить равномерный зеркальный блеск поверхности и сгладить неровности лакового покрытия.

При *непрозрачной отделке* учитывают, что цвет и текстура древесины скрываются. Такую отделку применяют, как правило, для материалов и изделий из некоторых хвойных и недорогих лиственных пород, для древесностружечных и древесноволокнистых плит и других материалов, не отличающихся выразительными эстетическими характеристиками. Вместе с тем непрозрачные отделочные покрытия хорошо защищают поверхность древесины от физико-механических воздействий.

Основные этапы технологии непрозрачной отделки в основном те же, что и при прозрачной отделке, однако процесс отделочной подготовки в данном случае включает операции обессмоливания, подмазывания, грунтования, сплошного и местного шпатлевания поверхности.

Облагораживание поверхности основного отделочного покрытия производят путем его разравнивания, шлифования и полирования. Остатки полировочного материала удаляют. При непрозрачной отделке древесины для оконных блоков, контейнеров и других конструкций облагораживание не производят.

Непрозрачную отделку древесины производят также с помощью пленочных и листовых материалов. Пленочные материалы на основе бумаги, пропитанной фенолформальдегидной, мочевиномеламиноформальдегидной, меламиновой, карбамидной, диаллилфталатной смолами, напрессовываются на поверхность древесины. При этом материалы, не обладающие адгезией к древесине, напрессовываются с использованием клея. Из пленок на основе полимеров чаще применяют поливинилхлоридные, которые могут дублироваться с бумагой, тканями, фольгой, готовым клеевым слоем.

К листовым материалам для непрозрачной отделки относятся декоративный бумажно-слоистый пластик (ДБСП) и декоративная фанера (ДФ).

ДБСП получают горячим прессованием нескольких слоев бумаги, пропитанных смолами. Бумага для лицевого слоя ДБСП может иметь разнообразные эстетические характеристики (цвет, рисунок).

ДФ изготовляют горячим прессованием шпона, текстурной и кроющей бумаги, отделочной прозрачной пленки на основе бумаги. Лицевая поверхность ДФ может быть блестящей или матовой.

В заключение необходимо отметить, что на стадии производства, применения и утилизации древесные материалы экологически безопасны.

Вопросы для самопроверки

1. Какова макро- и микроструктура древесины?
2. Какие существуют пороки древесины?
3. Какими положительными и отрицательными свойствами обладают хвойные и лиственные породы древесины?
4. Как влияет влажность на свойства древесины?
5. Какие способы защиты от загнивания и возгорания древесины вы знаете?
6. Какие конструкционные материалы из древесины вы знаете?
7. В чем различие между шпоном и фанерой?
8. Какие изделия из древесины вы бы использовали для устройства паркетных полов?
9. Приведите примеры теплоизоляционных материалов на основе древесного сырья.
10. Какие существуют виды отделки лицевой поверхности древесины?

ГЛАВА 4. МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

4.1. Общие сведения о полимерных материалах

Полимерные материалы стали широко применяться не так давно, хотя известно применение природных полимеров, таких как битумы, в качестве цементирующего и водостойкого материала при строительстве канала в Вавилоне еще за 700 лет до нашей эры. Более подробно материалы на основе битумов и дегтей рассмотрены в главе 5.

Первые искусственные и синтетические полимеры, в том числе фенолформальдегид, были получены во второй половине XIX в. С 1907 г. на их основе в США было освоено промышленное производство пластмасс, и уже в 1916 г. в больших объемах производилась первая пластмасса горячего формования – бакелит.

Первые дома из пластмасс появились в конце 20-х – начале 30-х гг. XX в. в США (рис. 4.1). «Винилайт-хаус», представленный на Чикагской выставке 1933 г., имел панели из поливинилхлорида толщиной 5 см, размером 240×70 см и полы из поливинилхлоридных плит. Для здания конторы фирмы «Васко» использовали трехслойные панели из полиметилметакрилата и пенопласта.

Заметный количественный и качественный рост производства пластмасс отмечается с 1935 г., когда был изобретен самый прочный материал на основе полимеров – стеклопластик. С 1945 г. строительные пластмассы все чаще применяют для внутренней отделки зданий и для ограждающих конструкций.

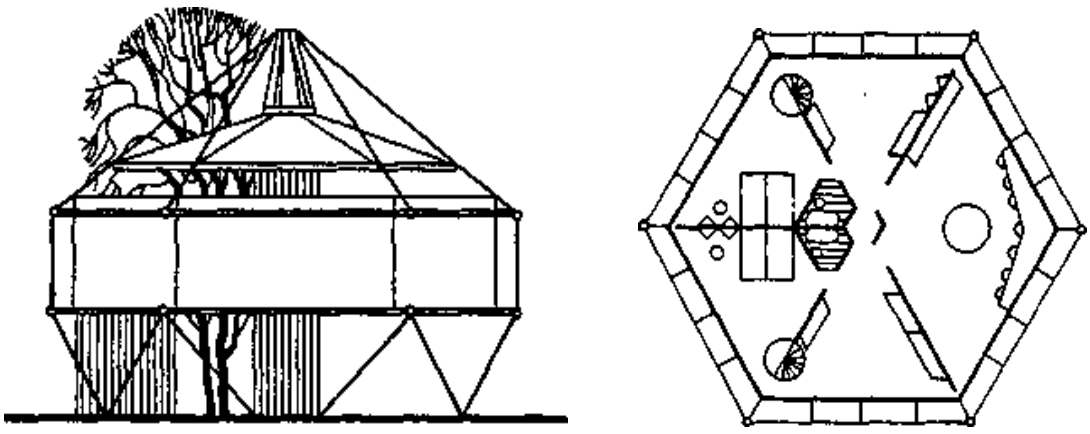


Рис. 4.1. Один из первых домов из пластмасс «Дай Мекин Хаус».
1927 г. США. Архитектор Б. Фугер

4.2. Сырье для получения полимерных материалов

Основные сырьевые компоненты для производства пластмасс – полимеры, пластификаторы, наполнители, катализаторы, стабилизаторы, красители.

По *происхождению* различают природные, искусственные и синтетические полимеры.

Природные полимеры – это в основном биополимеры (белковые вещества, природные смолы, высыхающие масла, целлюлоза). Однако в строительстве в основном используют искусственные и синтетические полимеры.

Искусственными называют высокомолекулярные полимеры, полученные путем химической модификации природных. Например, ацетилцеллюлоза, нитроцеллюлоза – продукты химических превращений природного полимера – целлюлозы, резина – продукт вулканизации природного каучука.

Синтетические полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол) получают синтезом из низкомолекулярных сравнительно простых по химическому составу веществ.

К *высокомолекулярным* соединениям принято относить вещества, молекулярная масса которых превышает 5000, к *низкомолекулярным* – вещества с молекулярной массой менее 500. Продукты синтеза с молекулярной массы до 1000 единиц, способные к дальнейшему укрупнению называют *олигомерами*.

В зависимости от способа получения *искусственные, синтетические полимеры* разделяют на две группы: полимеризационные и поликонденсационные.

При реакции *полимеризации* происходит процесс соединения молекул низкомолекулярного вещества – мономера – без изменения его химического состава и выделения побочных продуктов. Ниже приведена краткая характеристика некоторых полимеризационных полимеров, часто используемых для получения строительных пластмасс.

Поливинилхлорид получают различными методами из ацетилена и хлористого водорода. Из-за высокого содержания хлора полимер не воспламеняется и не горит. Однако при температуре 130 … 170 °С поливинилхлорид разлагается с выделением хлористого водорода. Это один из самых популярных полимеров для производства различных материалов.

Полистирол образуется в результате дегидрирования этилбензола в присутствии водяного пара. Полимер отличается высокой светопрозрачностью – до 90 %, хрупок, может разрушаться при действии некоторых органических растворителей.

Полиэтилен производят на основе газа этилена, он имеет линейное строение молекул, отличается сравнительно высокой коррозионной стойкостью, прочностью, но обладает низкой теплостойкостью (80 °С).

Полиакрилаты представляют собой полимеры акриловой, метакриловой кислот и их производных. Эти полимеры светопрозрачны и способны пропускать ультрафиолетовые лучи. Полиметилметакрилат (органическое стекло) по светопрозрачности (свыше 90 %) превосходит силикатные стекла.

Синтетические каучуки получают полимеризацией различных углеводородов. Такие полимеры состоят из гибких макромолекул, обладают эластичностью. Их прочность и теплостойкость повышают вулканизацией.

При реакции *поликонденсации* образуются высокомолекулярные соединения с выделением побочных продуктов. Например, при поликонденсации фенола и формальдегида получаются фенолформальдегидная смола и вода. Химический состав таких полимеров отличается от исходных продуктов. Для производства материалов широко применяют, в частности, следующие поликонденсационные полимеры.

Фенолальдегидные производят при поликонденсации фенолов с альдегидами, они достаточно водостойки и прочны.

Полиуретаны получают в процессе реакций с участием полиэфиров, многоатомных спиртов. Они характеризуются сравнительно высокой химической стойкостью и прочностью.

Эпоксидные полимеры отличают высокие коррозионная стойкость, прочность, незначительная усадка.

Кремнийорганические полимеры содержат в макромолекулах атомы кремния. Они обладают высокой теплостойкостью (более 400 °С), водо- и морозостойкостью, гидрофобностью. Но механическая прочность этих полимеров невысока.

Пластификаторы повышают гибкость и эластичность полимеров и тем самым облегчают условия их переработки. Их вводят в количестве 5 … 40 % по массе полимера, в зависимости от его состава и свойств.

Наполнители вводят для повышения теплостойкости, прочности, твердости, уменьшения усадочных деформаций, улучшения других эксплуатационно-технических свойств пластмасс. Применяют волокнистые (стеклянные, асбестовые, синтетические), листовые (древесный шпон, бумага, фольга), порошкообразные (древесная мука, тонкомолотые мел, из-

вестняк, тальк и др.) наполнители, а также ткани (асбестовые, стеклоткани, хлопчатобумажные).

Катализаторы ускоряют процесс отверждения полимеров и образования их структуры.

Стабилизаторы способствуют сохранению свойств пластмасс в процессе эксплуатации. Используют, в частности, термо- и светостабилизаторы, снижающие скорость окисления полимеров.

Красители используют для объемного окрашивания пластмасс. Применяют минеральные или органические пигменты, синтетические окрашивающие составы.

Кроме перечисленных сырьевых компонентов, при производстве газонаполненных пластмасс используют порообразователи.

4.3. Способы изготовления полимерных материалов

Основные технологические операции при производстве полимерных материалов – дозировка, перемешивание, формование, отделка лицевой поверхности.

Формообразование пластмасс осуществляется разнообразными способами. Основные из них – экструзионный, прессование, литье под давлением, вакуум-формование, каландрирование (рис. 4.2).

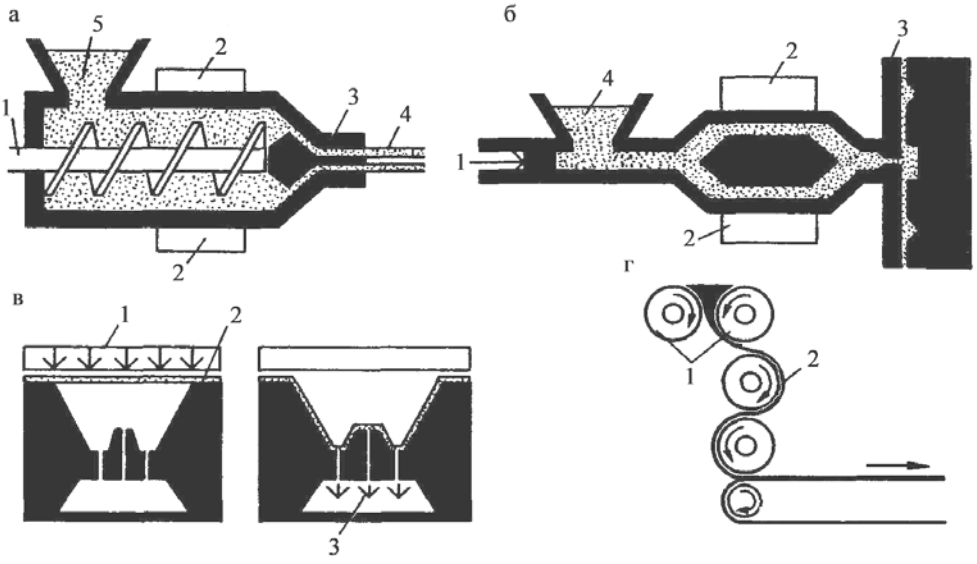


Рис. 4.2. Схемы ряда способов формования материалов из пластмасс:
а – экструзия: 1– шнек; 2 – нагреватель; 3 – формующие устройство; 4 – материал; 5 – пластмасса; б – литье под давлением: 1 – плунжер; 2 – нагреватель; 3 – форма из стали; 4 – пластмасса; в – вакуум-формование: 1 – нагреватель; 2 – лист пластмассы; 3 – вакуум; г – каландирование: 1 – вальцы; 2 – пластмасса

Экструзионный способ формования пластмасс осуществляется, как правило, с помощью шнековых экструзионных машин, куда смесь сырьевых компонентов подается в порошкообразном или гранулированном виде. Под действием нагревателей масса размягчается и выдавливается через экструзионную насадку. Таким способом формуют длинномерные (погонажные) профилированные и рулонные материалы.

Прессование производят с помощью гидравлических прессов. При этом сырьевая смесь разогревается. Таким способом формуют материалы с большим количеством наполнителя.

Литье под давлением осуществляется путем разогревания сырьевой смеси до жидкотекучего состояния в литьевых машинах и впрыскивания ее под давлением через сопло в форму. После охлаждения и затвердевания пластмассы форму раскрывают.

Вакуум-формование производят в специальных формах. Листовая заготовка при действии теплоты от нагревателей размягчается. После создания вакуума в форме лист пластмассы приобретает конфигурацию, соответствующую форме. Таким образом формуют сравнительно тонкие листовые и плитные материалы.

Каландрирование (вальцевание) предполагает прохождение полимерной смеси через зазоры между каландрами (валками). Таким способом формуют рулонные и пленочные материалы.

Полимерные композиции способны в процессе формования принимать требуемую форму и сохранять ее после снятия формующих нагрузок. Учитывая эту способность, материалы на основе полимеров называют также пластическими массами.

4.4. Основные свойства полимеров

Свойства материалов на основе полимеров непосредственно связаны с их структурой, составом и могут регулироваться в широких пределах.

Средняя плотность пластмасс колеблется в широких пределах и составляет у пористых (пенопластов) 20 … 200 кг/м^3, и у плотных (стеклопластиков) – до 2000 кг/м^3 и более. Замена металлов и силикатных материалов пластмассами значительно снижает массу конструкций, уменьшает расход материалов на их изготовление. Наибольший эффект достигается при использовании легких пенопластов в комбинированных конструкциях стен и покрытий.

Прочность пластмасс различна. Предел прочности пластмасс с порошкообразным наполнителем составляет 100 … 150 МПа. У стекловолокнистых пластмасс (стеклопластики) пределы прочности при сжатии, изгибе и растяжении могут превышать соответственно 400, 1000 и 900 МПа, т.е. быть выше, чем у материалов из стали.

Теплопроводность пластмасс зависит от их пористости: теплопроводность пенно- и пенопластов составляет 0,03 … 0,04 Вт/(м·°С), остальных – 0,2 … 0,7 Вт/(м °С). Пластмассы, наполненные минеральными или металлическими порошками, графитом, минеральными волокнами, значительно более теплопроводны, чем пластмассы, наполненные органическими наполнителями (древесной мукой, лигнином) или газами.

Водопоглощение плотных гидрофобных пластмасс составляет 0,1 … 0,5 %, высокопористых с гидрофильными наполнителями – 30 … 90 %.

Пластмассы обладают *высокой химической стойкостью* по отношению к воде, кислотам, растворам солей и органическим растворителям. Особенно стойки к коррозии пластмассы на основе полиэтилена, полиизобутилена, полистирола, эпоксидных полимеров. Химическая стойкость пластмасс позволяет использовать их для защиты от коррозии строительных конструкций, технологического оборудования, а также для изготовления коррозионностойких деталей и изделий, труб.

Истираемость ряда пластмасс, несмотря на пониженную твердость, сравнительно низкая. Это свойство особенно важно в случае применения пластмасс для устройства полов. Так, если истираемость материалов из твердых горных пород составляет 0,01 … 0,1 г/см^2, то истираемость безосновного поливинилхлоридного линолеума 0,035 … 0,05 г/см^2.

Важным положительным свойством пластмасс является *хорошая технологическая обрабатываемость*: их можно легко резать, сверлить, сваривать, склеивать, шлифовать, полировать. Способность пластмасс соединяться с другими органическими и неорганическими материалами позволяет создавать на их основе новые прогрессивные композиционные материалы и конструкции.

Пластмассы *хорошо окрашиваются* в массе в любые цвета. Хорошая окрашиваемость пластмасс по всей толщине изделия исключает необходимость дополнительных декоративных отделок изделий. Пластмассы могут с успехом имитировать такие материалы как древесина, природный камень, черные и цветные металлы. Некоторые ненаполненные пластмассы прозрачны и обладают высокими оптическими свойствами. Так, прозрач-

ность органических стекол определяется в пределах 83 … 94 % по сравнению с алмазом, прозрачность которого принята за 100 %.

Наряду с положительными свойствами пластмассы имеют ряд отрицательных.

Теплостойкость материалов на основе полимеров выражается температурой, при которой под действием определенной заданной нагрузки деформация образца пластмассы достигает известного значения. Большинство пластмасс можно эксплуатировать при температуре не выше 80 °С (полистирол, поливинилхлорид, полиэтилен), только материалы на основе кремнийорганических полимеров служат при температуре до 400·°С.

Большинство пластмасс относится к *сгораемым* материалам и при горении выделяет ядовитые газы. К легко воспламеняемым и сгораемым с обильным выделением сажи относятся полиэтилен, полистирол, производные целлюлозы. Трудносгораемыми являются поливинилхлорид, полиэфирные стеклопластики, фенопласты, которые при повышенной температуре способны лишь обугливаться. Огнестойкость пластмасс повышают добавлением антипиренов и минеральных наполнителей.

При переработке материалов содержащих полимеры и в процессе их эксплуатации внутри помещений нередко выделяются *токсичные вещества* (фенол и формальдегид из древесно-стружечных плит, растворители или пластификаторы из линолеума или плиток) из-за незавершенности процессов полимеризации (поликонденсации) или содержания летучих растворителей. Поэтому применение в строительстве новых полимерных материалов должно быть санкционировано органами санитарного надзора.

Значительный недостаток пластмасс – *высокий коэффициент термического расширения* – (25 … 120)·10^{-6} град$^{-1}$, т.е. в 2,5 … 10 раз выше, чем у стали.

Отдельные виды пластмасс склонны *к старению*, т.е. их свойства под влиянием теплоты, света со временем ухудшаются.

Деформативность пластмасс характеризуется склонностью к ползучести – необратимым деформациям при длительном действии нагрузок. При нормальной температуре модуль упругости пластмасс значительно меньше, чем у многих других материалов. С повышением температуры ползучесть пластмасс резко возрастает. Указанный недостаток ограничивает применение пластмасс в качестве конструкционного материала.

Широкое использование пластмасс породило новую экологическую проблему. Отслужившие свой срок пластмассовые изделия не вписываются в природный цикл: они не разлагаются под действием природных аген-

тов, поэтому их количество постоянно увеличивается. Вторичному использованию могут подвергаться только термопластичные полимеры. При сжигании полимеры разлагаются с выделением токсичных продуктов. Решение проблемы утилизации заключается в получении биологически разлагаемых полимеров, разработке которых в настоящее время уделяется серьезное внимание.

4.5. Область применения полимерных материалов

Материалы для **несущих** и **ограждающих конструкций** из пластмасс используют в современной архитектурно-строительной практике в широких пределах, их внедрение уже вышло за пределы экспериментального применения. Низкая огнестойкость пластмасс, высокая стоимость сырья остаются главными сдерживающими факторами. Вместе с тем, многие превосходные эксплуатационно-технические свойства некоторых полимерных материалов (малая плотность, очень высокая удельная прочность, отличные тепло-, звуко- и гидроизоляционные характеристики и др.) позволяют считать их перспективными материалами и, прежде всего, для легких ограждающих конструкций зданий и сооружений. Для несущих конструкций наиболее перспективны армированные пластмассы – стеклопластики, пластмассы, армированные углеродными волокнами, для ограждающих – легкие слоистые конструкции с комбинированным применением неорганических листовых материалов (алюминия, асбестоцемента) и эффективных жестких пено- и сотопластов типа сэндвич (рис. 4.3).

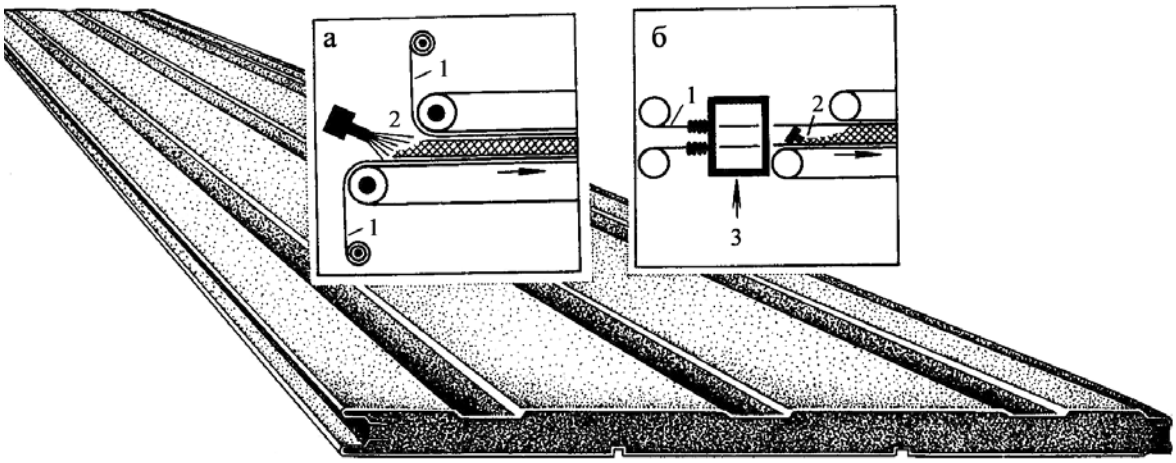


Рис. 4.3. Производство панелей типа сэндвич:
а – с плоской; б – профилированной алюминиевой обшивкой;
1 – алюминиевый лист; 2 – нанесение пенопласта; 3 – профилирующее устройство

Стеклопластики представляют собой материалы, состоящие из полимерного связующего и наполнителя – стеклянного волокна. Стеклянное волокно обеспечивает высокую прочность материала, а смола связывает отдельные волокна, распределяет усилия между ними и защищает их от внешних воздействий.

К материалам, изготавливаемым с применением полимеров и используемым в строительных конструкциях зданий, относят уже упомянутые древесностружечные, твердые и сверхтвердые древесноволокнистые плиты, древеснослоистые пластики, а также бетоны с различными полимерными добавками.

При строительстве цехов химической, пищевой, целлюлозно-бумажной промышленности возникает вопрос обеспечения коррозионной стойкости несущих и самонесущих конструкций (колонн, балок, плит перекрытий). Единственный материал, который отвечает заданным свойствам – полимербетон. Он представляет собой композиционный материал, состоящий из высокомолекулярных смол, мелкого и крупного заполнителей, тонкомолотого наполнителя и добавок.

В зависимости от вида полимерного связующего полимербетоны могут быть: фурановые, полиэфирные, эпоксидные. Бетоны, содержащие арматуру, называют армополимербетонами. Может использоваться стальная, стеклопластиковая в виде стержней либо проволоки, а также дисперсная арматура в виде равномерно распределенных волокон. В качестве дисперсной арматуры применяют короткие тонкие нити и волокна (фибры) из металла, стекла, горных пород и полимеров.

Стеклопластиковую арматуру получают путем скручивания стеклонитей в жгут, последующей его пропитки смолами и нанесения на поверхность стержней специального защитного полимерного покрытия. Стеклопластиковая арматура обладает высокой прочностью, химической стойкостью, поэтому ее используют в железобетонных конструкциях, эксплуатируемых в условиях действия растворов кислот и щелочей.

Полимербетоны обладают высокой механической прочностью при сжатии 90 … 110 МПа и растяжении 9 … 11 МПа, химической стойкостью, беспыльностью, гигиеничностью, водостойкостью.

Широко используются в качестве конструкционных материалов армированные синтетические пленки, которые являются основными материалами в тентовых и почти единственными в пневматических сооружениях. Ткани и сетки из стеклянных, полиэфирных и других прочных волокон с двухсторонним полимерным пленочным покрытием, обладающие высо-

кой прочностью и хорошей атмосферостойкостью, позволяют перекрывать в пневматических (воздухоопорных и воздухонесомых) конструкциях огромные пролеты и создавать интересные архитектурные формы (рис. 4.4).

Материалы для **покрытия полов** на основе полимеров могут быть разделены на рулонные, плиточные и мастичные. Наиболее распространенными рулонными материалами являются различные виды поливинилхлоридного линолеума, релина, ковровые материалы.

Линолеумы – плотные рулонные материалы толщиной 2 … 6 мм для покрытия полов. Длина рулона не менее 12 м, ширина до 6 м. Линолеумы выпускают без подосновы, а также на тканевой, войлочной, синтетической подосновах, одно- и многослойными. В массовом количестве выпускают поливинилхлоридные линолеумы.

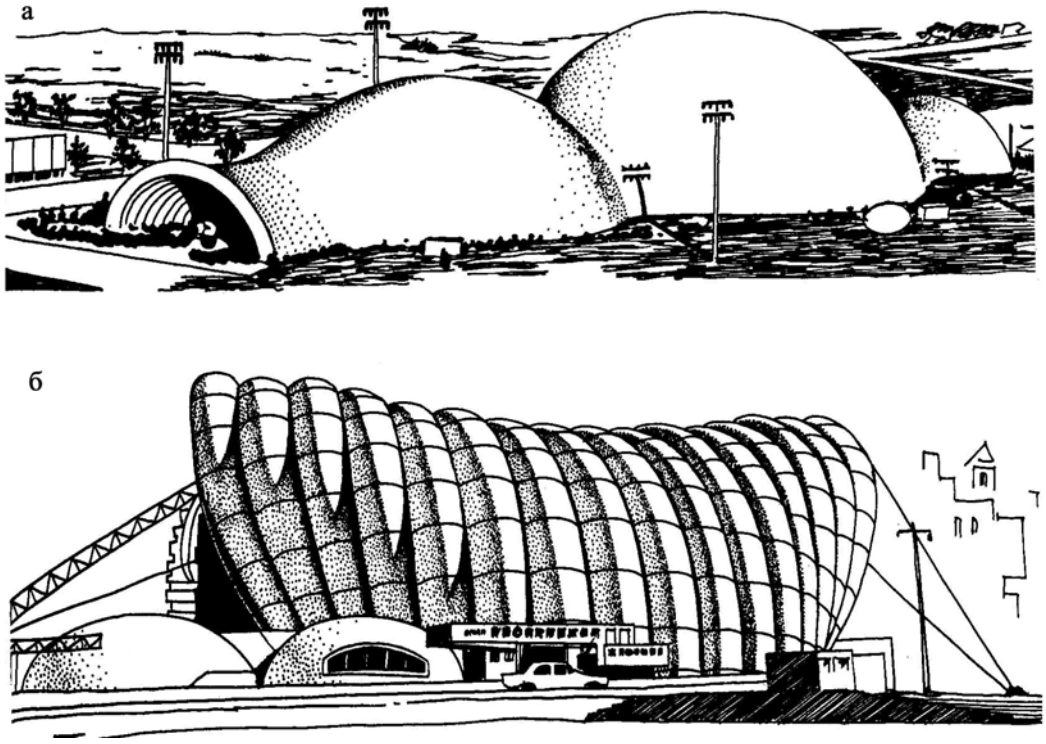


Рис. 4.4. Применение ткани с полимерным покрытием:
а – в воздухоопорном пневмосооружении; б – в воздухонесомом пневмосооружении

Линолеумы поливинилхлоридные одно- и многослойные – безосновные материалы, изготовляемые экструзионным или вальцевокаландровым способом из смеси, составляемой на основе поливинилхлоридного полимера с наполнителем, пластификатором и красителем.

Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе – материал из смеси, составленной на основе поливинилхлоридного полимера с наполнителями, пластификатором и красителем, наносимыми на тканевую подоснову способом промазывания с полимеризацией в процессе тепловой обработки.

Линолеум поливинилхлоридный на теплозвукоизоляционной подоснове – двухслойный материал, состоящий из поливинилхлоридного верхнего слоя и синтетического, войлочного либо вспененного синтетического – нижнего.

Линолеумы применяют для покрытия полов общественных, жилых и некоторых промышленных зданий (без существенных механических воздействий).

Вместе с тем название «линолеум» имеет отношение к рулонному материалу не на основе искусственных полимеров, а на основе натурального сырья – льняного масла, живицы, пробки, древесной и известняковой муки. Эти сырьевые компоненты используют, например, на предприятиях в Германии при выпуске «классического» линолеума, весьма привлекательного с экологической точки зрения.

Релин (резиновый линолеум) двух-, трехслойный рулонный материал, изготавливаемый из резиновых смесей на основе синтетических каучуков. Для нижнего (подстилающего) слоя в качестве сырья может использоваться старая дробленая резина. Лицевой слой толщиной 0,8 … 1 мм изготавливают цветным.

Релин вырабатывают шириной 1 … 1,6 м при толщине 2 … 3 мм; может изготавливаться релин на теплозвукоизолирующей пористой (пенолатексной) подоснове толщиной 5 мм. Материал характеризуется малым водопоглощением (до 1 %), износостойкостью, эластичностью, свето- и цветостойкостью, кислото- и щелочестойкостью. Релин применяют для покрытия полов в подсобных помещениях больниц и клиник, а также в лабораторных помещениях, компьютерных помещениях.

Синтетические ковровые материалы, как правило, превосходят линолеумы с эстетической точки зрения. Их изготовляют на подоснове, обычно из поливинилхлорида, полиуретана, вспененного латекса. Верхний слой ковров представляет собой тканые и нетканые покрытия из синтетического волокна. Длина ковровых материалов в рулонах 6 … 50 м, ширина от 0,7 м.

Ворсолин состоит из петельного ворса (смеси синтетических и хлопчатобумажных волокон) высотой 4 мм, закрепленного на слое поливинилхлоридной пасты, нанесенной на поливинилхлоридную пленку. Применяется для покрытия полов в помещениях общественных зданий.

Ворсонит – одно- или двухслойный материал, изготовляемый путем пропитки холстов (из полиэфиров, полиамидов и других полимеров) жидким связующим, термообработки и отделки.

Ковровое ворсовое покрытие на *вспененной латексной подоснове* производят путем нанесения на специальную синтетическую ворсовую ткань латексной пены, превращающейся в процессе вулканизации в губчатую резину толщиной 4 мм. Применяется для покрытия несгораемых оснований полов в гостиницах, библиотеках, театрах, ресторанах, детских садах и помещениях других общественных и жилых зданий с повышенными требованиями к акустическому и теплотехническому комфорту.

Тафтинговые ворсовые ковровые покрытия изготовляют из ворсовых текстурированных нитей на вспененной латексной подоснове или без нее. Материал используют для покрытий полов общественных зданий – библиотек, комнат отдыха и др.

К **плиточным материалам** относят, в основном, плитки, вырубленные из указанных выше рулонных материалов (линолеума или релина) или изготавливаемые преимущественно из вторичного сырья методом прессования.

Мастичные бесшовные покрытия получают нанесением путем полива или распыления на бетонные основания полов вязкотекучих полимерных составов с последующим отвердеванием при комнатной температуре. Толщина слоя составляет 5 … 10 мм. После затвердевания (обычно 1 … 3 сут) образуется сплошное бесшовное покрытие. Такие покрытия отличаются достаточной химической и износостойкостью, а также хорошим сопротивлением ударным нагрузкам.

В зависимости от вида полимерного компонента различают составы на водных дисперсиях полимеров (например, на поливинилацетатной дисперсии или латексах) и на жидких термореактивных олигомерах (на полиэфирных и эпоксидных смолах). Второй тип мастичных составов дает более прочное и химически стойкое покрытие.

Связующим для поливинилацетатных составов служит пластифицированная водная дисперсия с содержанием поливинилацетата не менее 50 %. Наполнителями являются молотые песок, перлит, золы ТЭС и др. Мастика наносится в 2 … 3 слоя, причем каждый последующий слой наносится после высыхания предыдущего. В целом покрытие имеет толщину 2 ... 3 мм. Мастичные поливинилацетатные полы целесообразно применять в помещениях, где предъявляются повышенные требования к его чистоте. Не следует их применять там, где ведутся мокрые процессы, возможны частые ударные нагрузки на пол, не исключена возможность попадания на пол кислот, щелочей или их растворов.

В последнее время широкое применение нашли **ламинированные покрытия,** состоящие из пластин длиной 1,2 … 2,5 м, шириной 19 … 20 см и толщиной 7 … 8 мм. Бывает ламинат и квадратной формы (38×38 или 19×19 см). Большинство «рисунков» ламинированных полов имитируют ценные породы дерева, хотя ламинат бывает не только «под дерево», но и «под камень» – мрамор, гранит. Он может имитировать металлические и гладкокрашеные поверхности. В последнее время в моду вошел ламинат с «фантастическими мотивами», орнаментами и даже изображением каких-то предметов (например, фруктов). Пластины ламината «под дерево» обычно длинные, как доски. Крупные квадраты чаще всего используют для ламинатов с «каменным» и «металлическим» декором, а мелкие – для орнаментов и других декоративных элементов. Пластины разных форм при укладке легко комбинировать.

Согласно европейскому стандарту существует шесть классов ламината – 21-, 22-, 23-, 31-, 32-, 33-й. Ламинат 21-го класса пригоден для жилых помещений с легкой нагрузкой (спальня, кабинет); 22-го – со средней (гостиная), 23-го класса – с высокой (кухня, прихожая). К 31 ... 33-м классам относят ламинаты, которые способны выдерживать нагрузки, характерные для общественных помещений. Для легких нагрузок подойдет ламинат 31-го класса (конференц-зал), для средних – 32-го (офис, классные комнаты), для высоких – 33-го класса (магазин, спортзал, бар).

Ламинат не имеет практически ничего общего ни с паркетной доской, ни со штучным паркетом. Разве только то, что основу ламината делают из отходов древесины. На белорусском рынке строительных материалов ламинированные покрытия представлены такими европейскими марками как Kronospan, Kronotex, BauMax, CLICK, HORNITEX, Tarkett, KAINDL, Classen.

Структура этого напольного покрытия напоминает многослойный пирог со слоями разной толщины, который побывал под тяжелым прессом. У каждой фирмы-производителя свои секреты его приготовления, но все «пироги» имеют, как минимум, четыре слоя: защитный верхний (прочная пленка из специальных смол); декоративный (пропитанная смолой бумага с нанесенным на нее рисунком); основной (несущая древесно-волокнистая плита высокой плотности – HDF) и стабилизирующий нижний (парафинированная или пропитанная смолой бумага) (рис. 4.5).

Верхний слой (overlay) – покрытие из меламиновой или акрилатной смолы. Оно бывает одно- и многослойным, может включать микроскопические минеральные частицы (корунд), его подвергают дополнительным видам обработки – например электронными лучами, покрывают сверху неэлектризующейся пленкой и т.п. Этот слой «отвечает» за такие свойства ламината, как абразивная устойчивость (сопротивление истиранию), невосприимчивость к пятнам, химикатам, действию солнечных лучей, устойчивость к появлению царапин и других механических повреждений.

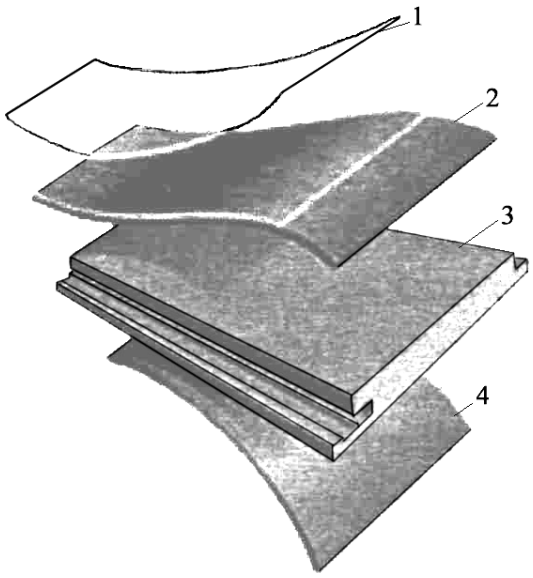


Рис. 4.5. Схема устройства ламинированного покрытия:
1 – защитный, 2 – декоративный,
3 – основной (HDF),
4 – стабилизирующий слои

Декоративный слой выделяется как отдельный элемент чисто формально, поскольку при прессовании смола верхнего слоя пропитывает бумажную картинку и образует с ней единое целое.

Основа большинства ламинатов – древесно-волокнистая плита высокой плотности толщиной 6,7 … 7,7 мм (HDF – high density flag). Она существенно отличается по своим свойствам от обычной ДВП средней плотности, которая традиционно применяется в строительстве и мебельном производстве. В зависимости от режима прессования получают либо MDF (medium density flag), либо HDF. Последняя отличается высокой механической прочностью (в частности, прочностью на излом), водостойкостью, которая в среднем в 1,5 … 2 раза выше, чем у MDF, а также меньшим содержанием формальдегидных смол. Таким образом, несущая плита ламината обеспечивает ударопрочность, устойчивость к давлению и длительным нагрузкам. Дополнительные слои служат для улучшения свойств ламината. В большинстве случаев это специальная пленка, которая находится между декоративным слоем и основой и служит для повышения ударопрочности покрытия.

Материалы для отделки стен и потолков – наиболее обширная группа полимерных отделочных материалов: листовых, плиточных, рулонных, профильно-погонажных.

К *листовым* материалам относятся декоративные бумажнослоистые пластики, жесткие поливинилхлоридные и полипропиленовые плоские и рельефные (вакуумформованные) облицовочные материалы; к *плиточным* – поливинилхлоридные, полистирольные, полипропиленовые плитки; к *рулонным* – поливинилхлоридные пленки (безосновные, на бумажной и тканевой основе), моющиеся и ворсовые обои, синтетические декоративные и отделочные ткани; к *профильно-погонажным* – рейки из жесткого поливинилхлорида для облицовки стен и перегородок, специальные профили для крепления листовых облицовочных материалов и др. Ниже рассмотрены лишь некоторые из указанных материалов.

Декоративные бумажнослоистые пластики – крупноразмерные листовые материалы толщиной 1 … 5 мм, получаемые методом горячего прессования «пакета» из нескольких (обычно 10 … 22) листов крафт-бумаги, предварительно пропитанной термореактивной (например, фенолоформальдегидной) смолой. В качестве лицевого слоя применяют пропитанную меламиноформальдегидной смолой альфа-бумагу с нанесением на нее методом печати любого рисунка.

Листы бумажнослоистого пластика выпускают размером до 1,6×3 м, они имеют гладкую зеркальную (реже матовую) поверхность, высокую твердость, теплостойкость, стойкость к действию бытовых химических агентов, характеризуются весьма малым водопоглощением и высокой прочностью на изгиб (не менее 100 МПа). Средняя плотность материала 1,4 … 1,5 г/см^3. Его легко распиливают мелкозубчатой пилой и сверлят. Применяют декоративные бумажнослоистые пластики для отделки панелей стен, лицевых и рабочих поверхностей встроенной и кухонной мебели, лабораторных столов, прилавков, облицовки лифтовых кабин, дверных полотен.

Листы жесткого ПВХ, отделанные декоративной поливинилхлоридной пленкой (или без дополнительной отделки), применяют в качестве листовых облицовочных материалов, аналогично бумажнослоистым пластикам, а также после рельефной обработки способом вакуумного формования – как облицовочные материалы для панелей стен, подвесных потолков и фасадов зданий в районах с умеренным климатом. Глубина рельефа может быть от 1 мм до 10 см, а цвет и рисунок поверхности – любыми. Вместо жесткого ПВХ могут применяться листы из полипропилена или другого термопластичного материала.

Полистирольные плитки представляют собой облицовочные материалы, изготавливаемые методом литья под давлением из гранул ударопрочного полистирола (рис. 4.6).

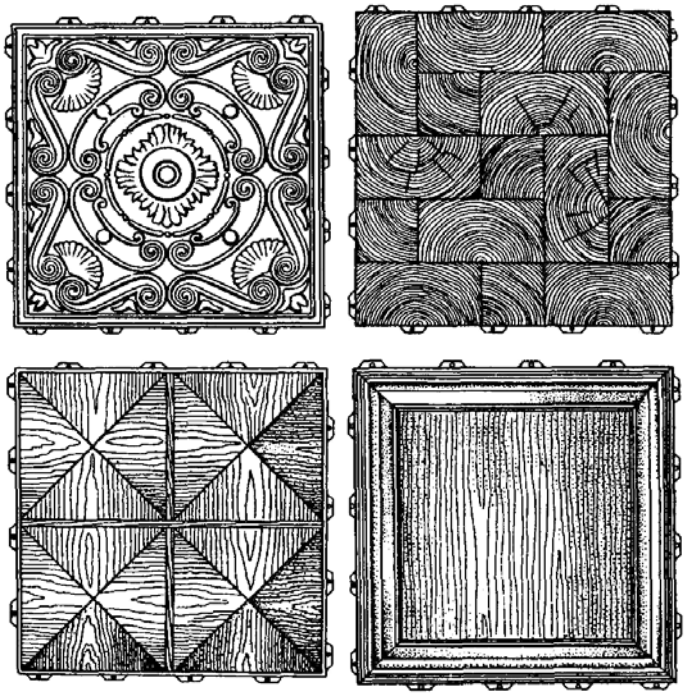


Рис. 4.6. Полистирольные плитки из ударопрочного полистирола

Плитки изготавливают различных цветов, формы и размеров (от 10×10 до 50×50 см при толщине 1,5 … 5 мм). Мелкоразмерные плитки с гладкой блестящей поверхностью применяют аналогично керамическим глазурованным плиткам для облицовки стен санитарных узлов, ванных комнат, кухонь, помещений лабораторий, лечебных учреждений и т.п. Однако в связи с невысокой термостойкостью (около 70 °С) их нельзя устраивать вблизи газовых плит и других источников нагревания. Крупноразмерные плитки с декоративным рельефным рисунком используют, в основном, для облицовки стен и потолков помещений общественных зданий.

Поливинилхлоридные пленки – это обширная группа рулонных отделочных материалов, широко применяемых в современном жилищно-гражданском строительстве для отделки стен, встроенной мебели и других поверхностей. Пленки изготавливают из пластифицированного поливинилхлорида одноцветными и с многоцветным печатным рисунком, гладкими и тисненными. На тыльную сторону пленки может быть нанесен невысыхающий клеевой слой, защищенный легко удаляемой перед применением бумагой. Пленка характеризуется высокой прочностью на разрыв (до 25 МПа), низким водопоглощением (0,5 … 1 %), другими высокими эксплуатационными и декоративными свойствами. Безосновные пленки применяют для отделки стен, встроенной мебели, дверных полотен, а также для лицевых покрытий листовых облицовочных материалов (ДВП, ДСП, сухой гипсовой штукатурки, асбестоцементных листов и др.).

Обои влагостойкие (моющиеся) выпускают на бумажной подоснове, используя для лицевого слоя синтетические лаки, эмульсии полимеров, слюды, пластификаторы, кислоты и специальный клей. Длина обоев в рулоне обычно 7 … 12 м, ширина 50 … 75 см и др.

Благодаря высокой водостойкости, водонепроницаемости полимеры широко применяются для изготовления **кровельных и гидроизоляционных материалов**. В качестве кровельных используются листовые и рулонные материалы, мастичные составы.

Среди *листовых кровельных* материалов получили распространение плоские и волнистые полиэфирные стеклопластики, а также профилированные плиты из ПВХ длиной от 2 до 13 м (рис. 4.7). Эти материалы обладают высокой прочностью, стойкостью к атмосферным воздействиям, повышенным светопропусканием. Основным назначением кровельных стеклопластиков и профилированных плит из ПВХ является устройство крыш для павильонов, веранд, холлов, складов, теплиц, оранжерей (рис. 4.8).

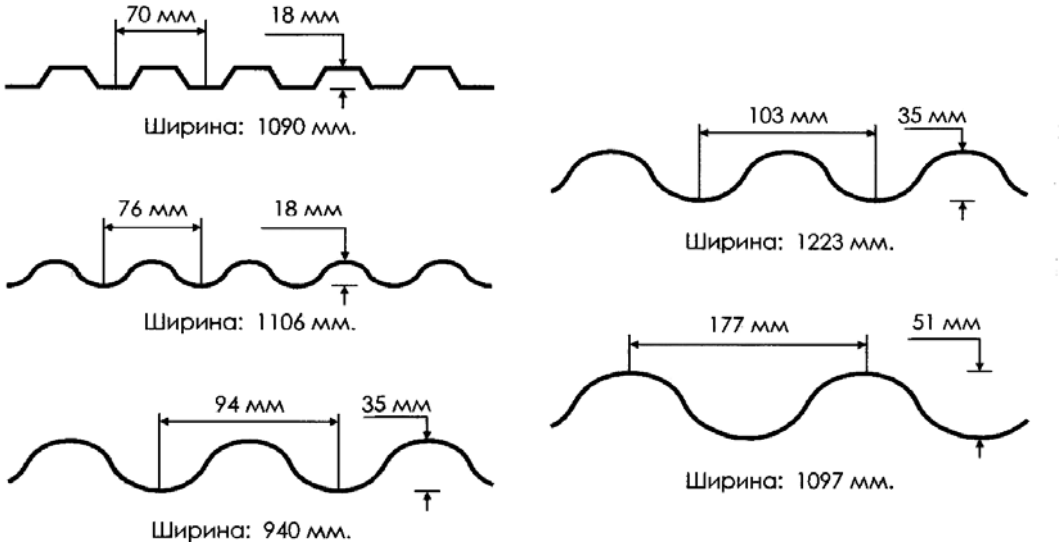


Рис. 4.7. Форматы плит из ПВХ ONDEX



Рис. 4.8. Устройство светопрозрачных кровель из профилированных плит ONDEX

К листовым кровельным материалам, широко применяемым в последнее время, относится полимерная черепица с покрытием из минеральной крошки, представляющая собой рельефные листы размером 340×1200 мм имитирующие черепицу (рис. 4.9). Полимерная черепица обладает хорошей свето- и термостойкостью, звукоизоляцией, легко пилится и сверлится.

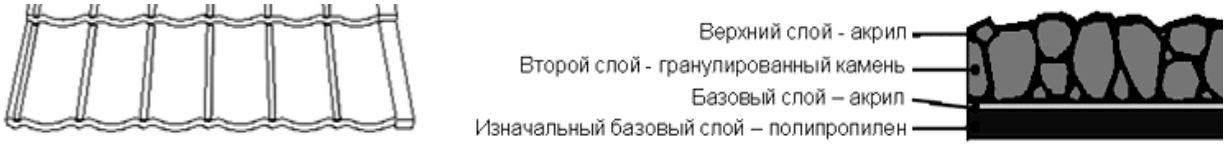


Рис. 4.9. Полимерная черепица с покрытием из минеральной крошки NORDIC TILE

Как правило, *рулонные материалы* выполняют одновременно роль кровельных и гидроизоляционных. К ним относятся армированные (стеклосеткой) и неармированные полимерные пленки, безосновные материалы, в состав которых входят резиновые смеси в сочетании с наполнителями и специальными добавками («Гидробутил», «Бутизол») или полученные на основе стеклосетки и стеклоткани с пропиткой и покрытием их с двух сторон полимерными мастичными составами («Армобитэп», «Эластостеклобит»). Для производства новых рулонных гидроизоляционных материалов используют синтетические полиамидные, полиэтиленовые волокна, соединенные синтетическими смолами, латексами.

Теплозвукоизоляционные материалы на основе пластмасс классифицируют на ячеистые (пенопласты и поропласты) и сотопласты. Они различаются по структуре, но большинство из них характеризуется общими свойствами: малой средней плотностью (10 … 250 кг/м^3), низкой теплопроводностью 0,03 … 0,05 Вт/(м·°С), невысокой для большинства материалов механической прочностью. Выпускают жесткие и эластичные газонаполненные пластмассы. Для теплоизоляции ограждающих конструкций применяют главным образом жесткие материалы, а эластичные используют в качестве звукоизолирующих подоснов линолеумов, ковров, акустических пленочных материалов, в виде вибропоглощающих прокладок и т.п.

Пено- и поропласты принято различать по структуре: в пенопластах преобладают замкнутые, изолированные друг от друга ячейки (полости), заполненные газом, в поропластах – сообщающиеся между собой. Однако такое деление весьма условное, поскольку большинство ячеистых пластмасс характеризуется смешанной структурой пор. Для сотопластов характерна, структура искусственно созданных, регулярно повторяющихся полостей

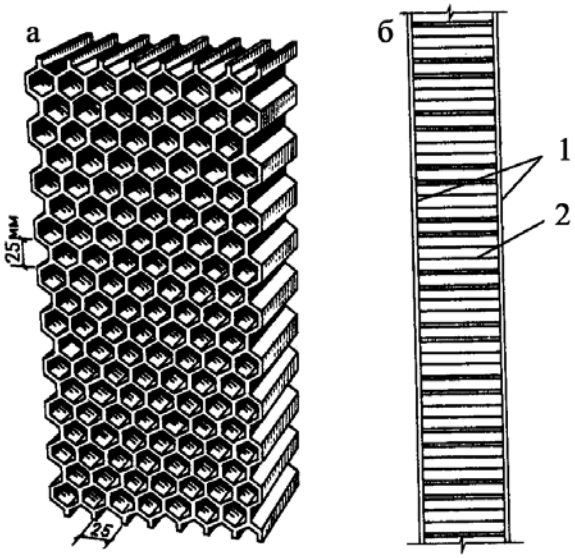


Рис. 4.10. Один из вариантов сотопласта:
а – структура бумажного сотопласта;
б – разрез трехслойной панели с сердцевиной из сотопласта;
1 – облицовка панели; 2 - сотопласт

правильной геометрической формы, образованных тонкими пластинчатыми перегородками. Наиболее распространены бумажные сотопласты (рис. 4.10), изготавливаемые из гофрированных листов бумаги, пропитанной горячей смолой, и применяемые в основном в качестве сердцевины трехслойных панелей. Вместо бумаги может использоваться стеклоткань и другие материалы.

В строительстве применяют в основном следующие виды пенопластов – пенополистирол, пенополиуретан, фенольные и мочевиноформальдегидные.

Пенополистирол – эффективный тепло- и звукоизоляционный пенопласт белого цвета, выпускают обычно в виде плит размером 1000×500×100 мм. Изготавливают его различными способами нескольких марок, отличающихся широким диапазоном свойств: средняя плотность от 10 … 15 до 200 … 220 кг/м^3, предел прочности при сжатии 0,1 … 3 МПа, теплопроводность 0,03 … 0,05 Вт/(м·°С), интервал рабочих температур от – 60 до + 60 °С. Пенополистирол характеризуется малым водопоглощением, морозостойкостью, гнилостойкостью, легко и прочно склеивается с различными материалами. Однако при применении следует учитывать его низкую теплостойкость и горючесть. Применяют пенополистирол для утепления совмещенных кровель, покрытий, стен и других ограждающих конструкций; в слоистых конструкциях он одновременно является звукоизоляционным материалом.

Пенополиуретан – один из самых эффективных пенопластов, применяемых в виде жестких плит и самовспенивающихся жидких композиций, имеет светло-коричневый цвет с желтоватым оттенком. Жесткий пенополиуретан (ППУ) сочетает высокие изоляционные свойства со значительной механической прочностью, что позволяет использовать его в качестве теплозвукоизоляционного и конструкционного материала в элементах трехслойных ограждающих конструкций (панелях стен, перегородок, плитах перекрытий и пр.). Наиболее целесообразно использовать для этой цели ранее упомянутые заливочные композиции. Гранулы полимера нагревают паром или токами высокой частоты, заливают и охлаждают до температуры 40 °С,

в результате образуется жесткий пенопласт в полостях конструкций или между листами обшивки панелей. Средняя плотность ППУ 20 … 400 кг/м^3, соответственно в широких пределах изменяется и их теплопроводность.

Основной недостаток ППУ – горючесть, причем в процессе горения выделяются отравляющие вещества. Для снижения горючести вводят специальные добавки, неорганические пористые наполнители, применяют защитные оболочки из несгораемых материалов при проектировании изделий и конструкций. Эти же меры целесообразно соблюдать при использовании других сгораемых пенопластов.

Фенолъные и мочевиноформальдегидные пенопласты – группа жестких пенопластов на основе термореактивных полимеров, отличающихся повышенной огнестойкостью. Имеют темно-красный оттенок, их средняя плотность 30 … 450 кг/м^3, теплопроводность легких пенопластов около 0,03 Вт/(м·°С). Высокой тепло- и огнестойкостью обладает фенольный пенопласт, наполненный вспученным перлитом (перлитопластбетон). Фенольные пенопласты эффективно используют в ограждающих конструкциях типа сэндвич.

Аналогичными свойствами, но несколько меньшей термостойкостью (до 100 °С), обладает мочевиноформальдегидный пенопласт – мипора. Ее применяют в виде блоков плотностью 10 … 20 кг/м^3 и теплопроводностью 0,03 … 0,04 Вт/(м·°С), для теплоизоляции кирпичных стен и трехслойных каркасных панелей. Не загораясь от воздействия открытого огня, пенопласт обугливается при 200 °С.

Санитарно-техническое оборудование и трубы из пластмасс еще одна обширная область применения новых материалов. Изготавливаемые из полистирола, полиметилметакрилата, полиэфирных стеклопластиков и других полимерных материалов, они отличаются значительно меньшей массой, чем металлические или керамические изделия, высокими эксплуатационными и эстетическими свойствами. Крупногабаритные изделия (ванны, раковины и др.) чаще прессуют из армированных термореактивных пластмасс, а более мелкие отливают из полистирола и других термопластов. Трубы из полимерных материалов широко применяют в гражданском и промышленном строительстве. Изготавливаемые методом экструзии полиэтиленовые трубы устойчивы к действию различных химических агентов, могут эксплуатироваться в интервале температур от – 50 до + 60 °С, легко обрабатываются механически и свариваются.

Погонажные материалы – изготовляемые методом экструзии цветные длинномерные, гибкие, эластичные, полужесткие и жесткие элементы различного назначения, имеющие постоянный по всей длине профиль поперечного сечения. Они отличаются достаточной эластичностью, теплостойко-

стью, малой горючестью, химической стойкостью, водонепроницаемостью, нетоксичностью, гигиеничностью, удобной функциональной формой.

Применяют их внутри помещений для обработки стыков, швов и угловых соединений элементов облицовки и для монтажа скрытой проводки в жилых, общественных зданиях.

К *погонажным поливинилхлоридным материалам относятся:* раскладки для крепления листовых и рулонных отделочных материалов, рейки стеновые, вспомогательные профили для крепления наличников, нащельники, планки солнцезащитных жалюзи, плинтусы, порожки, уголки для обработки стыков облицовочных материалов, накладки для защиты выступающих углов, торцовые раскладки для дверных полотен и встроенного оборудования, поручни, прокладки для стеклопакетов (рис. 4.11).

К погонажным материалам из ПВХ также относятся панели для внутренней отделки, подоконники, двух-, трех- и четырехкамерные профили из которых изготавливаются оконные и дверные блоки (рис. 4.12). На белорусском рынке перечисленная продукция представлена такими европейскими фирмами как: REHAU, Aluplast, KBE, VEKA, GEALAN, Montblanc, BRUGMANN AD.

Популярностью пользуется отделка фасадов одно-, двухэтажных жилых домов и общественных зданий виниловыми панелями – сайдингом (рис. 4.13).

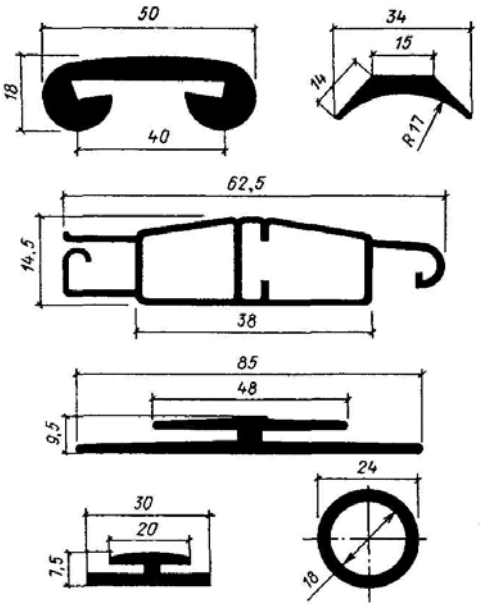


Рис. 4.11. Профили погонажных полимерных материалов

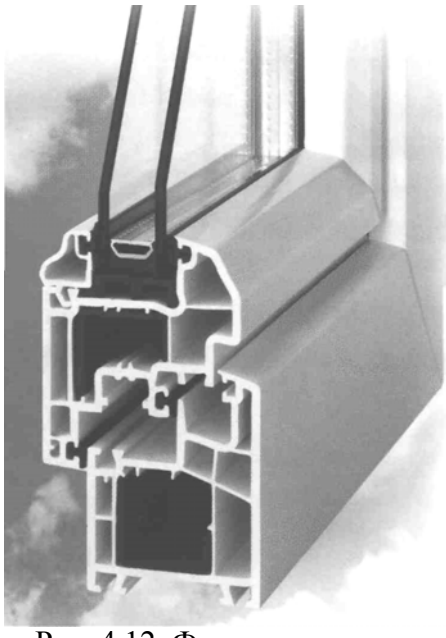


Рис. 4.12. Фрагмент оконного блока из трехкамерного ПВХ профиля



Рис. 4.13. Жилой дом до и после отделки виниловым сайдингом

4.6. Эстетические характеристики полимеров

Эстетические характеристики пластмасс весьма разнообразны. Они могут обладать практически неограниченной цветовой гаммой, включающей самые насыщенные тона. Лицевая поверхность может быть одноцветной или полихромной, цвет часто сочетается с блеском.

Эстетические характеристики связаны со структурой, составом и функциональным назначением пластмасс. Так, в многослойных поливинилхлоридных линолеумах верхний слой – ненаполненная поливинилхлоридная прозрачная пленка толщиной около 0,6 мм, на тыльную сторону которой методом многоцветной печати нанесен рисунок, а нижний более толстый слой – пленка из высоконаполненного поливинилхлорида. Обе пленки, изготовленные методом экструзии, сдублированы (соединены друг с другом) на специальных каландрах. Цветной рисунок просвечивает через верхнюю износостойкую пленку, которая защищает его от истирания. Из отходов линолеума можно изготовлять плитки различной формы.

Ковровые материалы могут быть однотонными или иметь многоцветный рисунок. Рельефная поверхность ковров создается сочетанием ворса различной высоты, комбинаций разрезного и петельного ворса (в одном материале), тиснением и другими способами. Из иглопробивных и других ковров производят прямоугольные и фигурные плитки.

Поливинилхлоридные пленки и обои могут быть одноцветными и полихромными, с различным рисунком, гладкими и тисненными.

Листы декоративного бумажно-слоистого пластика изготовляются одно- и многоцветными с одно- и двухсторонней лицевой отделкой, с гладкой глянцевой или матовой, зернистой фактурой, с любым рисунком.

На поверхности листового стеклопластика может быть отчетливо видно расположение наполнителя – хаотичное или ориентированное. По

аналогии с природным камнем как бы выявляется «текстура» пластмасс. Разнообразны цвет и рельефный рисунок у полистирольных листов (панелей) и плиток. Пластмассы предоставляют возможность имитации фактуры и рисунка любого материала, в том числе природного камня или древесины.

Внешний вид пластмасс изучают с учетом цветоустойчивости отделки, равномерности окраски и светлоты. Соответствующие измерения основываются на определении координат цвета образцов-эталонов и испытуемых образцов. При оценке цветоустойчивости устанавливают цветовые различия между образцами до и после светового облучения, при оценке равномерности окраски – между различными участками материала или изделия. Светлоту пластмасс характеризуют коэффициентом отражения. Для указанных определений используют компараторы цвета.

Изучение эстетических характеристик конструкционных и отделочных материалов на основе полимеров предусматривает учет их размеров и возможных дефектов внешнего вида. Оценку возможных дефектов внешнего вида и размеров материалов на основе полимеров проводят визуально и с помощью измерительных инструментов.

При выборе материалов для покрытия полов в зданиях различного функционального назначения широко применяют линолеумы и ковровые покрытия. Многие архитекторы и дизайнеры считают, что полы, особенно в коридоре и холлах, должны быть спокойного цвета и рисунка, нескользкие, эластичные, не требующие трудоемкого ухода. Светлые тона полов повышают их отражательную способность и непосредственно влияют на освещенность помещения. Увеличение коэффициента отражения цвета полов на 20 % повышает освещенность всего помещения на 15 %, например, при замене коричневого или синего цвета пола с коэффициентом отражения 10 % на светло-бежевый или голубой цвет с коэффициентом отражения 30 %.

Следы и пятна меньше видны на полах с рисунком, чем на однотонных, поэтому рекомендуется для полов из линолеума подбирать мраморовидные или крапчатые фактуры не слишком темные или цветные. Установлено, что загрязнение меньше всего видно на полах средней светлоты с коэффициентом отражения 20 … 40 %. Практика также показала, что на полах теплого тона (красновато-желтых и др.) пятна не так заметны, как на покрытиях холодных тонов (например, голубых той же светлоты).

В спортивных зданиях и сооружениях часто используют специальные покрытия на основе полимеров, в том числе с использованием отходов резинотехнической промышленности и др.

Эффективность многих современных несущих конструкций связана с применением полимерных материалов специального назначения – тепло- и гидроизоляционных, герметизирующих, звукопоглощающих.

В заключение следует отметить, что строительные пластмассы – сравнительно новые материалы и их восприятие человеком нередко связано с ощущением искусственного, «ненастоящего» материала. Кроме того, многие специалисты отрицательно оценивают большинство материалов на основе полимеров с экологической точки зрения – в процессе эксплуатации они могут выделять токсичные и отравляющие вещества в количестве, опасном для здоровья человека.

Вопросы для самопроверки

1. Какие виды полимеров по своему происхождению вы знаете?
2. Чем реакция полимеризации отличается от реакции поликонденсации?
3. Какие сырьевые компоненты используются для производства полимерных материалов?
4. Какими способами изготавливают материалы и изделия из пластмасс?
5. Какими положительными и отрицательными свойствами обладают полимерные материалы?
6. Что представляет собой полимербетон?
7. Приведите примеры отделочных полимерных материалов?
8. Что такое ламинат?
9. Какие эффективные теплоизоляционные материалы на основе полимеров вы знаете? Какова их структура?
10. Каким образом архитекторами и дизайнерами учитываются эстетические характеристики полимерных материалов при устройстве полов?

ГЛАВА 5. БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ВЯЖУЩИЕ, МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

5.1. Общие сведения о битумах и дегтях

Битумы и дегти относятся к полимерным вяжущим материалам. Благодаря тому, что битумы и дегти имеют черный цвет, их также называют черными вяжущими.

Битумы – органические вяжущие, состоящие из смеси высокомолекулярных углеводородов и соединений углеводородов с серой, азотом и кислородом. Битумы встречаются в природе в виде битумных горных пород и битумных озер, но в основном используют нефтяные битумы, получаемые при переработке нефти.

Дегти – органические вяжущие полутвердой и жидкой консистенции, получаемые при сухой перегонке твердых видов топлива (угля, торфа, древесины).

Несмотря на то, что применение битумов было известно давно, литературные источники длительное время почти не упоминали о битумах или асфальтах. В 1300 году итальянский путешественник Марко Поло впервые указывает на залежи «жидкого асфальта» в Баку. В 1777 году Ле Сазе дает более или менее полную классификацию асфальтов (битумов), включая в них и нефть. В России асфальты начали применять в 40-х годах XIX столетия вначале в дорожном строительстве, затем при производстве лаков, красок и гидроизоляционных материалов.

5.2. Свойства органических вяжущих

Битумы и дегти объединяет близость состава и структуры и, как следствие, сходство основных свойств. Так как органические вяжущие материалы абсолютно плотные, то их средняя и истинная плотность численно равны и колеблются в зависимости от состава от 800 до 1300 кг/м^3.

В практике строительства наибольшее применение нашли битумы. Обладая аморфным строением, битумы, в отличие от кристаллических материалов, не имеют определенной температуры плавления. Постепенный переход из твердого состояния в вязкотекучее обратим и происходит без изменения основных свойств, поэтому битумы относятся к термопластичным органическим материалам. Битумы гидрофобны (не смачиваются водой), водостойки, пористость их практически равна нулю, поэтому они водонепроницаемы и морозостойки. Эти свойства позволяют широко использовать битумы при получении гидроизоляционных и кровельных материа-

лов. Срок эксплуатации битумных изделий на воздухе невысок, так как под действием солнечного света и кислорода происходит старение битумов, сопровождающееся повышением твердости и хрупкости. В связи с этим, нефтяные битумы перевозят в закрытых емкостях или бумажных мешках и хранят в специальных закрытых складах, защищенных от действия солнечных лучей и атмосферных осадков.

Так как технология получения материалов и изделий с использованием битумов основана на их свойстве перехода при нагревании из твердого в пластичное состояние, а также учитывая условия работы кровельных материалов, для битумов согласно ГОСТа предусмотрено определение следующих **показателей:** температуры размягчения, температуры вспышки, вязкости и растяжимости.

Температура размягчения определяется на приборе «кольцо-шар», и характеризует теплостойкость и степень размягчения битумов при нагревании.

Температура вспышки газообразных продуктов, которые выделяются из битума при нагревании определятся из-за необходимости отработки безопасной технологии получения материалов и изделий с использованием битумов.

Вязкость определяют по глубине проникновения в битум иглы в течение определенного времени под действием фиксированной нагрузки при температуре испытания 25 °С (пенетрация). Вязкость выражают в градусах, причем 1° соответствует глубине проникновения иглы на 0,1 мм.

Растяжимость (дуктильность) – способность битумов вытягиваться в тонкие нити, разрывающиеся под действием приложенной растягивающей нагрузки. Растяжимость измеряют в сантиметрах.

Температура размягчения, вязкость и растяжимость битума находятся во взаимосвязи. Твердые битумы имеют высокую температуру размягчения, но малую растяжимость, т.е. относительно хрупки. Мягкие битумы размягчаются при невысокой температуре, могут сильно растягиваться – обладают большой пластичностью. Вышеперечисленные свойства битума определяют марку, условное обозначение которой включает буквы, определяющие применение битума, и цифры, характеризующие его основные свойства. Например, битумы марки БН-90/10, БНК-90/40 – битум нефтяной строительный и кровельный, температура размягчения которых 90 °С, вязкость 10° и 40°, соответственно, БНД-130/220 – битум нефтяной дорожный с температурой размягчения 130 °С и вязкостью 220°.

Битумы коррозионностойки по отношению к водным растворам многих кислот, щелочей, солей и большинства агрессивных газов, но растворяются частично или полностью в различных органических растворителях (спирте, ацетоне, скипидаре). Это свойство позволяет применять их для приготовления антикоррозионных мастик, лаков и красок.

Недостатки битума – горючесть и малый интервал температур, когда битум находится в виде твердого, но не хрупкого вещества. При понижении температуры до – 10 … – 20 °С битумы становятся хрупкими, а при температурах выше 50 … 60 °С начинают течь. С целью повышения эластичности к битуму добавляют резину, синтетический каучук и полимеры, а для повышения теплостойкости – минеральные порошки (наполнители).

Материалы на основе битума нельзя применять при действии горячей воды и жидких органическим сред (масла, растворителей, нефтепродуктов).

Дегти обладают низкой атмосферостойкостью и стареют быстрее, чем битумы. Для повышения вязкости, атмосферо- и температуростойкости в состав дегтей вводят наполнители (известняк, песок).

Дегти, в отличие от битумов, обладают сильным характерным запахом, обусловленным присутствием в них фенола и его производных. Эти вещества являются антисептиками. Поэтому деготь и материалы на его основе применяют не только для гидроизоляции, но и для защиты от гниения.

5.3. Материалы на основе органических вяжущих

Учитывая специфические свойства органических вяжущих, битумы и дегти используют для получения материалов и изделий специального назначения: гидроизоляционных, герметезирующих, антикоррозионных и дорожных.

В зависимости от условий работы строительной конструкции применяют различные виды **гидроизоляции**, а следовательно и материалы, используемые для ее выполнения.

Так для защиты от разрушения кровли, подземных конструкций, фундаментов под оборудование, железобетонных причалов, железобетонных свай применяют **окрасочную гидроизоляцию.** Ее выполняют в несколько слоев с использованием битумных, дегтевых и битумно-полимерных и резинобитумных мастик.

Мастики представляют собой пластичные вещества, получаемые смешением органических вяжущих веществ (битумов, дегтей, синтетических каучуков и полимеров) с наполнителями и пластификаторами. Наполнители (песок, известняк, асбест, тальк) снижают текучесть мастик при высоких температурах, повышают долговечность и прочность мастичных покрытий. Пластификаторы повышают эластичность мастик при низких температурах.

С целью облегчения нанесения состава на защищаемую поверхность мастику либо разогревают (горячая мастика), либо вводят органический растворитель (холодная мастика).

К недостаткам горячих мастик относится их нестабильность, большой расход энергии на производство, возможность получения ожогов рабочими при их применении, тяжелые условия труда, относительно низкие эксплуатационные свойства при атмосферных воздействиях. При работе с холодными мастиками испаряется вредный для здоровья человека растворитель.

В последние годы все большее применение находят *битумно-эмульсионные мастики*, приготавливаемые путем тонкого диспергирования расплавленного битума в воде в специальных установках с использованием ультразвуковых колебаний. Чтобы капельки битума не слипались, т.е. чтобы эмульсия была устойчива, вводят эмульгаторы (сульфитно-спиртовую барду, асидол, олеиновая кислота). При нанесении битумной эмульсии на поверхность или при испарении воды защитные оболочки эмульгатора разрушаются, и капли битума сливаются в сплошную массу.

Эти мастики не содержат токсичных растворителей, гигиеничны, взрыво- и пожаробезопасны, легко наносятся на защищаемую поверхность, в том числе влажную, методом распыления сжатым воздухом. Защитное покрытие образуется за счет испарения воды. Применяют битумно-эмульсионные мастики для устройства и ремонта кровли, наружной гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений, стен, полов при температуре не ниже 5 °С. Наносить эмульсии можно как на сухое, так и на влажное основание. Качество мастик оценивают по тем же показателям, что и битумов.

Оклеечную гидроизоляцию применяют для защиты кровли, трубопроводов, сборных и монолитных железобетонных фундаментов. Для выполнения этого вида гидроизоляции используют *рулонные основные* (рубероид, стеклорубероид, фольгорубероид, гидроизол) и *безосновные* (изол) битумные и битумно-полимерные материалы.

Основные рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы получают на стеклохолсте, стеклоткани, полиэфирном холсте, полиэфирной ткани и фольге (фольгорубероид, фольгоизол). В качестве вяжущего для пропитки основы и получения мастичного покровного состава, наносимого на поверхности с обеих сторон, используют битум, битумно-полимерные композиции: эластомерные или пластомерные, обладающие повышенной эластичностью, химической стойкостью и атмосферостойкостью. Для предотвращения склеивания материла в рулонах, а также с целью упрочнения и защиты его поверхности от действия температуры, ультрафиолетовых лучей и механических повреждений применяют посыпки: (пылевидную, мелкозернистую, крупнозернистую), металлическую фольгу и полимерную пленку.

В зависимости от технологии укладки рулонных материалов они могут быть *приклеиваемыми* к основанию с помощью специальных мастик и

наплавляемые. Последние имеют утолщенный слой покровного состава с нижней стороны рулона, который для приклеивания разогревают, придавая клеящую способность, газовой горелкой (рис. 5.1). Основные изготовители рулонных наплавляемых материалов это – СП ОАО «Кровля» (Беларусь) и компания «ТехноНИКОЛЬ» (Россия). ОАО «Кровля» выпускает следующие наплавляемые рулонные материалы: кровляэласт, биполикрин. Компания «ТехноНИКОЛЬ» – техноэласт, экофлекс, унифлекс, бикрост.



Рис. 5.1. Наплавление рулонных материалов с помощью пропановой горелки на основание

При использовании в качестве основы пропитанного битумом картона и битумного покровного состава получают рубероид. Пергамин получают также на основе картона, пропитанного битумами. В отличие от рубероида он не имеет покровного слоя битума и посыпки. Пергамин применяют в качестве подкладочного материала под рубероид при укладке на горячих мастиках, а также для устройства пароизоляции.

Качество рулонных материалов оценивают по гибкости на брусе определенного радиуса при нулевой и отрицательной температурах, теплостойкости, разрывной силе при растяжении и водопоглощению.

Для устройства покрытий на скатных кровлях применяют листовые и плиточные материалы, такие как еврошифер и битумная черепица. *Еврошифер* представляет собой волнистые упругие листы, отформованные из целлюлозных волокон, пропитанных битумом (рис. 5.2). С лицевой стороны листы покрыты защитно-декоративным красочным слоем на основе термореактивного полимера и светостойких пигментов. Поставляется еврошифер в республику под следующими торговыми марками: GUTTA, ONDULIN, AQUA Line.

Битумную черепицу получают на основе стеклохолста или асбестового картона, пропитанного битумом (рис. 5.3). На нижнюю поверхность нанесен самоклеющийся слой из резинобитумного состава, обеспечивающий абсолютную герметичность кровли за счет его разогрева и частичного расплавления солнечной энергией. Верхнее мастичное покрытие защищено каменными высевками определенного размера и цвета. В Беларуси черепица представлена такими марками как: KATEPAL, ATLAS, IKO, TEGOLA, Шинглас.



Рис. 5.2. Еврошифер

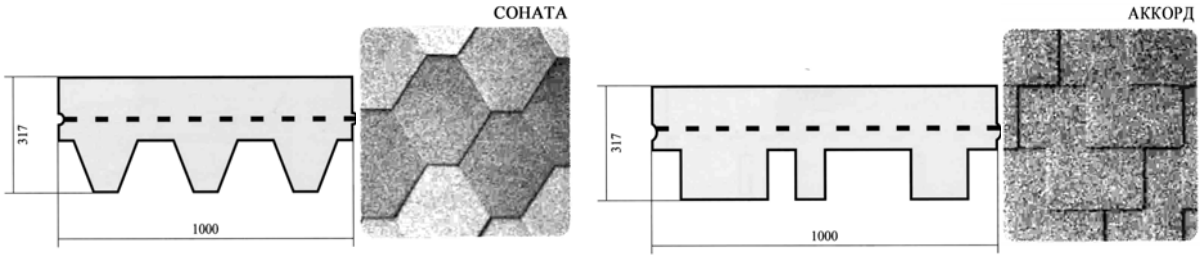


Рис. 5.3. Битумная черепица Шинглас производства ТехноНИКОЛЬ

Дегтевые рулонные кровельные материалы получают пропиткой с покрытием кровельного картона каменноугольными или сланцевыми дегтевыми продуктами без посыпки или с посыпкой минеральной крошкой с одной или с двух сторон. В зависимости от вида посыпки и назначения дегтевые кровельные материалы подразделяют на толь кровельный с крупноразмерной посыпкой и толь кровельный с песочной посыпкой.

Толь быстро стареет под действием солнечных лучей, поэтому его используют для устройства кровель временных сооружений. В тоже время в качестве материала для гидро- и пароизоляции благодаря антисептическим свойствам дегтя толь предпочтительнее пергамина.

Обмазочную гидроизоляцию выполняют из асфальтовых штукатурок. Рекомендуется она для жестких, недеформируемых горизонтальных и вертикальных бетонных поверхностей. В состав асфальтовых штукатурок, которые могут быть холодными и горячими, входят соответственно: битумная эмульсионная паста или разогретый битум, наполнитель и кварцевый песок. Битумная паста представляет собой густую сметанообразную

массу, получаемую интенсивным механическим измельчением битума в воде в присутствии неорганического эмульгатора (извести), повышающего ее однородность и стабильность.

Для заполнения различных по конструкции и назначению швов с целью придания им монолитности, защиты от промокания и промерзания применяют эластичные **герметизирующие** битумные и битумно-полимерные мастики (герметики) с добавлением резиновой крошки. Примером герметизирующих мастик могут служить битумно-резиновая – резопласт, состоящая из резиновой крошки, битума, полимерного компонента, пластификатора и битумно-бутилкаучуковая, включающая битум в сочетании с бутилкаучуком, тальком и пластификатором. Герметизирующие битумные материалы должны удовлетворять следующим требованиям: быть гибкими и упругими; влаго- и газонепроницаемыми; обладать атмосферостойкостью и антикоррозионными свойствами; сохранять физико-химические и физико-механические свойства в процессе эксплуатации; иметь прочное сцепление с материалом конструкции; не выделять токсичных веществ.

Материалы на основе битумов применяются в качестве антикоррозионных составов для металлических, бетонных, железобетонных конструкций. Защитное покрытие может выполняться из лакокрасочных материалов на основе битумов (лаки и эмали), в виде оклейки рулонными материалами или штукатурки (обмазки). Несмотря на недостатки покрытий (медленное твердение, низкая тепло-, морозостойкость) доступность и относительно низкая стоимость битумов способствует широкому применению антикоррозионных составов на их основе.

Асфальтобетоны и растворы являются важнейшими материалами для устройства дорожных и аэродромных покрытий, полов на промышленных предприятиях, ирригационных каналов, плоских кровель.

Асфальтобетон – искусственный строительный материал, получаемый в результате отвердевания уплотненной асфальтобетонной массы, состоящей из тщательно перемешанных компонентов: щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Асфальтобетон без крупного заполнителя называют *асфальтовым раствором.* Наполнители и заполнители предварительно сушат, а затем смешивают с битумом. Воды в составе таких растворов и бетонов нет.

Различают горячие, теплые и холодные асфальтобетоны. *Горячие* асфальтобетоны готовят из тугоплавкого битума и укладывают при температуре не ниже 130 °С, *теплые* – на битумах пониженной вязкости; их тем-

пература при укладке – 40 … 100 °С. Отвердевают такие асфальтобетоны в результате охлаждения битума. *Холодные* асфальтобетоны готовят с применением органических растворителей или на битумных эмульсиях и укладывают при температуре окружающего воздуха не ниже 5 °С.

По технологическим признакам асфальтобетонную массу подразделяют на жесткую, пластичную и литую. Для уплотнения жестких и пластичных масс применяют тяжелые и средние катки. Литую асфальтобетонную массу уплотняют специальными валиками, легким катком или вовсе не уплотняют.

Качество асфальтобетонного покрытия оценивают по прочности, износостойкости и водостойкости. Технические свойства асфальтобетона значительно изменяются в зависимости от температуры. При обычной температуре (20 ... 25 °С) он имеет упругопластичные свойства, при повышенных – вязкопластичные, а при пониженных температурах становится хрупким. В связи с этим испытания механической прочности проводят при температурах 0, 20, 50 °С при постоянной скорости подачи нагрузки. В зависимости от температуры прочность на изгиб соответственно равна 1,0 … 1,2 МПа, 2,5 … 3 МПа и 10 … 15 МПа.

Отличительной особенностью асфальтобетона является его способность к вязкому сопротивлению ударным воздействиям и износу. Установлено, что в условиях движения городского транспорта износ составляет от 0,2 до 1,5 мм в год. Так как асфальтобетон чувствителен к колебаниям температуры внешней среды, то в нем постоянно происходят структурные изменения, приводящие к разрушению покрытия. Особенно интенсивно деструктивные процессы происходят при резкой смене температур. Процесс этот ускоряется действием воды и старением самого органического вяжущего.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличаются битумы от дегтей?
2. Какими положительными свойствами и недостатками обладают битумы и дегти?
3. По каким показателям оценивается качество битумов?
4. Какие виды гидроизоляции с применением битумов вы знаете?
5. Какими положительными свойствами должны обладать гидроизоляционные материалы на основе битумов?
6. Какие битумные материалы применяют для гидроизоляции кровель? Назовите их.
7. Где применяют асфальтобетоны и растворы?

ГЛАВА 6. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

6.1. Общие сведения о лакокрасочных материалах

Лакокрасочными материалами называют вязкожидкие составы, наносимые на поверхность конструкции тонким слоем, который через несколько часов отвердевает и образует пленку, прочно сцепляющуюся с основанием.

К лакокрасочным материалам относятся: 1) грунтовки и шпаклевки для подготовки поверхности к окраске, нанося их, получают однородные и ровные поверхности; 2) красочные составы (краски) применяемые в вязкожидком или пастообразном виде, образующие покрытия нужного цвета; 3) связующие вещества и пигменты, из которых изготавливают красочные составы; 4) лаки, создающие пленку, отличающиеся блеском; 5) растворители и разбавители лаков и красок; 6) пластификаторы, отвердители полимерных красок.

Применяют лакокрасочные материалы для архитектурной отделки фасадов зданий, для отделки помещений и создания необходимых санитарно-гигиенических условий, предохранения конструкций от разрушительных воздействий среды.

6.2. Основные компоненты красочного состава

Связующие вещество – главный компонент красочного состава, который определяет консистенцию краски, прочность, твердость и долговечность образующейся пленки. Связующие выбирают с учетом прочности его сцепления (адгезии) с основанием.

Связующими (пленкообразующими) веществами в красочных составах являются следующие материалы: полимеры – в полимерных красках, лаках, эмалях; каучуки – в каучуковых красках; производные целлюлозы – в нитролаках; олифы – в масляных красках.

Полимеры применяют в красках и лаках вместе с растворителем, а также в сочетании с олифой. Применение синтетических полимеров значительно сократило расход растительных масел на приготовление красок.

Защитные свойства лакокрасочного покрытия по отношению к металлу, бетону или другому материалу зависят как от связующего, так и от пигмента (алюминиевый пигмент замедляет коррозию стали, а малярная сажа ее ускоряет).

Пигменты представляют собой тонкие цветные порошки, нерастворимые в связующем веществе и растворителе. От пигмента зависит цвет, долговечность лакокрасочного покрытия. Введение пигмента позволяет уменьшить усадочные деформации пленки при ее твердении и колебании влажности окружающей среды.

Различают неорганические и органические пигменты. Неорганические пигменты состоят из оксидов и солей металлов различного цвета. Органические пигменты – это малярная сажа, графит, синтетические красящие вещества, обладающие высокой красящей способностью. К ним относятся пигменты: желтый и оранжевый, алый, голубой.

Пигменты бывают природные (мел, охра, железный сурик) и искусственные, получаемые путем химической переработки сырья (белила, кроны, ультрамарин, малярная лазурь).

Пигменты характеризуются химическим составом, красящей способностью, укрывистостью, маслоемкостью, дисперсностью, свето- и атмосферостойкостью, химической и антикоррозионной стойкостью. *Химический состав* обуславливает цвет, коррозионную и химическую устойчивость. *Красящая способность* – это свойство пигмента передавать свой цвет белому пигменту. *Укрывистость* – способность краски закрывать первоначальный цвет при равномерном нанесении на поверхность. Укрывистость характеризуется количеством пигмента в граммах на 1 $м^2$ окрашиваемой поверхности. *Маслоемкость* характеризуется количеством (в граммах) олифы, необходимым для превращения 100 г пигмента в пастообразное состояние. Чем меньше олифы требует пигмент для получения красочной пасты, тем выше стойкость красочного покрытия и больше укрывистость пигмента.

Дисперсность (тонкость помола частиц пигмента) оказывает значительное влияние на его укрывистость и красящую способность. Размеры частиц пигмента не должны превышать толщину пленки красочного покрытия во избежание шероховатостей и неровностей. Наибольшая укрывистость пигмента достигается при измельчении в пределах 0,2 … 10 мкм. Полифракционный состав пигмента позволяет получить плотное красочное покрытие при минимальном расходе связующего вещества.

Светостойкость – свойство сохранять свой цвет при действии ультрафиолетовых лучей. *Атмосферостойкость* – способность пигмента, не изменяя цвета, длительное время противостоять воздействию атмосферных факторов: воды, кислорода, сернистых и других газов, попеременному увлажнению и высыханию, нагреванию и охлаждению.

Химическая стойкость – способность не изменять первоначального цвета под воздействием щелочей и кислот. Щелочестойкими являются почти все природные пигменты, а также многие искусственные (титановые белила, оксид хрома, органические пигменты: алый, оранжевый). Для изготовления специальных кислотостойких красок применяют только кислотостойкие пигменты (графит, титановые белила, оксид хрома). *Антикоррозионная стойкость* – способность пигмента образовывать покрытие, защищающее сталь от коррозии. Антикоррозионными свойствами обладают: алюминиевая пудра, цинковые белила, цинковые и свинцовые кроны, свинцовый и железный сурик.

Растворители применяют при изготовлении полимерных и каучуковых красок, лаков, эмалей. Способностью растворять полимеры, каучуки и масла обладают углеводородные продукты: ацетон, скипидар, бензол, уайт-спирит, сольвент, комбинированный растворитель Р-4.

Разбавители не растворяют пленкообразующие вещества и предназначены для уменьшения вязкости красочного состава, т.е. для лучшей удобонаносимости краски. Роль разбавителя выполняет олифа, добавляемая в густотертую масляную краску, или вода, вводимая в водоэмульсионный красочный составов.

6.3. Полимерные красочные составы

Красочные составы на основе полимеров представлены полимерными и полимерными эмульсионными красками. **Полимерные краски** представляют собой суспензию пигмента в растворе полимера или перхлорвиниловой смолы. К хорошо зарекомендовавшим в качестве фасадных красок относятся: кремнийорганические эмали, перхлорвиниловая, эпоксидно-полиамидная, каучуковая краска. Эти краски обладают высокой атмосферостойкостью (10 … 12 лет), их можно очищать от пыли, промывая водой, они непроницаемы для капельно-жидкой воды, но пропускают водяной пар из помещения.

Каучуковые краски представляют собой дисперсию хлоркаучука в летучем растворителе с пигментом. Они отличаются высокой водостойкостью. Применяют их для защиты от коррозии металлических и бетонных материалов. Пленка краски обладает высокой эластичностью и не разрушается при деформации конструкций.

Полимерная краска содержит растворитель (30 … 50 % по массе). При испарении растворителей их пары огнеопасны и вредны для здоровья людей. Более безопасными и экономичными являются эмульсионные красочные составы на основе полимеров, не содержащие летучих растворителей.

Полимерной эмульсионной (латексной) краской называют красочный состав из двух несмешивающихся жидкостей в которых частицы одной жидкости (дисперсная фаза) распределены в другой жидкости (дисперсионная среда). Для обеспечения устойчивой, не расслаивающейся эмульсии при изготовлении вводят эмульгатор.

Эмульсионные красочные составы типа «полимер в воде» содержат полимер, диспергированный в воде, в виде мельчайших глобул. Кроме пленкообразующего вещества (синтетической смолы или каучука) и воды, красочный состав содержит эмульгатор, пигмент и добавки. Эмульсионные краски обычно поставляют в виде пасты, которую на месте применения разбавляют водой до малярной консистенции.

Эмульсионные краски образуют гладкое матовое покрытие, свето- и водостойкое. Благодаря своей пористости покрытие газопроницаемо. Краски нетоксичны, пожаро- и взрывобезопасны. Их применяют для наружных и внутренних малярных работ. Пример: поливинилацетатная, акриловая краска.

Поливинилацетатную краску, состоящую из пигментированной водной дисперсии поливинилацетата, применяют для окраски бетона, штукатурки, древесины, ДВП.

Акриловые краски, отличающиеся высокой атмосферостойкостью, применяют преимущественно для отделки фасадов, а также влажных помещений. Эти краски имеют широкую цветовую гамму.

6.4. Лаки и эмалевые краски

Лаками называют красочные составы в виде дисперсии пленкообразующего вещества (природной или синтетической смолы, битума, олифы) в летучем растворителе. Кроме того, лак содержит пластификатор, отвердитель.

Битумный (асфальтовый) лак – коллоидный раствор битума в летучем растворителе. Имеет черный цвет и применяется для антикоррозионного покрытия металлических деталей.

Битумно-масляные лаки по составу аналогичны битумным, но с добавкой растительного масла, сохраняющего эластичность покрытия на морозе и замедляющего его старение.

Спиртовые лаки – растворы полимеров в спирте, отличаются коричневым или желтым цветом. Их применяют для покрытия древесных, металлических и стеклянных материалов.

Нитролаки получают, растворяя производные целлюлозы в органических растворителях. Состав быстро высыхает и образует пленку коричневого или желтого цвета (этилцеллюлозный лак бесцветен). Эти лаки

обычно используют для покрытия древесных материалов. Огнеопасны и выделяют вредные пары растворителя.

Смоляные лаки представляют собой синтетическую смолу, диспергированную в органическом растворителе. Используются для окраски паркетных полов, ДСП, фанеры, столярных изделий. Для лакировки деталей из цветных металлов и дерева применяют алкидный лак.

Масляно-смоляные лаки выпускают для наружных работ и покрытий древесных материалов в интерьерах.

Эмалевой краской (эмалью) называют композицию из лака и пигмента. Пленкообразующими веществами в эмалевых красках являются полимеры – глифталевые, перхлорвиниловые, синтетические смолы. Строительные эмали из глифталевых смол используют для внутренних отделочных работ по штукатурке и дереву. Нитроглифталевые и пентафталевые эмали применяют для внутренних и наружных малярных работ.

Перхловиниловые эмалевые краски водостойки, и их применяют для наружной отделки.

Битумная эмалевая краска стойка к действию воды, поэтому ее используют для окраски санитарно-технического оборудования, стальных оконных рам и решеток.

6.5. Олифы и масляные краски

Олифы – пленкообразующие вещества на основе жидких растительных масел или алкидных полимеров, модифицированных растительными маслами. Все олифы – олигомерные продукты. По составу и технологии приготовления олифы могут быть: натуральные, полунатуральные (олифы-оксоль) и алкидные.

Натуральную олифу получают из ненасыщенных растительных масел (льняного и конопляного) путем окисления или полимеризации.

Полунатуральную олифу получают более глубокой окислительной полимеризацией растительных масел до образования вязкой жидкости. Ее растворяют уайт-спиритом в соотношении 1:1. Данный вид олифы производится как из льняного или конопляного масла (марка В), так и из подсолнечного, соевого (марки ПВ, СМ). Краски на олифе-оксоль менее долговечны и дают более хрупкую пленку, чем краски на натуральной олифе.

Алкидные олифы представляют собой растворы низковязких жирных алкидных смол (60 … 65 % масла) в уайт-спирите. Их выпускают двух типов: глифталевая (ГФ) и пентафталевая (ПФ). По атмосферостойкости алкидная олифа почти не уступает натуральной, а по физико-механическим показателям пленки во многом превосходит ее. При этом расход пищевых

масел в таких олифах минимальный. В строительстве в основном используют алкидные олифы для красок и в качестве пластификатора в мастиках и замазках.

Масляные краски выпускают в виде однородных суспензий, в которых каждая частица пигмента окружена адсорбированным на ее поверхности связующим веществом – олифой. Изготавливаются путем тщательного растирания олифы с пигментом и наполнителем.

Выпускают густотертые и жидкотертые масляные краски. Густотертые в виде паст с последующим добавлением олифы. Жидкотертые выпускают готовыми к употреблению с содержанием олифы 40 … 50 %.

Масляные краски применяют с учетом вида олифы и пигмента, входящих в их состав. Краски на натуральной олифе используют для защиты стальных конструкций мостов и гидротехнических сооружений, стальных опор, для окраски оконных переплетов, полов с целью предохранения древесины от увлажнения.

Свойства лакокрасочного покрытия *после высыхания* характеризуются, в частности, степенью адгезии (прочностью сцепления с отделываемой поверхностью), твердостью, прочностью при изгибе (изгибают металлическую пластину с лакокрасочным покрытием).

Большое значение имеет долговечность лакокрасочного покрытия. Срок службы при наружной отделке в городских условиях часто весьма ограничен, например, у масляных красок 3 … 5 лет.

При оценке внешнего вида полимерных лакокрасочных покрытий после сравнительно длительной эксплуатации в атмосферных условиях фиксируют следующие возможные виды разрушений: потерю блеска, изменение цвета, белесоватость (появление белого налета), загрязнения, меление (образование на поверхности пигментированного покрытия свободных частиц пигмента), выветривание (износ слоя покрытия вплоть до обнаружения грунта или подложки), растрескивание, отслаивание, пузыри.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое лакокрасочные материалы?
2. Какие материалы относятся к лакокрасочным? Назовите их.
3. Перечислите основные компоненты красочного состава.
4. По каким показателям характеризуется качество пигмента?
5. В состав каких красок входят лаки и олифы?
6. В чем отличие между полимерными и полимерными эмульсионными красками?
7. Где применяются эмульсионные, эмалевые и масляные краски?

РАЗДЕЛ 3. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К неорганическим относятся материалы из природного камня, керамика, стеклорасплавы, металлы, материалы на основе минеральных вяжущих.

ГЛАВА 7. МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

7.1. Общие сведения о материалах из природного камня

Материалы из природного камня получают путем добычи и обработки горных пород. Наиболее древние сооружения, сохранившиеся до наших дней, построены из природного камня. Мегалитические культовые сооружения – менгиры, состоящие, как правило, из одного блока; дольмены и кромлехи – явились первыми зданиями, имеющими внутреннее пространство, масштаб, ритм. Знаменитый кромлех Стоунхендж в Великобритании у г. Солсбери построен от 1900 до 1400 г. до н.э. (рис. 7.1). Чаще всего для известных мегалитических построек использовали примитивно обработанные блоки из известняка или песчаника.

На протяжении тысяч лет основными зданиями из природных каменных материалов были монументальные культовые сооружения, где масса преобладала над внутренним пространством.

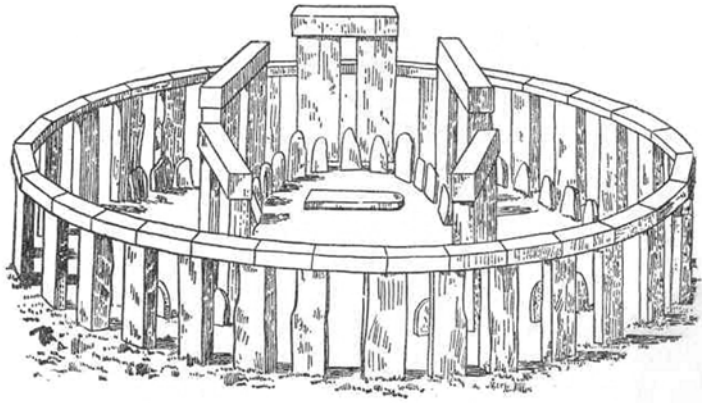


Рис. 7.1. Кромлех в Стоунхендже (реконструкция), Великобритания

В Древнем Египте добывали гранит, диорит, базальт, порфиры, известняк, песчаник, которые использовали для строительства. Интерьер, и внешний облик египетских храмов и гробниц предельно лаконичны, массивны и монументальны (рис. 7.2). Наиболее известен комплекс пирамид близ Гизы (рис. 7.3). Самая большая пирамида Хеопса высотой более 140 м со стороной квадратного основания 233 м.

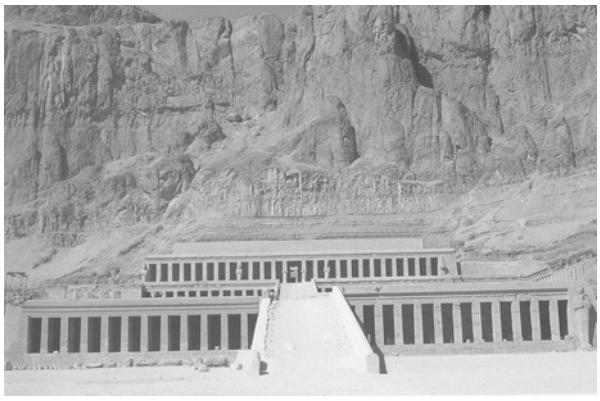


Рис. 7.2. Храм царицы Хатшепсут в Дейр-эль-Бахри

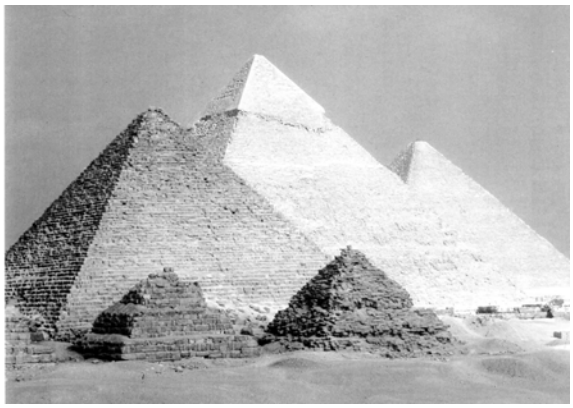


Рис. 7.3. Комплекс пирамид в Гизе фараонов Хеопса, Хефрена и Микерина

В каменной архитектуре Древней Греции храмы господствуют над окружающим пространством, они имеют четкое разделение несущих и несомых элементов (рис. 7.4). Размеры и пропорции ордера связывались со свойствами природного камня. Древние греки разработали архитектонику каменной стены, расчленив ее на блоки и подчеркивая швы. Размеры блоков из природного камня зависели от размеров сооружения и места их размещения (более крупные блоки укладывали в основание стен). Стоечно-балочные конструкции античной Греции нашли применение в архитектуре последующих столетий.

В Древнем Риме строили монументальные общественные здания – термы, амфитеатры, базилики (рис. 7.5). Решая задачу перекрытия больших пространств, древнеримские зодчие стали применять искусственный камень – бетон, а природный камень использовали как отделочный облицовочный материал.



Рис. 7.4. Парфенон, Афинский Акрополь, Греция, 447 – 438 гг. до н.э.



Рис. 7.5. Вид на Колизей с улицы императорских форумов, Рим, I в н.э.

Нельзя не отметить среди огромной картины древней мировой архитектуры из природного камня творения мастеров Древней Руси. Успенский собор Кремля – яркий пример русского храма из белого тесанного камня (рис. 7.6).

Многие специалисты в области архитектуры считают готику вершиной зодчества из природного камня (рис. 7.7). Желание средневековых зодчих преодолеть недостатки природного камня как конструкционного материала привело к созданию очень сложных конструкций и объемных решений. Так, вертикальная направленность готических соборов явилась не только отражением религиозного стремления к небу, но и требованием учитывать свойства материала, причем строительство этих соборов длилось многие годы. Дальнейшее развитие архитектуры из природного камня, в том числе в эпоху Ренессанса, связано с переходом к более простым формам.



Рис. 7.6. Успенский собор, Москва, 1475 – 1479 г.

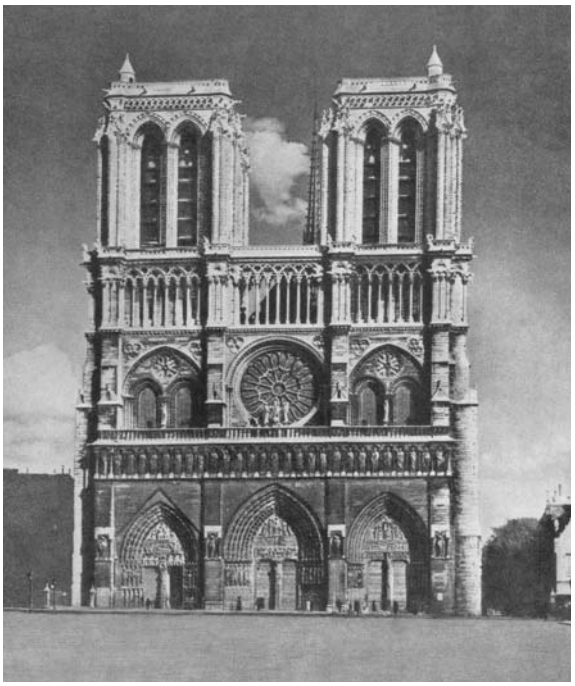


Рис. 7.7. Собор Парижской Богоматери, Париж, XII – XIII вв.

7.2. Классификация горных пород

Добыча горных пород может вестись открытым, подводным или подземным способами. Открытым способом разработка породы ведется в карьерах. В зависимости от прочности породы добыча может осуществляться механическим способом при помощи экскаваторов и бульдозеров в случае слабых (осадочных) пород, или буровзрывным способом при разработке прочных магматических пород. При подземном способе добыча ведется в каменоломнях с использованием специальных машин и механизмов. Каменные глыбы или блоки с места добычи поступают на камнеобрабатывающие предприятия для переработки. В зависимости от области

применения полученного материала (его назначения) горные породы подвергают распиловке, раскалыванию, шлифовке, полировке, а также дроблению, измельчению, просеиванию.

Для производства материалов из природного камня используют горные породы, состоящие из одного природного минерала (вещества, примерно однородные по химическому составу и физическим свойствам) – мономинеральные или, как правило, включающие в свой состав несколько минералов – полиминеральные. Форма, размеры и взаимное расположение минералов в горной породе обуславливают ее структуру. В свою очередь минералогический состав и структура определяют свойства горной породы.

По происхождению горные породы разделяют на три основные группы: магматические (изверженные), осадочные (вторичные) и метаморфические (видоизмененные). Эта генетическая классификация и примеры горных пород представлены на рис. 7.8.

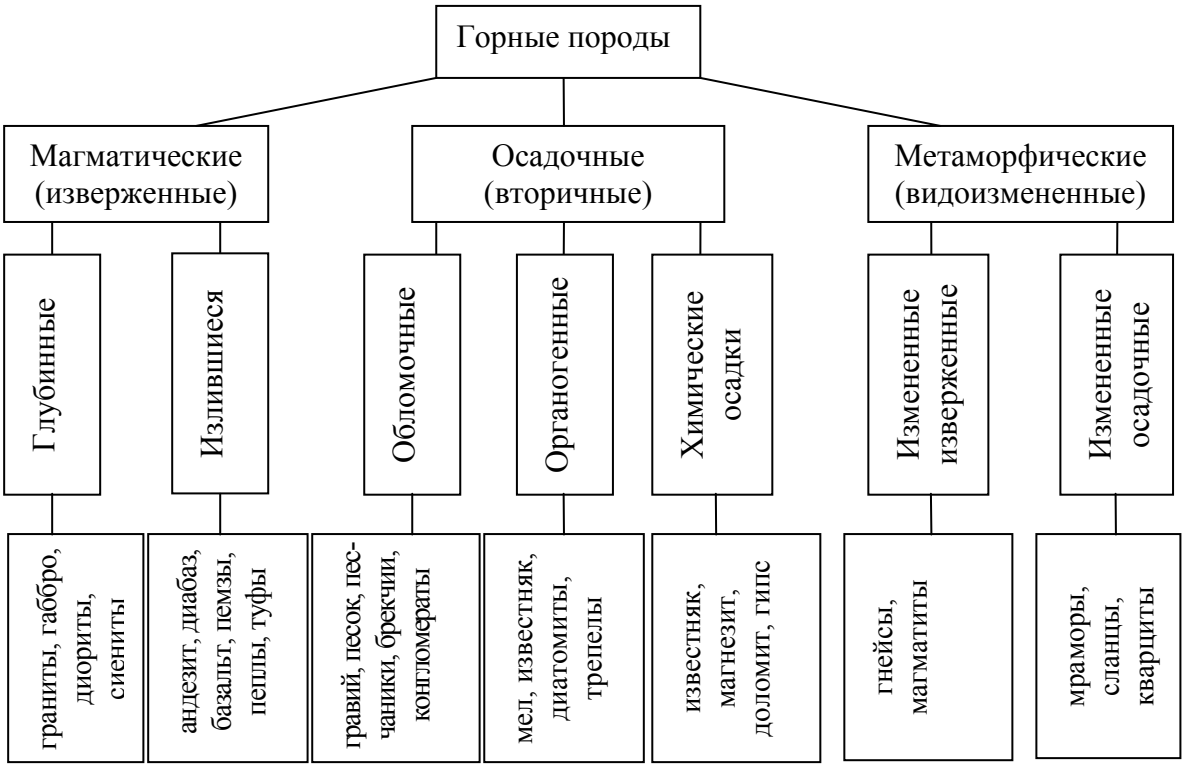


Рис. 7.8. Генетическая классификация и примеры горных пород

Изверженные породы весьма разнообразны по физико-механическим показателям. Если магма застывала в глубине земной коры и охлаждение шло медленно и под большим давлением, то образовывались крупнокристаллические плотные породы, называемые *глубинными*. К таким породам относятся: граниты, габбро, диориты.

Граниты – это наиболее распространенные из всех магматических пород (до 2/3 всех глубинных пород). Они состоят в основном из кварца, полевых шпатов и слюды. Цвет гранита зависит от количественного соотношения минералов и, прежде всего, определяется цветом полевых шпатов (серый, красный, зеленый разных оттенков). Граниты имеют высокую прочность при сжатии (120 … 250 МПа), а при растяжении – в 40 … 60 раз меньше. Средняя плотность гранитов составляет 2500 …2 800 кг/м^3, пористость их не превышает 1,5 %, что обуславливает водопоглощение около 0,5 % и морозостойкость более 200 циклов. Гранит хорошо обрабатывается (обтесывается, шлифуется, полируется). Из него изготавливают облицовочные плиты, ступени, плиты для полов, бордюрные камни, щебень для высокопрочных бетонов. Долговечность гранита более 1000 лет. В Беларуси основные запасы гранита месторождений Микашевичи и Ситницкое составляют более 580 млн м^3.

Габбро – крупнозернистая горная порода со средней плотностью около 3100 кг/м^3, прочностью при сжатии 200 … 280 МПа, стойкая к выветриванию и отличается высокой вязкостью, которая затрудняет ее обработку. Цвет серый, темно-зеленый до черного. Породу применяют для облицовки зданий, покрытия дорог и щебня для высокопрочных бетонов.

Лабрадорит – порода из семейства габбро. Основной составной частью является минерал лабрадор. Лабрадорит имеет серую и черную окраску с красивыми переливами в синих и зеленых тонах, благодаря чему является ценным декоративным и облицовочным материалом.

Диорит – среднезернистая горная порода, состоящая в основном из полевого шпата и цветных минералов. Характеризуется высокой прочностью при сжатии (180 … 300 МПа), большой средней плотностью (до 290 кг/м^3), обладает повышенной ударной вязкостью, поэтому его целесообразно применять при воздействии ударных нагрузок, например в дорожном строительстве. Цвета диоритов – темно-серые, темно-зеленые до черных. Этот камень сочетает в себе прочность гранита и красоту мрамора, поэтому его также применяют в качестве облицовочного материала.

Излившиеся горные породы образовались при быстром остывании магмы. В случае твердения у поверхности земли породы близки по своим свойствам к глубинным, но с мелкокристаллической, скрытокристаллической или частично стекловатой (аморфной) структурой. К плотным породам относятся базальты, диабазы и андезиты, отличающиеся высокой кислотостойкостью.

Базальты представляют собой черную и плотную застывшую лаву, находящуюся в скрытокристаллическом или аморфном состоянии, с зернистым строением и стекловидной массой, заполняющей промежутку между зернами. Высокая твердость и хрупкость затрудняет обработку базальтов. Прочность базальтов варьируется в широких пределах – 110 … 400 МПа, средняя плотность составляет 3000 … 3300 кг/м^3. Базальты обладают хорошими кислотоупорным и электроизоляционными свойствами и являются сырьем для получения каменного литья в виде облицовочных плит и труб. Применяя специальную технологию, из базальта получают утеплитель – минеральную вату.

Диабаз отличается высокой прочностью (200…400 МПа), ударной вязкостью, долговечностью, малой истираемостью. Вследствие этого он является материалом пригодным для устройства дорожных покрытий, получения облицовочных плит, щебня для бетонов. Диабаз также используют в качестве сырья для получения каменного литья и кислотоупорных изделий. Прочность плавленого диабаза возрастает в 2 … 2,5 раза.

Андезиты обладают повышенной выветриваемостью, поэтому могут встречаться в виде плотной породы со средней плотностью 2700 … 3100 кг/м^3, или относительно пористой – со средней плотностью до 2500 кг/м^3. Используется как дорожный камень, пористые разновидности идут на изготовление стенового материала в виде блоков и мелкоштучных камней. Плотные андезиты применяют в виде кислотоупорных облицовочных плит, щебня для кислотоупорных бетонов и тонкомолотого наполнителя для изготовления кислотостойких мастик и специального кислотостойкого цемента.

Среди излившихся пород заметное место занимают вулканические стекла, объединенные под общим техническим названием перлиты.

Перлит – это природное вулканическое стекло, обогащенное водой. Содержание химически связанной воды в нем составляет до 12 %. При нагревании внешние части кусочков стекла размягчаются и вода, выделяющаяся из внутренних частиц, вспучивает внешнее размягченное стекло, создавая внутренние замкнутые поры. При вспучивании перлит увеличивается в объеме в 10 … 12 раз. Плотность вспученного перлита составляет 80 … 600 кг/м^3. Используется в качестве теплоизоляционных засыпок и для изготовления теплоизоляционных изделий.

При быстром охлаждении лавы, выброшенной под давлением газов на поверхность земли или в воздух, образуются высокопористые легкие породы – пемза, вулканический туф.

Пемза образовалась в результате охлаждения магмы на поверхности воды или влажных грунтов при интенсивном выделении газов, вспучивающих массу. Порода имеет пористую структуру плотностью 400 … 600 кг/м^3, с пределом прочности при сжатии 0,5 … 6 МПа и теплопроводностью 0,12 … 0,2 Вт/(м·°С). Пемзу используют в качестве теплоизоляционных засыпок и активной минеральной добавки к цементам, как заполнитель в легких бетонах.

Вулканический пепел представляет собой порошкообразные частицы вулканической лавы, состоящие в основном из кремнезема. Применяется в качестве активной минеральной добавки к цементам.

Вулканический туф – пористая порода, образовавшаяся в результате уплотнения и цементации вулканического пепла. Туфы применяют для кладки стен в виде пиленных камней, внутренней и наружной плитной облицовки, в дробленном виде как заполнитель для легких бетонов.

Осадочные породы имеют вторичное происхождение, так как образуются в результате физического и химического разрушения изверженных пород.

Основными причинами разрушения изверженных пород являются следующие: *физическое* – нагревание солнцем, резкие перепады температур, ветер и замерзание влаги в порах; *химическое* – воздействие различных кислот и солей, находящихся в воде и воздухе (углекислота, серный и сернистый ангидрид); *органическое* – воздействие веществ, выделяемых мхами, лишайниками и другими простейшими растениями и микроорганизмами.

По условию образования осадочные породы делят на три основные группы: обломочные, химические осадки и органогенные.

Обломочные породы являются продуктами механического разрушения материнских пород и образовались в результате физического воздействия. Их подразделяют на *рыхлые* (гравий, щебень, песок, глина), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, льдом или ветром, и *сцементированные* (песчаники, брекчии, конгломераты). Цементирующим веществом в этих породах является водный раствор карбоната кальция, кремнезема, оксидов железа, а также глины.

Песчаники (сцементированные зерна кварца) применяют для устройства полов промышленных зданий, тротуаров облицовки зданий, ступеней и в качестве заполнителя для бетонов. *Конгломераты* (сцементированные зерна гравия) и *брекчии* (сцементированные зерна щебня) имеют плотность 1500 … 2900 кг/м^3, прочность 5 … 160 МПа и применяются в основном в качестве заполнителей для бетонов.

Органогенные породы – результат непосредственного осаждения, уплотнения и цементации остатков водорослей, организмов и продуктов их жизнедеятельности. Породы органического образования широко распространены в природе и имеют большое значение для строительных целей, к ним относятся известняки, мел, диатомиты, трепелы.

Известняк – основная органическая порода средней плотностью 2000 … 2400 кг/м^3 и прочностью при сжатии 20 … 50 МПа. Известняки являются продуктом жизнедеятельности животных и растительных организмов, состоят в основном из минерала кальцита. Из них выпиливают камни для стен и плиты для внутренней облицовки, используют для получения щебня и основных минеральных вяжущих – цемента и извести.

Мел состоит из мельчайших остатков раковин простейших организмов. Он имеет белый цвет, используется при производстве извести, цемента, красок, наполнителей для пластмасс.

Диатомиты и *трепелы* образовались из панцирей диатомитовых водорослей с тонкой прочной кремниевой оболочкой. Это светлоокрашенные, пористые, огне- и кислотоупорные породы плотностью 500 … 1300 кг/м^3. Используют при изготовлении теплоизоляционного кирпича и в качестве заполнителя в бетоны. Из-за высокого содержания кремнезема применяются как активные минеральные добавки к цементам.

Химические осадочные горные породы образовались в результате выпадения из пересыщенных водных растворов, с последующим их уплотнением и цементацией. Из таких осадочных пород в строительстве используют природный гипс, известняк, доломит, магнезит. Гипс является сырьем для получения гипсовых вяжущих веществ. Доломит используют как облицовочный материал и заполнитель для бетона. При изготовлении магнезиальных вяжущих и огнеупорных изделий используют магнезит.

Видоизмененные (метаморфические) породы образуются в толще земной коры в результате преобразования изверженных или осадочных горных пород при действии высоких температур и давления, а также возможных химических реакций. Метаморфические породы отличаются от исходных структурой и свойствами. При многостороннем давлении они приобретают монолитную структуру. Так из известняков и доломитов образуется мрамор, из песчаников – кварцит. При одностороннем давлении видоизмененные породы приобретают слоистое, сланцевое строение (гнейсы, глинистые сланцы).

Мрамор – наиболее распространенная метаморфическая порода, широко используемая в строительстве. Это название объединяет плотные карбонатные породы (2600 … 2800 кг/м^3), часто весьма заметно отличаю-

щиеся по свойствам (предел прочности при сжатии 100 … 300 МПа). Основная область применения мрамора – внутренняя отделка. При этом учитывают, что многие разновидности мрамора имеют сравнительно высокую истираемость, что ограничивает их применение для покрытия пола. Мрамор не рекомендуется применять для наружной облицовки, так как он разрушается атмосферной влагой, содержащей растворенные газы – углекислоту, сероводород.

Кварциты – атмосфероустойчивые и плотные горные породы (2800 … 3000 кг/м^3), имеют высокую прочность при сжатии (до 500 МПа), огнеупорность (до 1770 °С), кислото- и щелочестойкость. Применяют для изготовления облицовочных плит и огнеупоров.

Гнейсы образовались в результате видоизменений кварцево-полевошпатовых горных пород, например гранитов. Средняя прочность составляет 2500 … 2600 кг/м^3, предел прочности при сжатии – 150 … 300 МПа. Применяют для изготовления облицовочных плит и бутового камня.

7.3. Основные свойства горных пород

Представления о свойствах природных каменных материалов связаны, как правило, с высокой прочностью и долговечностью. Однако природный камень – материал весьма разнообразный по структуре, часто сложенный из различных минералов, нередко подвергающийся в процессе образования и последующего залегания в земной коре воздействию значительных напряжений.

Физико-механические свойства природных каменных материалов как и эстетические определяются *структурой* горной породы. При ее оценке учитывают непосредственную связь с составом и свойствами породообразующих минералов, отличающихся разнообразными характеристиками.

Способы добычи и обработки природного камня, его рациональное применение в строительстве связывают прежде всего с *твердостью* материала.

При определении твердости природных камней пользуются шкалой Мооса, сравнивая их твердость с твердостью определенных минералов, расположенных в характерном порядке по мере нарастания твердости: тальк, гипс, кальцит, плавиковый шпат, апатит, ортоклаз, кварц, топаз, корунд, алмаз. В зависимости от твердости природные камни делятся на три группы (табл. 7.1).

В состав твердых природных камней входят минералы, имеющие твердость по шкале Мооса 6 … 7. Аналогичный показатель у камней средней твердости 3 … 5, у мягких 1 … 2.

Таблица 7.1

Классификация природных каменных материалов по твердости

Твердые	Средней твердости	Мягкие
Гранит, гнейс, диорит, сиенит, габбро, лабрадорит, диабаз, базальт, кварцевый порфир	Мрамор, конгломерат, брекчия, известняк, песчаник, сланцы, вулканический туф,	Гипс, тальк

Твердые природные камни обладают более высокой монолитностью структуры по сравнению с материалами средней твердости и мягкими.

Средняя плотность природных каменных материалов, в зависимости от их вида, обычно находится в пределах 800 … 3100 кг/м^3. В зависимости от средней плотности каменные материалы подразделяют на *легкие* (пористые, $\rho_{ср} < 1800$ кг/м^3) и *тяжелые* ($\rho_{ср} > 1800$ кг/м^3).

Действие воды, замораживания-оттаивания, а также механических нагрузок на свойства природных каменных материалов в большей мере зависит от *пористости*, которая меняется в весьма широких пределах (табл. 7.2).

Предел прочности при сжатии природных каменных материалов находится в широких пределах от 0,5 МПа (ракушечник, пемза) до 400 МПа и более (базальт, диабаз, кварцит). *Прочность на растяжение* всех каменных материалов намного ниже их прочности на сжатие, как правило, в 7 … 15 раз.

Водопоглощение твердых природных камней, как правило, находится в пределах 0,01 … 5 %, а камней средней твердости – 0,1 … 40 % (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Пористость и водопоглощение природных камней

Группа природных камней	Природный камень	Пористость, %	Водопоглощение, %
Твердые	Гранит	0,45 – 1,5	0,1 – 1
	Диорит	1,4 – 1,5	0,1 – 1
	Габбро	менее 0,22	0,1 – 0,2
	Диабаз	0,1 – 0,2	0,01 – 0,2
	Кварцевый порфир	1,47 – 3,68	0,1 – 5
	Базальт	0,4 – 1,5	1 – 5
Средней твердости	Мрамор	0,59 – 1	0,1 – 0,7
	Известняк	0,36 – 27	0,5 – 40
	Песчаник	2,8 – 3	0,2 – 2,5
	Туф	4,72 – 13,22	4 – 40

По *морозостойкости* в циклах замораживания и оттаивания для каменных материалов установлены марки: F10, F15, F25, F35, F50, F100, F150, F200, F300. Морозостойкость каменных материалов сравнительно высока: твердые природные камни (гранит, диорит, сиенит, габбро) выдерживают 300 и более циклов лабораторных испытаний; диабаз, базальт – 50 и более. Природные камни средней твердости – более 25 циклов, мягкие – 15 циклов и более.

Истираемость имеет большое значение, прежде всего для природных каменных материалов, которые используются для покрытий полов в различных общественных сооружениях. Весьма мала истираемость у твердых материалов – не более 0,5 г/см^2. У большинства природных камней средней твердости истираемость в пределах 1 … 5 г/см^2.

Долговечность природных камней, как правило, связана с их твердостью. К весьма долговечным природным камням относятся мелкозернистые граниты. Первые признаки их разрушения при наружной облицовке зданий на территории Беларуси могут наблюдаться только через 500 лет. Долговечны крупнозернистый гранит, сиенит, габбро, лабрадорит. Первые признаки разрушения у этих природных камней нередко обнаруживаются лишь через 200 лет. Относительно долговечен песчаник (100 лет). Сравнительно недолговечны мрамор, пористый известняк, гипсовый камень – первые признаки их разрушения в упомянутых условиях эксплуатации нередко наблюдаются через 25 лет и менее.

Долговечность природных каменных материалов в условиях внутренней облицовки практически неограниченна. Для сохранения их декоративно-художественных характеристик требуется лишь систематический уход. Некоторые разновидности природного камня, имеющие сравнительно крупные поры (пористые известняки, туфы), целесообразно предохранять от запыления путем нанесения гидрофобных покрытий.

7.4. Область применения природных каменных материалов

Благодаря большому разнообразию свойств горных пород, обусловленных их составом и структурой в архитектурно-строительной практике природные каменные материалы используют как конструкционные, отделочные и специального назначения (теплоизоляционные, акустические и кислотостойкие).

К **конструкционным** материалам относятся бутовый камень, валуны, гравий, щебень песок, стеновые камни и блоки, материалы для дорожного строительства.

Бутовый камень – камень неправильной формы размерами в поперечнике 150 … 500 мм (массой около 20 … 40 кг), добываемый чаще всего взрывным способом из известняков, доломитов, песчаников, реже из гранита. В зависимости от формы бутовый камень может быть рваным (при взрывных работах) или постелистым (при скалывании). Бутовый камень применяют для кладки фундаментов, стен подземных частей и неотапливаемых зданий, подпорных стен, устоев мостов (рис. 7.9).

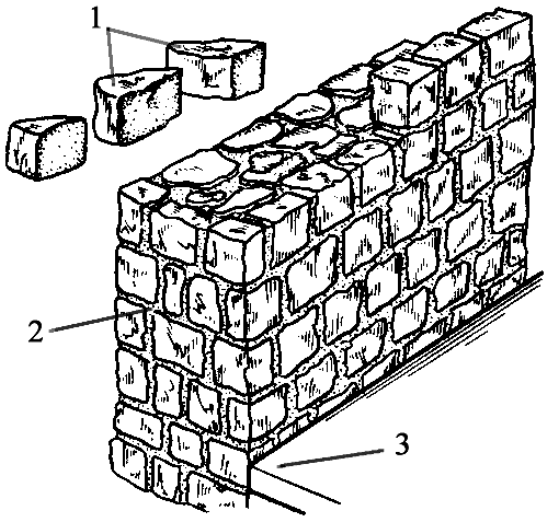


Рис. 7.9. Бутовая кладка:
1 – камни с обработанной лицевой стороной; 2 – стена подвала; 3 – пол подвала

Валунный камень – крупные округленные или окатанные обломки горных пород ледникового происхождения размером более 300 мм (обломки размером более 1 м называют глыбами). Валуны используют для получения булыжного камня, щебня, как декоративные формы в садово-парковой архитектуре. Более мелкие обломки (размером до 300 мм называют булыжником) применяют как бутовый камень, для покрытия мостовых, дворов, откосов, при строительстве дамб.

Гравий – различно окатанные зерна горных пород размером 5 … 70 мм. Гравий, очищенный от вредных примесей (пыли, глины и др.), используют в качестве крупного заполнителя цементных и асфальтовых бетонов, в дренажных системах.

Щебень – угловатые обломки горных пород размером 5 … 120 мм, образовавшиеся при их выветривании (природный щебень) или в результате дробления бутового камня, валунов, глыб (дробленный щебень). Качество щебня оценивают по его однородности, влажности, степени загрязнения, прочности на сжатие. Щебень широко применяют в качестве крупного заполнителя бетонов, в строительстве автомобильных и железных дорог.

Песок – мелкообломочная рыхлая осадочная горная порода, состоящая из округлых и угловатых зерен различных минералов и обломков пород размером 0,14 … 5 мм. Различают пески естественные и пески, получаемые дроблением. По минералогическому составу пески разделяют на *кварцевые*, *полевошпатные* и *карбонатные*. Песок широко используют как строительный материал для устройства песчаных оснований, засыпок, а также как мелкий заполнитель растворных и бетонных смесей и как сырье в производстве силикатного кирпича, стекла (кварцевый песок), строительной керамики.

Стеновые камни и блоки – штучные каменные материалы правильной геометрической формы (обычно в форме параллелепипеда), изготовленные из известняков, туфов и других горных пород плотностью 900 … 2200 кг/м^3. Масса камней до 45 кг. Блоки отличаются от камней большими размерами и массой (более 100 кг). Получают путем пиления и раскалывания породы. Основные размеры камней для кладки стен 390×190×188 и 390×190×288 мм, блоков от 900×500×900 до 2600×1300×1300 мм.

Для лицевой кладки стен марка камня должна быть не ниже 25. Блоки для кладки стен из песчаника светло-коричневые, желтые, красные; из известняка – серые, светло-серые, желтые, розовые; из туфа – красные, фиолетовые, светло-коричневые, розовые, оранжевые. Эти цвета, причем различных оттенков, оказывают большое влияние на эстетическую выразительность зданий и сооружений.

Жилые и общественные здания, возведенные из стеновых камней и блоков в 2 раза дешевле аналогов из кирпича. Однако при перевозке камня на расстояния свыше 250 км эффективность материала из-за значительных транспортных расходов резко падает.

Облицовочные каменные материалы – представляют собой широкую номенклатуру плит, плиток, фасонных и профильных элементов облицовки для наружной и внутренней отделки стен, для облицовки колонн, цоколей, проступей и подступенков лестниц, для покрытия полов, для плинтусов и подоконников.

Лицевая поверхность облицовочных материалов может иметь самую разнообразную фактуру – от фактуры «скалы» до зеркально полированной. Облицовочные материалы изготавливают на камнеобрабатывающих предприятиях распиливанием или раскалыванием блоков-полуфабрикатов с последующей обработкой поверхности и кромок.

Плиты для наружной облицовки зданий изготавливают из твердых пород (гранита, габбро, кварцита, сиенита), а также из мрамора, известняка, туфа. Эти же породы могут использоваться в виде тонких плит и пли-

ток (толщиной 4 … 8 мм) и для внутренней облицовки. Плиты для облицовки стен выпускают шириной до 600 мм (в зависимости от твердости породы), длиной до 1 м. Из отхода мрамора и других пород изготавливают колотые и пиленые полоски и применяют для наружной и внутренней облицовки стен и колонн.

Для лестниц полов и площадок, подвергающихся интенсивному истиранию, используют твердые породы (граниты, гнейсы) с показателем истираемость не выше 0,5 г/см^2. В помещениях со слабым движением полы могут быть и из износостойких видов мрамора. Из отходов (обломков) пиленого камня, сцементированных на железобетонной основе, изготавливают плиты для полов и площадок типа брекчия, названных так по аналогии с горной породой, сложенной из угловатых обломков.

Обычно восприятие природных каменных материалов в интерьере связывают с ощущением торжественности, чистоты и даже холода (при лощеной и полированной фактурах). С экологической точки зрения горные породы, прежде всего твердые (гранит и др.), требуют предварительных исследований, позволяющих определить количество природных газообразных радионуклидов (радон), большая концентрация которых небезопасна для здоровья человека.

Магматические горные породы, такие как базальт, андезит, диабаз, а также метаморфическая порода кварцит, вследствие своего химического состава обладают высокой *кислотостойкостью*. Это свойство используют при изготовлении тесаных плит, кирпичей, брусков и фасонных изделий, применяемых для футеровки промышленных установок и защиты строительных конструкций, работающих в условиях действия кислых сред.

После обработки в результате механических воздействий на поверхность изделий из природных каменных материалов имеются многочисленные мельчайшие трещины, понижающие их прочность и долговечность. Вследствие этого более высокими эксплуатационными свойствами обладают искусственно полученные литые каменные изделия – каменное литье (см. гл. 9). Из каменного литья получают плиты для облицовки полов, тротуаров, стен.

К *теплоизоляционным* и *акустическим* относятся изделия, полученные на основе минеральной ваты. Минеральная вата представляет собой механическую смесь искусственно полученных коротких волокон. Минеральные волокна получают путем плавления таких горных пород, как базальт, доломит, мергель. Эти волокна смешивают со связующим (полимерным, клеевым, битумным), подпрессовывают, нарезают по размерам и получают готовое изделие в виде войлока, матов, мягких, полужестких и жестких плит.

Вследствие хаотического расположения волокна создают высокопористую структуру, обеспечивающую низкую теплопроводность, звукоизоляцию и звукопоглощение. Минеральная вата не горит, не гниет, она малогигроскопична, морозостойка и температуростойка. Изделия на ее основе применяют для теплоизоляции как холодных, так и горячих поверхностей.

Минераловатный утеплитель производится в республике, а также поставляется зарубежными производителями таких марок как PAROC, ISOVER, ROCKWOOL, URSA.

В качестве теплоизоляционных материалов применят вспученный перлит и вермикулит. Технология получения этих материалов из перлита и вермикулита описана выше. Вспученные перлит и вермикулит используют в качестве теплоизоляционных засыпок для утепления крыш, пола, стен, а также для изготовления теплоизоляционных плит, легких бетонов, штукатурных теплоизоляционных и огнезащитных растворов.

7.5. Эстетические характеристики материалов из природного камня

Богатство расцветок природных каменных материалов исключительно велико. В большей мере это объясняется тем, что 85 % минералов окрашено природой. Так, 40 % минералов зеленые, 20 % – желтые, 10 % – красные и коричневые, 7 % – черные, 5 % – синие, 3 % – фиолетовые и пурпурные. Трудно назвать какой-либо участок цветового спектра, который не был бы повторен в природном камне. Это обстоятельство часто заставляет при оценке *цвета* природного камня прибегать к усложненным определениям. Например, желая подчеркнуть колористические особенности полупрозрачного белого мрамора, его называют «опалово-белым». Уточняя оттенок цвета рассматриваемых материалов, часто применяют двойную характеристику цвета – кирпично-красный, лимонно-желтый и т.д.

По характеру обработки фактуры природного камня делят на две основные группы: абразивные (пиленая, грубо- и тонкошлифованная, лощеная, полированная) и ударные («скала», крупно- и мелкобугристая, крупно- и мелкорифленая, бороздчатая, точечная или кованая) (рис. 7.12). Кроме того, выделяют вскрытую (очищенную) фактуру и получаемую после обработки поверхности природного камня высокой температурой – термообработанную.

Пиленая фактура характеризуется сравнительно ровной с тонкими штрихами поверхностью и высотой рельефа до 3 мм.

Грубошлифованная фактура отличается высотой рельефа 0,2 … 0,5 мм, повышенным светорассеянием, имеет следы обрабатывающего инструмента.

Тонкошлифованная фактура – гладкая бархатистая.

Лощеная фактура представляет собой последнюю грань шлифования и имеет слабый блеск.

Полированная фактура получается на конечной стадии абразивной обработки и характеризуется зеркальным блеском. При этом предельно выявляются цветовой тон и текстура камня.

Вскрытая (очищенная) фактура характеризуется матовой поверхностью с хорошо выявленной текстурой, получается после ультразвуковой обработки природного камня в водной среде.

Термообработанная фактура отличается шероховатостью, следами шелушения. Для ее получения лицевую поверхность природного камня обрабатывают высокотемпературной струей, выходящей из реактивной горелки термоинструмента. При этом от породы отделяются мелкие чешуйчатые частицы.

При оценке абразивных фактур учитывают, что они наиболее явно обнаруживают все дефекты природного камня. Большая часть природных дефектов неустранима. Но каверны, местные сколы и трещины можно заполнить специальной мастикой (горячей или холодной).

У *фактуры «скала»* грубый рельеф высотой 50 мм и более, который получают с помощью закольника или колочного станка. Такую фактуру рекомендуют в основном для твердых природных камней (гранита, габбро, лабрадорита), но она допустима и для плотных камней средней твердости.

Бугристые фактуры характеризуются наличием на поверхности равномерно распределенных буфов и впадин. Выполняют их скалывающими инструментами (шпунтами, узкой скарпелью), которыми наносят удары под углом в 45 … 60° к обрабатываемой поверхности. Высота рельефа для мелкобугристых фактур 3 … 6 мм, для крупнобугристых 7 … 15 мм. Бугристую фактуру рекомендуют для гранита, ряда пород средней твердости, например песчаников или плотных известняков.

Рифленые фактуры отличаются наличием непрерывных параллельных борозд, располагаемых без строгой прямолинейности и получаемых с помощью строгальных станков или ручного инструмента (троянки). У крупнорифленых фактур высота рельефа 1 … 2 мм, у мелкорифленых – 0,5 … 0,7 мм. Эти фактуры рекомендуются для пород средней твердости.

Бороздчатая фактура имеет прерывистые параллельные борозды, получаемые пластинчатой фрезой. Высота рельефа до 3 мм. Обычно эта фактура применяется на граните, габбро, лабрадорите.

Точечная или *кованая фактура* представляет собой незначительные углубления, равномерно распределенные на предварительно выровненной

поверхности. Обработку поверхности производят бучардой с различным количеством зубьев. Удары наносят перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. Высота рельефа 0,5 … 2 мм. Кованая фактура рекомендуется только для твердых природных камней.

При оценке ударных фактур учитывают, что при наружной облицовке под влиянием атмосферных воздействий материалы и изделия из темноокрашенных горных пород с рассматриваемой фактурой (например, из гранита, габбро) запыляются, несколько теряют насыщенность цветового тона и осветляются.

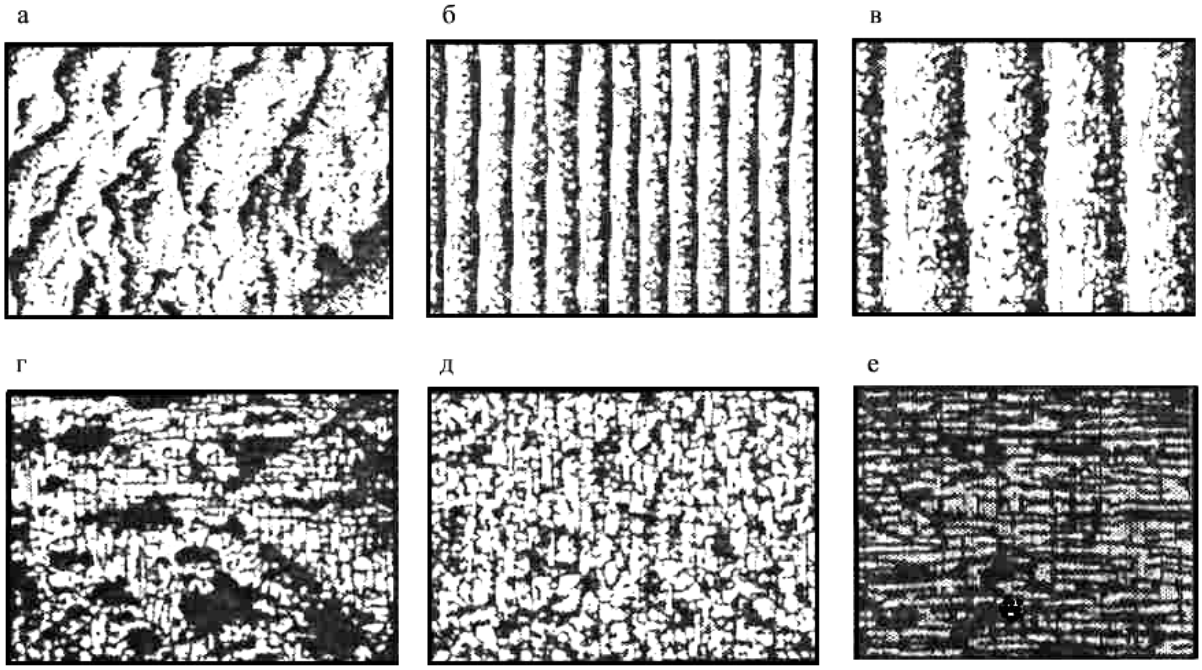


Рис. 7.12. Виды фактур природного камня (гранита):
а – скала; б – рельефная; в – бороздчатая; г – бугристая; д – точечная; е – шлифованная

Выбор той или иной фактуры может значительно изменить характер облицовки, так как при этом весьма резко меняются цветовые характеристики материала. Насыщенность цветового тона особенно заметно выделяется при полированной фактуре, но существенно снижается при лощеной или шлифованной. Светлота ахроматического природного камня может меняться, в зависимости от принятой фактуры, от 5 до 42 %, т.е. в 8 раз. Светлота поверхности увеличивается при переходе от зеркальной к кованой фактуре, но снижается при переходе от кованой к фактуре «скала».

Соответствие поверхности материалов из природного камня заданной фактуре устанавливают сопоставлением с образцом-эталоном размером не менее 250×400 мм, изготовленным камнеобрабатывающим предприятием и согласованным с заказчиком.

Текстура природных каменных материалов связана с неоднородностью их структуры, которая, в свою очередь, определяется условиями образования горной породы.

Разновидности рисунка твердых природных камней из изверженных глубинных горных пород, например гранита, ограничены. Нередко такие природные камни имеют пятнистый рисунок, характеризующийся различным расположением на поверхности ахроматических или хроматических пятен, отличающихся от основного фона поверхности. Иногда такие пятна группируются, образуя линейно-полосчатый или струйно-полосчатый рисунок.

Гораздо богаче текстура у изверженных излившихся, метаморфических и некоторых осадочных пород, обладающих средней твердостью. Характер рисунка таких природных каменных материалов может быть облачным или подчеркнуто контурным. В облачном рисунке основной цвет природного камня остается, меняются лишь оттенки. Контурный рисунок образуется после заполнения трещин в горных породах материалом, отличающимся по цвету от общей массы. Следует учитывать, что чем богаче, разнообразнее текстура природного камня, тем он менее долговечен.

Эстетические характеристики природных каменных материалов позволяют архитектору найти практически любое декоративное решение. Природный камень может быть и фоном, на котором должны выделяться другие архитектурные или скульптурные элементы. В этом случае предпочтительна матовая фактура материала.

Вопросы для самопроверки

1. На какие три группы по происхождению разделяют горные породы?
2. Как образовались горные породы?
3. Какими физико-механическими свойствами характеризуются горные породы?
4. Приведите примеры магматических, осадочных и метаморфических горных пород.
5. Какова область применения материалов из горных пород в архитектурно-строительной практике?
6. Какими способами производят каменные материалы из горных пород?
7. Что такое минеральная вата?
8. Какие виды обработки фактуры природного камня вы знаете?
9. Можно ли по текстуре природного камня судить о его долговечности?
10. Каким образом вид фактуры облицовки влияет на ее цветовую насыщенность и светлоту?

ГЛАВА 8. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

8.1. Общие сведения о керамических материалах

Керамическими называют материалы и изделия, получаемые из глиняных масс с минеральными добавками после обжига при температуре 900 ... 1300 ºС. Керамика обладает поликристаллической структурой.

Керамические материалы применялись еще в глубокой древности наряду с древесиной и природным камнем. Еще 12 тыс. лет до н.э. в Древнем Египте возводились глинобитные сооружения из сырцового кирпича (без обжига, чему способствовал сухой климат) и изготовлялись керамические изделия для облицовки.

В Месопотамии, в долине рек Тигра и Евфрата 3 тыс. лет до н.э. уже применялся обожженный кирпич, который широко использовался при строительстве дворцов, каналов, мостов и культовых сооружений. Так, на строительство знаменитой Вавилонской башни высотой 90 м было израсходовано не менее 40 млн шт. кирпича.



Рис. 8.1. Великая Китайская стена

В Древнем Китае еще в период неолита изготовлялись керамические изделия. Всемирно известным памятником IV – V вв. до н.э. является Великая Китайская стена, построенная из керамического кирпича и камня с засыпкой землей (рис. 8.1). Длина стены со всеми ответвлениями 4247 км, высота до 10 м, ширина от 5 до 8 м. Облицовка некоторых секций состоит из трех – четырех плотных слоев кирпича.

Достижения архитектуры Древнего Рима во многом связаны и с керамическими материалами. Керамический кирпич применялся при строительстве Колизея, Пантеона и других известных сооружений.

Архитектура зданий из керамического кирпича, созданная на основе античных традиций, приобрела ведущую роль в Византии (образованной в 395 г.) – наследнице Восточной Римской империи.

Ведущее место керамические кирпич и черепица заняли в строительстве эпохи Возрождения, их использовали при возведении стен, сводов, сферических куполов большинства флорентийских дворцов.

На протяжении многих сотен лет керамические материалы широко применяли на территории Древней Руси. В то время, когда в странах Западной Европы изготовляли лишь двухцветные керамические плитки, в великокняжеских мастерских Киева уже с X в. получали многоцветные плитки для облицовки стен и пола. В одном из выдающихся памятников древнерусского зодчества – соборе в центре Новгородского Кремля (1045 г.) – из керамического кирпича выложены арки, порталы, оконные проемы.

Полоцкие и смоленские мастера с X в. использовали керамический кирпич для возведения цилиндрических сводов в церквях. Кирпич в виде плинфы применялся при строительстве Спасо-Ефросиньевского монастыря, Софийского собора в Полоцке (XI – XII в.) (рис. 8.2 и 8.3).

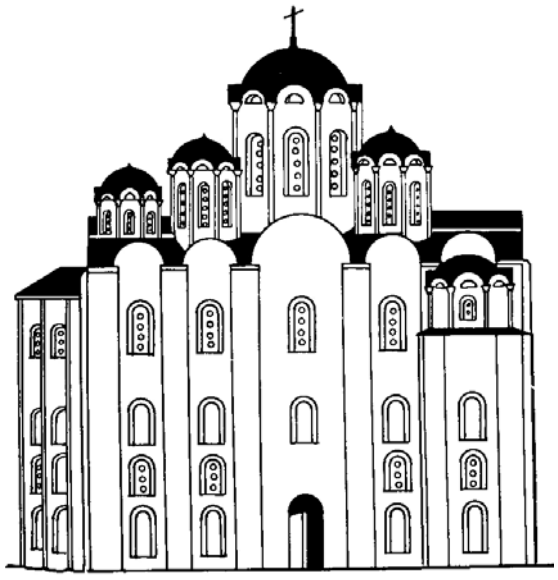


Рис. 8.2. Полоцкая София, середина XI в.

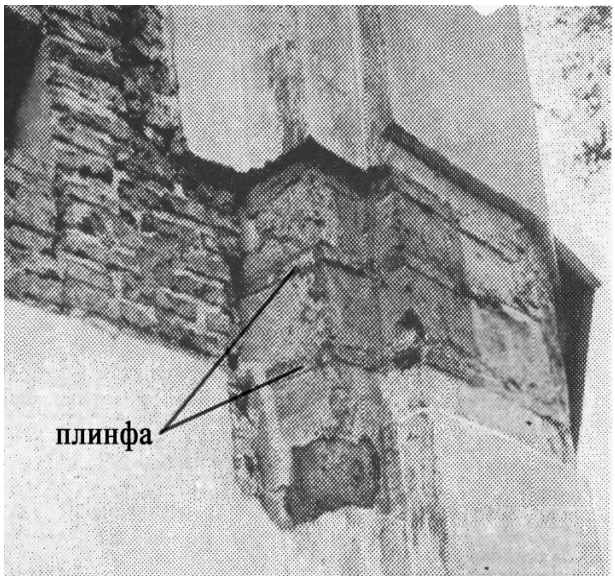


Рис. 8.3. Кладка Софийского собора с использованием плинфы

Одним из известнейших памятников средневековой архитектуры является Каменецкая башня (Белая вежа, XIII в.), стены которой возведены из брусчатого кирпича размером 26,5×13,5×8 см (рис. 8.4). На рубеже XV – XVI вв., с применением кирпича был выстроен один из выдающихся памятников архитектуры Беларуси – замок в Мире (рис. 8.5).

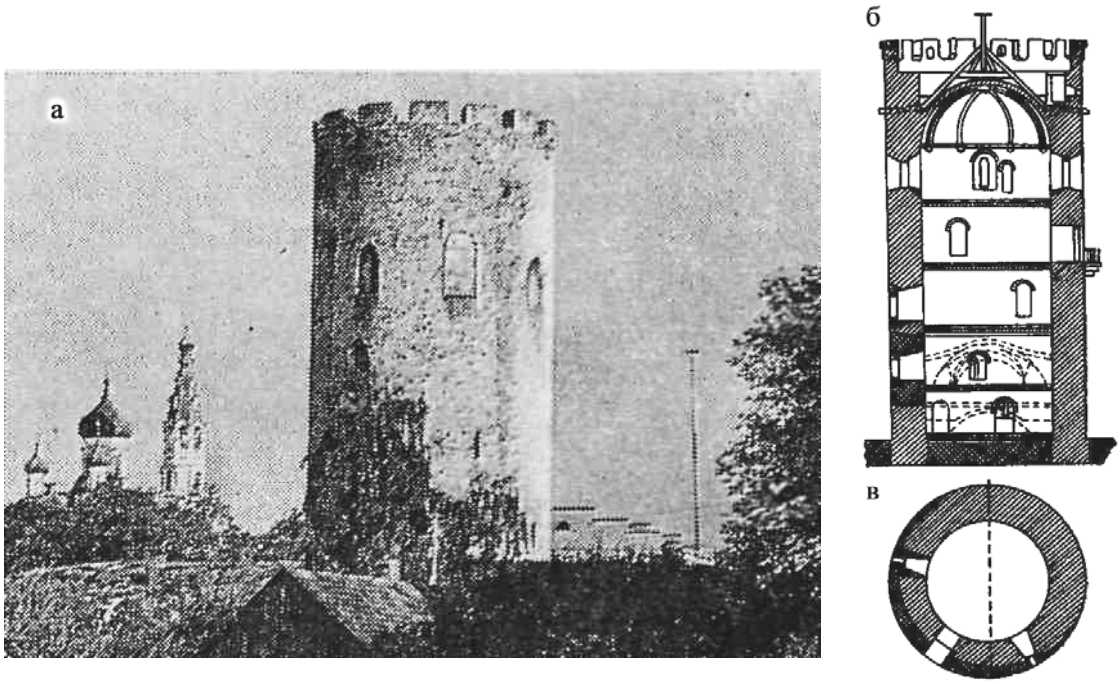


Рис. 8.4. Белая вежа, г. Каменец, 1271–1289 гг.:
а – общий вид; б – разрез; в – план

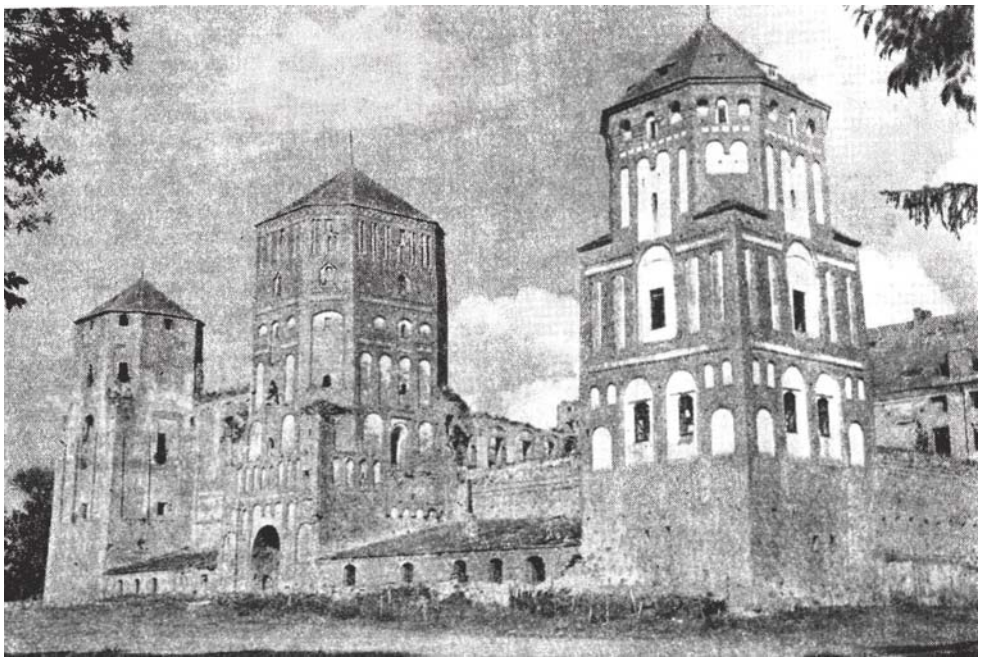


Рис. 8.5. Мирский замок, рубеж XV – XVI вв.

При строительстве многочисленных церквей и многих других выдающихся памятников архитектуры славянские зодчие широко и умело применяли керамические материалы. Бесконечное разнообразие форм связано с применением 18 типоразмеров керамических кирпичей, в том числе

лицевых профильных при строительстве храма Василия Блаженного (Покровского собора) в Москве (рис. 8.6 и 8.7). Изготавливали профили или теской обычного кирпича, или в специальных формах. Не меньшую значимость, в том числе с точки зрения эстетики и воплощения народных представлений о красоте, имело применение керамических изразцов – изделий разнообразной формы, часто с покрытием лицевой поверхности многоцветными глазурями (рис. 8.8).



Рис. 8.6. Покровский собор на Красной площади

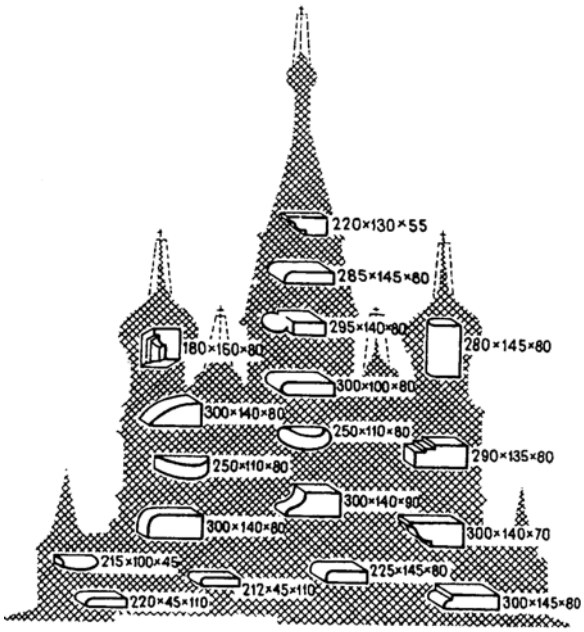


Рис. 8.7. Формы и размеры керамических кирпичей, использованных при строительстве собора



Рис. 8.8. Изразцы, XVII в., г. Мстиславль

8.2. Сырье и технология получения керамики

Основным сырьем для производства керамических строительных материалов и изделий служит глина – осадочная горная порода, состоящая из природных водных алюмосиликатов с различными примесями.

Глина, замешанная с определенным количеством воды, образует глиняное тесто, обладающее связностью и пластичностью. К положительным технологическим свойствам глинистых масс относится их способность приобретать прочность и сохранять форму в процессе сушки и обжига. Причем спекание не только приводит к уплотнению и упрочнению структуры изделий, но и обеспечивает их водостойкость.

Для того чтобы улучшить свойства глин и готовой продукции, в сырьевые массы на стадии подготовки вводят **добавки**: отощающие, пластифицирующие, порообразующие, плавни и добавки, повышающие стойкость к агрессивным средам.

Отощающие добавки – кварцевый песок, шамот (обожженная и измельченная огнеупорная и тугоплавкая глина), шлак, являющиеся не пластичными веществами, вводят в высокопластичные (жирные) глины для уменьшения усадки при сушке и обжиге, а также улучшения их формовочных свойств. Таким образом, введение этих добавок позволяет предотвратить появление деформаций и трещин в процессе тепловой обработки.

Пластифицирующие добавки – поверхностно-активные вещества (СДБ, ЛСТ), бентонитовые глины вводят для повышения пластичности формовочной массы при использовании малопластичных (тощих) глин.

Порообразующие добавки – выгорающие (древесные опилки, угольная пыль, гранулированный торф и макулатура), газообразующие (известняк), термостойкий легкий заполнитель (измельченный вспученный перлит) применяют для повышения пористости, снижения средней плотности и коэффициента теплопроводности изделий.

Плавни (флюсы) – молотые перлит, доломит, полевые шпаты, песчаник, стеклобой добавляют в глиняные массы с целью снижения их температуры обжига, повышения степени спекания, а следовательно увеличения плотности и прочности изделий.

В качестве *добавок повышающих стойкость к агрессивным средам* керамических изделий применяют песчаные смеси, затворенные жидким стеклом или щелочами.

Для улучшения декоративных и эксплуатационных свойств керамических материалов и изделий на их поверхность наносят глазури и ангобы. *Глазури* – стекловидные покрытия на керамике толщиной 0,15 ... 0,3 мм, закрепляемые обжигом. Глазури бывают прозрачными и непрозрачными (глухими). Прозрачные глазури окрашивают сплавлением с красящими окислами, а глухие смешением с пигментами. Глазури могут бать белыми и бесцветными, блестящими и матовыми. *Ангобы* – белые или цветные глиняные покрытия, наносимые слоем толщиной 0,25 ... 0,4 мм на поверхность керамики до обжига чтобы скрыть нежелательный цвет и грубую текстуру керамики. Белые ангобы получают из беложгущихся глин, цветные – из глин с добавками минеральных красок, окислов, синтетических пигментов.

Технология получения керамических материалов и изделий, как правило, состоит из следующих этапов: добычи глины, ее очистки и измельчения, подготовки массы, формования изделий, сушки и обжига, сортировки готовых материалов и изделий, отправка потребителю или на склад готовой продукции.

Механическая обработка глины производится для выделения или измельчения каменистых примесей и получения однородной массы, обладающей необходимыми формовочными свойствами.

Способы подготовки формовочной массы и формовки зависят от вида получаемого изделия и качества глин. Выделяют три способа формования керамических масс: пластический, полусухой, литье.

Пластический способ – применяют при работе с пластичными глинами, хорошо размокающими при увлажнении. Глиняную массу предварительно измельчают, размалывают, смешивают с отощающими или другими добавками и затем обрабатывают паром до влажности 18 ... 25 %. Керамические материалы для кладки стен (кирпичи и др.), кровельные изделия (черепица) формуют на ленточных шнековых прессах, где с помощью шнека керамическая масса перемещается к сужающейся переходной головке и мундштуку. Мундштук придает глиняной ленте, выходящей из пресса, определенную толщину. В нем же могут быть установлены керны, образующие пустоты в кирпиче. Далее происходит нарезка ленты на отдельные элементы (кирпичи, черепицу и т.д.) с помощью струн, натянутых на раме.

Полусухой способ формования предполагает использование отощенных жестких масс (малопластичная глина) в виде керамических пресс-порошков (получаемых путем распыления глиняной суспензии и сушки обра-

зовавшихся гранул в шахтных печах) с влажностью 8 ... 10 %, которые уплотняются при давлении 15 ... 40 МПа в специальных формах. Такой сырец, как правило, не требует сушки – его сразу после формования можно обжигать. Изделия из пресс-порошков в сырце имеют высокую точность размеров, характеризуются низкой усадкой при обжиге, однако в ряде случаев имеют пониженную морозостойкость. Полусухим способом получают лицевой кирпич, облицовочную плитку, камни керамические.

Литьевой (шликерный) способ применяют при наличии глин высокой карьерной влажности. Жидкая керамическая масса (шликер) представляет собой суспензию влажностью 35 ... 80 %, легко заполняет и отдает воду при контакте с пористой поверхностью гипсовой формы. Шликерный способ применяют обычно при получении сравнительно тонких керамических материалов (коврово-мозаичных плиток толщиной 2 мм), а также при формовке сложного по форме санитарно-технического оборудования (раковин, моек).

Цель процесса *сушки* – снизить усадочные деформации и предотвратить возможное растрескивание материала-сырца при последующем обжиге. При сушке керамических изделий несколько уменьшается их объем за счет уменьшения толщины гидратных оболочек глинистых частиц, повышается прочность сырца. Повысить трещиностойкость можно путем введения опилок, отощающих добавок, подбором температурного режима. На заводах для сушки изделий используют туннельные и камерные сушилки.

В процессе *обжига* образуется структура керамического материала, определяющая его свойства, в том числе плотность, прочность, морозостойкость. Обжиг материалов проводится в тоннельных печах с постепенным поднятием температуры до 900 ... 1300 °С. В процессе обжига возможно появление необратимых дефектов. При увеличении температуры или времени обжига может быть получен пережог, при этом происходят потеря формы, оплавление поверхности, появляются высокие деформации, вздутия, трещины. Пережог имеет фиолетово-бурый, темный красно-коричневый цвет. Обжиг при пониженной температуре или малой выдержке приводит к образованию недожога. При недожоге ухудшаются основные показатели эксплуатационно-технических свойств (низкая прочность, водо- и морозостойкость) и изделия имеют розовую окраску. Следует заметить, что судить о качестве обжига изделий только по его цвету нельзя, так как цвет зависит от содержания оксидов железа и состава газовой среды в печи для обжига.

8.3. Область применения керамических материалов

К **конструкционным** и **конструкционно-отделочным стеновым** керамическим материалам относятся, прежде всего, кирпичи и камни. Из кирпича возводится около половины всех жилых, общественных и промышленных зданий. На современных заводах выпускают кирпич и камни керамические. Эти искусственные каменные материалы классифицируют:

– *по способу формования* – на изделия, полученные методом экструзии из пластических масс и полусухого прессования;

– *по назначению в конструкциях* – на конструкционные для рядовой кладки под штукатурку или облицовку и лицевые с расшивкой швов, совмещающие функции конструкционного и облицовочного материала;

– *по размерам* – на кирпичи полнотелые, пустотелые и укрупненные камни пустотелые (рис. 8.9, табл. 8.1). Пустоты сквозные и несквозные, вертикальные и горизонтальные могут иметь форму щелевидную или цилиндрическую;

– *по средней плотности* – на особо легкие до 600, легкие – 600 ... 1300, облегченные – 1300 ... 1600, тяжелые – 1000 ... 2200 кг/м^3;

– *по прочности при сжатии* (с учетом предела прочности при изгибе) с вертикально расположенными пустотами на марки – М75, М100, М125, М150, М200, М250, М300, горизонтально – М25, М35, М50, М100 (табл. 8.2);

– *по морозостойкости* рядовые кирпичи на марки – F15, F25, F35, F50, F75, лицевые – F35, F50, F75, F100.

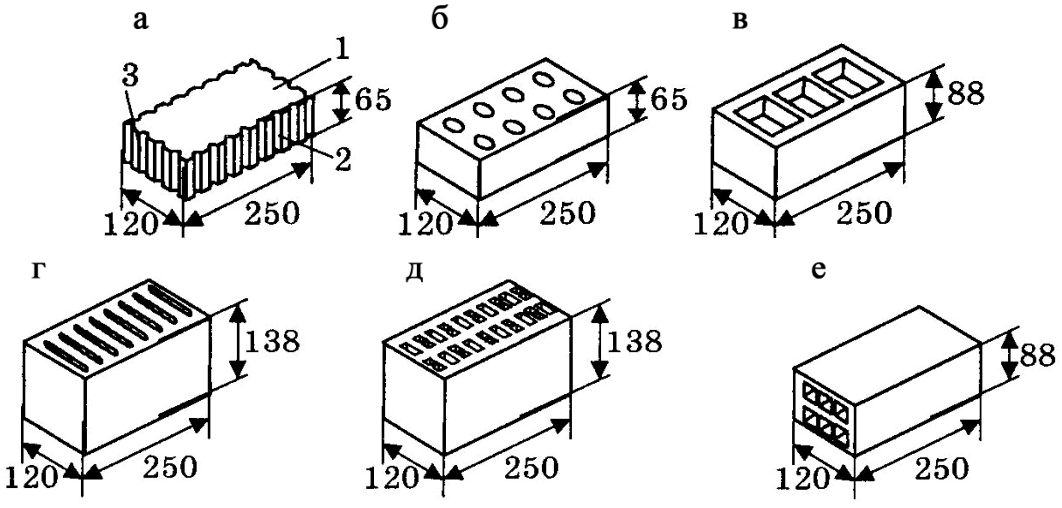


Рис. 8.9. Разновидности керамического кирпича:
а – кирпич пластического формования одинарные: 1 – плашок; 2 – ложок; 3 – тычок;
б, в – кирпичи полусухого прессования: б – одинарный, в – утолщенный;
г, д – камни керамические с пустотами; е – кирпич утолщенный
с горизонтальным расположением пустот

Таблица 8.1

Виды основных керамических изделий

Вид изделий	Номинальные размеры, мм		
	длина	ширина	толщина
Кирпич одинарный	250	120	65
Кирпич утолщенный	250	120	88
Кирпич модульных размеров одинарный	288	138	65
Кирпич утолщенный с горизонтальным расположением пустот	250	120	88
Камень	250	120	138
Камень модульных размеров укрупненный	288	288	88
Камень укрупненный	250 250 250	250 250 180	138 188 138
Камень укрупненный с горизонтальным расположением пустот	250 250 250	250 200 250	120 80 88

Таблица 8.2

Марки кирпича керамического в зависимости от прочностных показателей

Марка изделия	Предел прочности (средний для 5 образцов), МПа (кгс/см^2)		
	при сжатии	при изгибе	
	всех видов изделий	полнотелого кирпича пластического формования	кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича
300	30 (300)	4,4 (44)	3,4 (34)
250	25 (250)	3,9 (39)	2,9 (29)
200	20 (200)	3,4 (34)	2,5 (25)
175	17,5 (175)	3,1 (31)	2,3 (23)
150	15 (150)	2,8 (28)	2,1 (21)
125	12,5 (125)	2,5 (25)	1,9(19)
100	10 (100)	2,2 (22)	1,6(16)
75	7,5 (75)	1,8 (18)	1,4 (14)

Для полнотелого рядового и лицевого кирпича водопоглощение составляет не менее 8 %, для рядовых и лицевых пустотелых изделий – не менее 6 %.

По теплотехническим свойствам и плотности керамические кирпичи и камни разделяют на три группы:

– эффективный, пустотелый кирпич плотностью не более 1400 кг/м^3 и камни плотностью не более 1450 кг/м^3, улучшающие теплотехнические свойства и позволяющие уменьшить их толщину по сравнению со стенами из полнотелого кирпича;

– условно эффективный, малопустотелый кирпич плотностью более 1400 кг/м^3 и камни плотностью более 1450 кг/м^3, улучшающие теплотехнические свойства ограждающих конструкций без снижения их толщины;

– обыкновенный полнотелый кирпич плотностью свыше 1600 кг/м^3.

Для улучшения теплотехнических свойств стеновой керамики используют порообразующие добавки, легкий заполнитель – вспученный перлит и т.д.

В 30-х гг. XX в. керамический кирпич, как правило, использовали как ненесущий теплоизоляционный и огнестойкий материал. Например, конструкцию, в которой наружные стальные колонны обкладывались кирпичом и из него возводили наружные стены, применили в одном из самых высоких зданий в мире «Эмпайр стэйт билдинг» (1931 г., США, высота 378 м) и при строительстве других небоскребов. В настоящее время часто возводятся весьма экономичные несущие кирпичные стены в зданиях различного функционального назначения, в том числе в жилых домах. Конструкцию стены рассчитывают на работу совместно с перекрытиями на восприятие вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Соответствующими расчетами было показано, что экономически выгодна кладка сравнительно тонких стен (например, 180 ... 250 мм) с эффективным теплоизоляционным материалом (минерало- и стекловатные плиты, пенопласты).

В ряде стран популярны крупноразмерные керамические стеновые материалы – камни. Следует отметить, что в современных многоэтажных зданиях кирпичные стены могут быть не только несущими, но и самонесущими, навесными.

При создании образа фасада кирпичного здания часто используют лицевые изделия. Более долговечные кирпичи и камни керамические лицевые оказываются экономически более выгодной отделкой по сравнению с декоративными растворами и красочными составами. При этом лицевые поверхности кирпича весьма разнообразны по цвету и фактуре.

Очень выразительно применение керамического кирпича в отделке интерьеров общественных зданий.

Отделочная керамика, применяемая в современной архитектурно-строительной практике представлена широки многообразием керамических плит и плиток для наружной и внутренней облицовки зданий, а также материалами для покрытия полов. Размеры плитки по длине и ширине до 150 мм, а плиты имею более крупные размеры.

Фасадные керамические плитки и плиты применяют для облицовки фасадов зданий, как правило, общественных и административных. Изготавливают методом прессования из порошкообразных масс толщиной 4 ... 9 мм и методом литья из керамических суспензий толщиной до 3 мм. Тыльную сторону плиток делают рельефной для более прочного сцепления с раствором. Фасадные керамические изделия имеют разнообразную цветовую гамму и фактуру. К облицовочной фасадной керамике предъявляются высокие требования по атмосферостойкости, морозостойкости (не менее F40 ... F50), водопоглощение должно быть в пределах 5 ... 9 %.

До недавнего времени в сборном домостроении для отделки панелей широко применялась мелкоразмерная ковровo-мозаичная плитка, наклеенная на бумажную основу. После изготовления плит с таким покрытием бумага смывается водой. Часто предпочитают плиты сравнительно крупных размеров, например, в Москве и Минске применяли прямоугольные плиты размером 292×142(92)×10(7) мм.

Керамические плитки *для внутренней облицовки* изготавливают методом полусухого прессования с двухкратным обжигом (обжиг плиток в процессе их изготовления, а затем обжиг глазурного покрытия) (рис. 8.10).

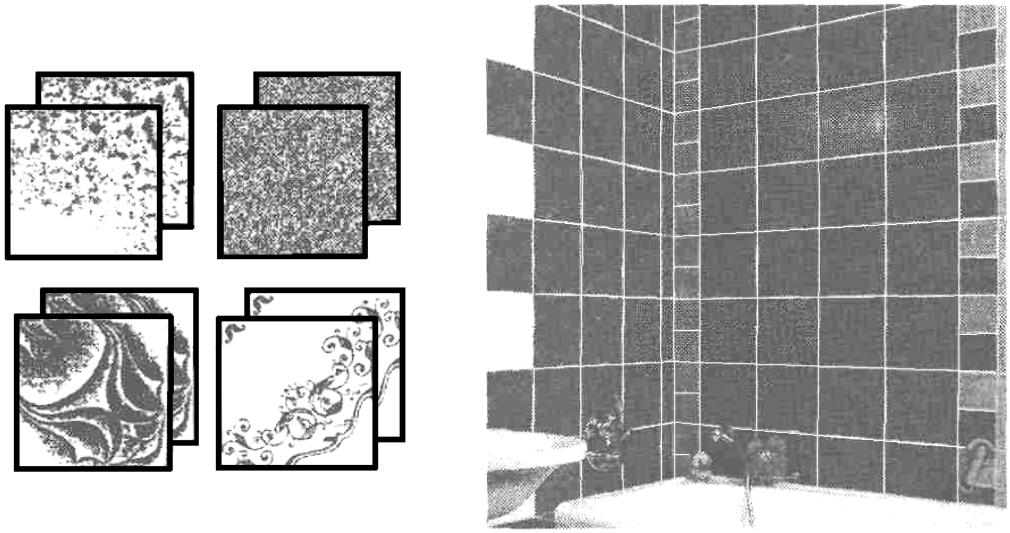


Рис. 8.10. Керамические плитки для внутренней облицовки стен

Фактура плиток для внутренней облицовки стен может быть гладкой или рельефной (в том числе пирамидальной), блестящей или матовой. При использовании цветных прозрачных или глухих глазурей получают цветные однотонные плитки. Методом набрызгивания различных по цвету глазурей изготовляют плитки с мраморовидным рисунком. Одноцветный рисунок можно получать с помощью порошковых керамических красок.

В отличие от фасадных, черепок плиток для внутренней облицовки более пористый (водопоглощение до 16 %), поэтому их нельзя использовать для наружной облицовки. Предел прочности плиток при изгибе не менее 15 МПа. Ко всем видам облицовочных плиток для интерьеров предъявляются строгие декоративно-художественные требования к цвету, рисунку и фактуре лицевой поверхности.

Плитки применяют для облицовки стен внутри лечебных и торговых помещений, столовых кухонь, санитарных узлов, плавательных бассейнов. Облицовка плитками декоративна, долговечна и гигиенична.

Плитки *для полов* отличаются высокой износостойкостью, долговечностью, стойкостью к действию агрессивных сред (щелоче- и кислотостойкие), гигиеничностью.

Плитки для полов выпускают одно- и многоцветные, мраморо- и порфировидные, коврово-мозаичные, глазурованные, рельефно-орнаментированные (рис. 8.11). При изготовлении порфировидных плиток используют глинистое сырье различной природной окраски. Лицевой слой мраморовидных плиток получают напылением цветного порошка в распылительной сушилке.

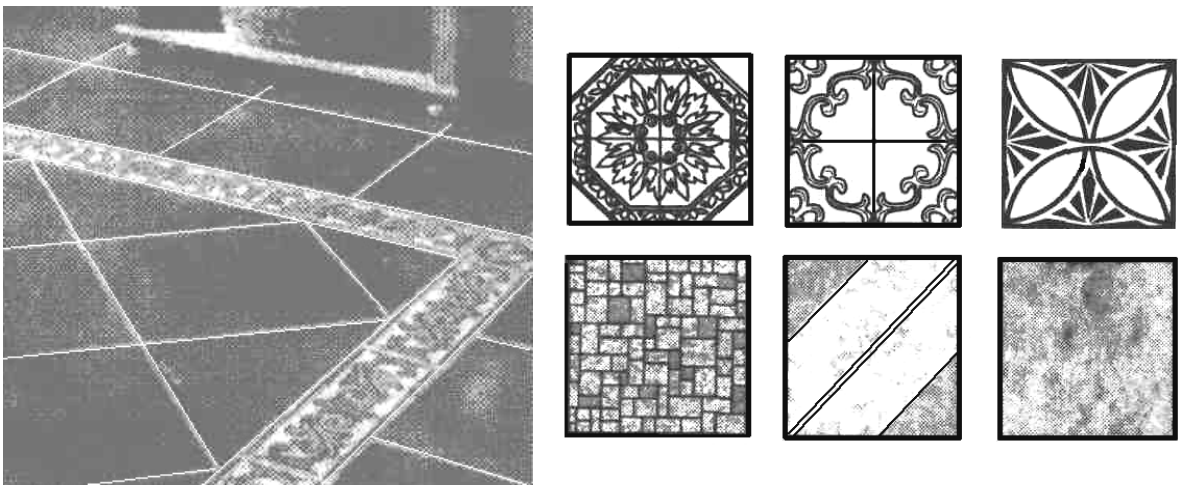


Рис. 8.11. Керамические плитки для полов

Керамические покрытия должны соответствовать следующим требованиям: водопоглощение не более 4,5 %, истираемость не более 0,18 г/см^2, прочность при изгибе не менее 25 ... 28 МПа, морозостойкость не менее F25 (наружные покрытия). Керамические покрытия устраивают в помещениях, подвергающихся систематическому увлажнению: санитарных узлах, банях, кухнях, школах, торговых залах, на лестничных маршах и площадках, в производственных помещениях.

К недостаткам керамических покрытий следует отнести высокое теплоусвоение (из-за большой теплопроводности плотной керамики), низкое сопротивление ударным нагрузкам, низкие акустические свойства (изоляция ударного звука, звукопоглощение, бесшумность), высокая трудоемкость выполнения работ.

Необходимо отметить, что изготовление полов с лицевым слоем из керамических плит в жилых комнатах переживает своеобразный бум в целом ряде стран. Расширение номенклатуры помещений объясняется созданием и распространением устройств для обогрева плит (кабельных или водных). При этом теплоноситель равномерно и быстро нагревает всю толщину пола. Керамические плиты, обладающие высокой теплопроводностью, относились к «холодным» покрытиям полов, но в этом случае они становятся «теплыми», что обеспечивает более комфортные ощущения, чем при традиционном обогреве помещений.

Кровельный материал из керамики – *черепица* производится из легкоплавких глин путем пластического формования (ленточная) или прессования (штампованная). На сегодняшний день заводы выпускают черепицу нескольких видов: ленточную и штампованную пазовую; ленточную плоскую, волнистую, S-образную; коньковую (рис. 8.12).

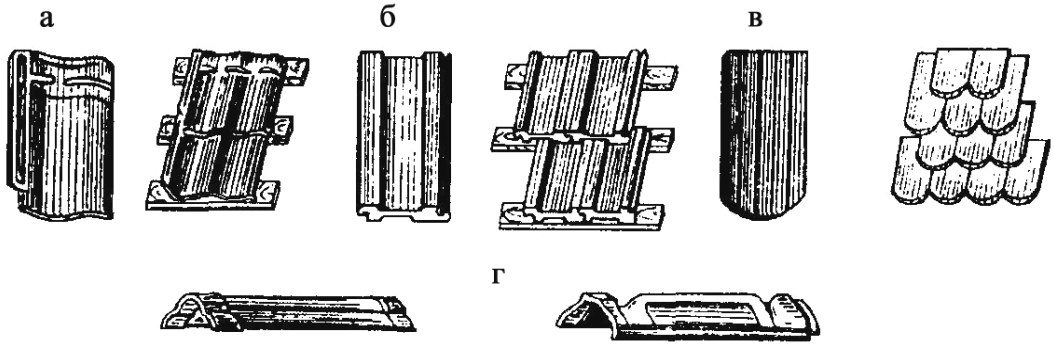


Рис. 8.12. Виды керамической черепицы:
а – штампованная пазовая; б – ленточная пазовая; в – ленточная плоская; г – коньковая

Керамическая черепица должна обладать высокой плотностью, морозостойкостью не менее F25, прочностью на излом 7 ... 10 МПа, огнестойкостью. Недостатками являются большая масса (до 60 кг/м^2), хрупкость, уклон кровли должен быть не менее 30 %.

Используют керамическую черепицу для кровельных скатных покрытий малоэтажных зданий, отдавая дань архитектурной выразительности этого материала и высокой долговечности.

Большая пористость керамических **теплоизоляционных** материалов создается путем введения в глиняную массу пенообразователей и выгорающих добавок. Специальные теплоизоляционные материалы отличаются высокой прочностью и возможностью применения в условиях температур до 900 °С.

Санитарно-технические керамические изделия (ванны, раковины, унитазы, умывальники и др.) изготовляют из фаянса, полуфарфора и фарфора. Санитарно-технические изделия покрывают прозрачной или глухой (белой или цветной) глазурью.

Фарфором называют плотный керамический материал с черепком белого цвета, с водопоглощением 0,2 ... 0,5 %, прочностью на сжатие до 500 МПа, обладающий химической стойкостью.

Фаянс – керамический материал с мелкопористым черепком обычно белого цвета. Водопоглощение фаянса составляет 19 ... 22 %, предел прочности при сжатии – 60 ... 110 МПа.

Полуфарфор по своим свойствам занимает промежуточное значение между фаянсом и фарфором.

Керамические трубы подразделяют на дренажные для мелиоративных систем и канализационные для отвода сточных и щелочных вод. *Канализационные трубы* выпускают цилиндрической формы (длиной 800 ... 1200 мм, внутренним диаметром 100 ... 600 мм) с раструбом на одном конце для соединения. Сырьем служат пластичные тугоплавкие глины. Трубы покрывают глазурью, как правило, коричневого цвета. *Дренажные трубы* выпускают диной 333 мм с внутренним диаметром 50 ... 250 мм в форме цилиндра, шести- или восьмигранника. Марка по морозостойкости не менее F15. Формуют трубы пластическим способом.

Для изготовления *дорожного кирпича* (клинкерного) применяют тугоплавкие глины. Характерный размер такого кирпича 200×110×65 или 220×110×75 мм. Водопоглощение составляет 2 ... 6 %, прочность при сжатии – 40 ... 100 МПа, морозостойкость не менее F100. Кроме дорожного

строительства, его применяют для устройства тротуаров, полов промышленных зданий.

Кислотоупорные керамические материалы (кирпич, плитки, трубы и фасонные части к ним) получают из глин, которые не содержат примесей, понижающих химическую стойкость (например, гипса, карбонатов). Процесс спекания таких глин происходит при достаточно высокой температуре обжига (около 1200 °С). В результате материал нерастворим в кислотах, щелочах и используется для футеровки башен, резервуаров, при строительстве специальных печей на предприятиях с агрессивной средой.

Огнеупорные керамические материалы в виде кирпича, фасонных изделий применяют при строительстве промышленных печей, топок и оборудования, работающих при температуре 1580 ... 1770 °С. Высокоогнеупорные и высшей огнеупорности материалы выдерживают эксплуатационную температуру соответственно до 2000 °С и выше. К этим материалам предъявляется дополнительные требования по прочности и химической стойкости по отношению к газам, расплавленным металлам, стекломассам.

Применяют в основном кремнеземистые, алюмосиликатные, шамотные (из смеси огнеупорной глины и порошка обожженной и размолотой такой же глины) и легковесные огнеупоры. Последние отличаются сравнительно высокой пористостью – до 83 % и низкой средней плотностью 400 ... 1300 кг/м^3.

Керамические краски – смеси жаростойких минеральных пигментов с легкоплавкими стеклами (надглазурные краски) или с керамическими массами и глазурями (подглазурные краски). Указанные составы после обжига материала обладают ярким и сочным цветовым тоном, высокой стойкостью к действию света и различных климатических факторов.

8.4. Эстетические характеристики керамики

Эстетические свойства керамических материалов связаны с видом и составом используемого сырья (в первую очередь глины), параметрами различных технологических операций и могут регулироваться в процессе производства.

Большинство месторождений глин содержит оксиды железа в количестве, обеспечивающем керамическим стеновым материалам различные оттенки красного цвета. При наличии в глинах большого количества известковых включений изделия приобретают светло-коричневые и бежевые

тона. Добавляя в глиняную массу из светложгущихся глин минеральные красители, можно получать керамические изделия разных цветов и оттенков. Красные тона получаются при наличии оксидов железа, коричневые – марганцевых руд, серые – хромистых. Цвет изделия заметно изменяется при добавлении к светложгущейся глине обычного легкоплавкого суглинка. При содержании оксида железа в пределах 0,8 ... 1,3 % цвет меняется от чисто-белого до молочного, в диапазоне 2,7 ... 4,2 % от светло-желтого, охристого переходит к темно-желтому; при 5,5 % изделие становится светло-красным, а при 8,5 ... 10 % – цвет плавно переходит от ярко-красного к темно-красному. При обжиге изделия могут приобретать также темно-серый или даже черный цвет.

Рельефный рисунок получают при обработке лицевой поверхности керамических стеновых материалов в процессе формования специальными валиками, щетками, гребенками или горизонтальными струнами. Применяют валики с тупыми или острыми выступами, щетки из грубой или тонкой проволоки. Для отделки материалов, имитирующей древесную кору, используют горизонтальную струну, срезающую тонкий слой с поверхности глиняного бруса, с помощью стержней разделяют срезанный слой глины на продольные равные волокна, а затем гладким валиком прижимают образовавшиеся волокна к брусу.

Керамические стеновые материалы отделывают также методом торкретирования сухой минеральной крошки на лицевую поверхность. Минеральная крошка вдавливается в тело глиняного бруса, образуя оригинальные зернистую фактуру и цвет. Для торкретирования можно использовать кварцевый песок, шамот, бой стекла, отходы производства фарфора и фаянса, керамических плиток.

Цветной лицевой слой на керамических стеновых материалах образуется после подачи в формующее устройство (мундштук) двух пластичных глиняных масс. Одна из них обычно представляет цветную глину различных месторождений или с добавкой природных красителей (железных, марганцевых, гематитовых руд, охры), а также пигментов, вырабатываемых на заводах керамических красок. Кроме указанных компонентов, в состав цветной массы входит кварцевый песок. Содержание глины обычно не менее 50 %, песка не менее 27 %.

Декоративный слой с гладкой матовой или блестящей фактурой на стеновой керамике получают путем соответственно ангобирования или глазурования.

Большое значение в современной лаконичной архитектуре имеет декоративно-художественная керамика для настенных панно, декоративных вставок, объемных композиций, решеток, элементов малых форм.

Оценка эффективности керамических материалов в архитектуре связывается с положительным опытом их применения в течение многих сотен лет. С эстетической точки зрения важны ощущения чистоты глазурованных изделий, «теплоты» материалов красного цвета различных оттенков, «штучности» керамического кирпича, плиток и плит, оставляющей впечатление «ручной» работы.

В заключение следует отметить, что керамические материалы экологически безопасны.

Вопросы для самопроверки

1. Какие материалы называют керамическими?
2. Приведите примеры применения керамических материалов в древности.
3. С какой целью в глинистые массы вводят добавки: отощающие, пластифицирующие, выгорающие, плавни, порообразующие, повышающие стойкость к агрессивным средам?
4. Какие способы формовки вы знаете? В чем их отличие?
5. Появление, каких необратимых дефектов возможно в керамических материалах в процессе обжига?
6. В чем отличие между кирпичом и камнем керамическим?
7. По каким признакам классифицируют искусственные каменные материалы?
8. По каким показателям определяется марка кирпича?
9. Какие требования предъявляются к керамическим плиткам для полов?
10. Какие виды глиняной черепицы и керамических труб выпускаются предприятиями? Где их используют?
11. Назовите виды санитарно-технических изделий из керамики. В чем заключается различие между фарфором и фаянсом?
12. Где применятся кислото- и огнеупорные керамические материалы?
13. От чего зависит цвет получаемых керамических материалов и изделий?
14. Какие способы отделки лицевых поверхностей стеновых материалов вы знаете?

ГЛАВА 9. МАТЕРИАЛЫ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

9.1. Общие сведения о стекле

В глубокой древности в странах Ближнего Востока (Сирии, Египте) стекло применяли для имитирования драгоценных камней, изготовления украшений, декорирования изделий из природного камня или керамики. Не случайно и в древней архитектуре учитывали декоративные характеристики стекла. Зодчие Древнего Рима в I в. до н.э., отдавая дань оригинальным свойствам стекла, украшали стеклянными пластинками полы, стены, потолки и колонны общественных зданий.

Еще ранее, с IV в. до н.э., в Месопотамии широко применялась стеклянная мозаика. Мозаика и смальта использовались и в Древней Греции с III в. до н.э. Великолепные мозаики создавались на территории Византийской империи в V – VI вв. (во дворце императоров, соборе Св. Софии в Константинополе и др.). С IX в. стекло для декоративной мозаики применялось во многих странах. В Киевской Руси мозаика с XI в. украшала полы, стены, своды и колонны храмов в Киеве (Софийский собор, Михайловский монастырь), Новгороде, Полоцке, Чернигове (рис. 9.1).

Большое значение для эстетики интерьеров в Венеции с XIV в. стало играть зеркальное стекло, производство которого стало массовым с XVII в.

С VI в. до н.э. в Римской Республике стекло стало широко использоваться для заполнения оконных проемов. Это было литое толстое стекло с оплавленными краями. В Византии качество оконного стекла достигло высокого уровня в IV в. И вот уже на протяжении более 19 веков, стекло применяется для окон – проемов в несущей массивной стене.

Особую роль в истории архитектуры с VI в. играли декоративные витражи. Стекло для них производилось вначале литьем, а затем цилиндрическим способом – методом выдувания. Готический стиль в архитектуре Франции XII в. характеризовался и расцветом витражного искусства – почти во всех городах храмы украшались витражами. Всемирно известны витражи собора Парижской Богоматери, соборов Лана, Шартра, Пуатье (рис. 9.2).

Во второй половине XIX в. наступил принципиально новый этап в истории применения строительных материалов из стекла, которые стали оказывать огромное влияние на конструктивные особенности и архитектурный образ зданий. В это время коренным образом совершенствуется технология производства листового стекла.



Рис. 9.1. Иоанн Златоуст. Мозаика собора Св. Софии в Киеве. Середина XI в.



Рис. 9.2. Богоматерь с младенцем. Витраж собора в Шартре. XII в. Франция

В XX в. широкое использование стекла, стали и железобетона позволило отказаться от традиционных форм, соотношений и размеров элементов архитектурных конструкций зданий. Оптические, тепло- и солнцезащитные свойства, высокие прочностные и эстетические характеристики строительных материалов из стекла представляют огромные возможности для выражения творческих замыслов архитектора. Большие остекленные поверхности современных общественных зданий в большой мере определили их архитектурный облик.

9.2. Основы производства и свойства материалов из минеральных расплавов

Материалы из стекла имеют искусственную аморфную структуру, их получают из минерального расплава. Переход из жидкого расплава в твердое стеклообразное состояние является обратимым процессом.

Сырьем для производства материалов из стекла служат кварцевый песок (75 %), кальцинированная сода, мел, доломит, известняк. Для улучшения свойств в состав вводят добавки: осветлители, обесцвечиватели, красители.

Осветлители вводят в шихту для освобождения стекломассы от видимых пузырей, т.е. для ее осветления. Обесцвечиватели вводят в стекломассу, чтобы устранить нежелательные сине-зеленые или желто-зеленые оттенки, которые стекломасса приобретает из-за примесей железа в сырьевых материалах. Красители служат для окрашивания стекла в тот или иной цвет. Обычно в качестве красителей используют соединения металлов.

Производство стекла состоит из подготовки сырьевых материалов (сушка, дробление, фракционирование), приготовления шихты, варки стекломассы, изготовления стеклянных материалов и изделий.

Варка подготовленной шихты производится в печах различного типа. Листовое светопрозрачное стекло варят в ванных печах непрерывного действия. При этом выделяют пять стадий стекловарения: силикатообразование при температуре 800 … 900 °С, стеклообразование (1100 … 1200 °С), осветление и гомогенизация (1400 … 1600 °С), остывание до формовочной температуры (1100 … 1200 °С).

Формование изделий их стекломассы производят следующими способами: прессованием, прокатом, вытягиванием, на расплаве металла (флоат-способ). Последние два способа широко распространены в стекольной промышленности при производстве листового стекла.

Способ вертикального вытягивания состоит в транспортировании снизу вверх с помощью валков машины ленты стекломассы (после остывания) шириной до 3 м.

Флоат-способ (рис. 9.3) – наиболее производителен и эффективен. Поверхность ленты стекла получается гладкой и не требует дополнительной шлифовки и полировки, нижняя поверхность – за счет контакта с предельно ровной поверхностью расплавленного металла (олова), а верхняя – поверхностного натяжения.

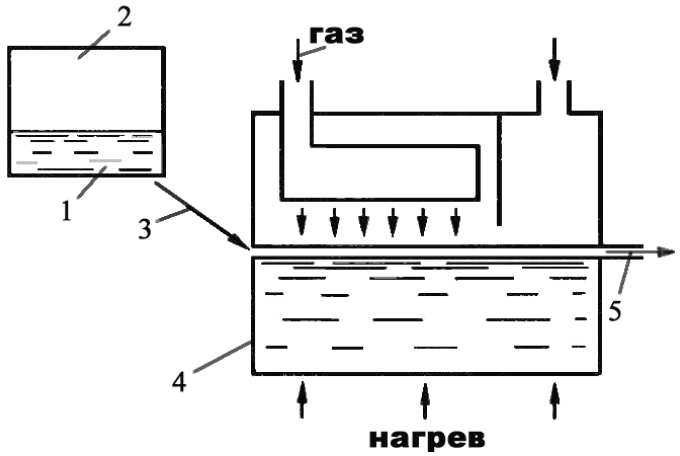


Рис. 9.3. Схема формования листового стекла на расплаве металла
1 – стекломасса; 2 – газовое пространство печи;
3 – слив; 4 – ванна с расплавом металла; 5 – лента стекла

После формования материал по специальному режиму подвергают отжиг-охлаждению. В результате снижаются полученные при формовании внутренние температурные напряжения, возникающие вследствие более высокой скорости остывания наружных слоев стекла по сравнению с внутренними. Наружные слои стремятся к сжатию, а внутренние – более нагретые – препятствуют этому.

Отделку лицевой поверхности стекла производят механическим, химическим способами и путем нанесения различных покрытий.

Механическая обработка включает резку, шлифование, гравирование, пескоструйную, ультразвуковую и др. Огневая полировка поверхности шероховатого стекла производится при высокой температуре.

Химическая обработка состоит из травления и матирования (обработка поверхности парами фтористого водорода, плавиковой кислотой, матирующими пастами или другими веществами), химического полирования, выщелачивания (для повышения светопроницания и получения «радужного» эффекта), декорирования цветными протравами (диффузия) и др.

Покрытия на поверхности стекол наносят в виде слоев керамических и других красок, эмалей, фактурных посыпок, солей и оксидов металлов и др. В результате воздействия нагревом ниже температуры размягчения стекла происходит сплавление поверхностного слоя с нанесенным покрытием.

Область применения стекол зависит от их свойств. Плотность стекла составляет 2500 … 2700 кг/м^3. Пористость у стеклянных материалов (за исключением теплоизоляционных и звукопоглощающих) отсутствует. Теплопроводность стекла, в зависимости от состава, в пределах 0,5 … 1 Вт/м·°С (теплоизоляционные материалы из стекла обладают низкой теплопроводностью – 0,032 … 0,14 Вт/м·°С). Температура размягчения стекла зависит от химического состава. Для строительных стекол она составляет 500 … 700 °С.

Стеклянные светопрозрачные материалы обладают высокой стойкостью к агрессивным веществам, за исключением фосфорной и плавиковой кислот.

Предел прочности при сжатии материалов из стекла может достигать 1000 МПа и более (у оконного стекла ~ 90 МПа), а при растяжении всего – 30 … 60 МПа. Трещины, царапины снижают прочность при растяжении в 4 … 5 раз.

Материалы из стекла относятся к хрупким, у них отсутствуют пластические деформации. Прочность при ударном изгибе составляет всего около 0,2 МПа, что ограничивает его применение. Заметно повышается ударная прочность стекла после дополнительной тепловой обработки (за-

каливание) или нанесения на поверхность тонких пленок различного состава, в том числе полимерных.

Принципиальное значение для функционального назначения светопрозрачных стеклянных материалов имеют оптические свойства. Эти свойства характеризуются в основном светопропусканием, поглощением и отражением. Светопропускание (прозрачность) стекла – от 0 до 97 %, для оконного – 88 %.

К стеклокристаллическим материалам относят ситаллы, шлакоситаллы и каменное литье. Общим признаком этих материалов является наличие как стекловидной, так и кристаллической составляющих. В массе стекла равномерно распределены кристаллы размером 0,01 … 0,1 мкм в количестве примерно 50 … 90 % по объему. Благодаря особенностям строения стеклокристаллические материалы обладают более высокими физико-механическими свойствами.

Ситаллы получают путем введения в шихту кристаллических веществ (оксидов металлов или соединений фтора), играющих роль катализаторов процесса кристаллизации. Плотность ситаллов 2500 … 2750 кг/м^3, температура размягчения – 900 … 1200 °С. Ситаллы прочнее стекла, так прочность при сжатии составляет 1000 … 1600 МПа, при растяжении 25 … 500 МПа. Они химически и термически устойчивы, обладают хорошими диэлектрическими свойствами.

При использовании в качестве исходного сырья шлаков черной металлургии получают *шлакоситаллы* с пределом прочности при сжатии 90 … 130 МПа, высокой химической стойкостью и низкой истираемостью – 0,013 … 0,03 г/см^2. Производство материалов из шлаковых расплавов, прежде всего огненно-жидких шлаков металлургической промышленности, весьма выгодно и экономично: не требуется специальных плавильных печей и дополнительных затрат топлива.

Каменное литье – это искусственный материал, получаемый расплавлением при 1400 … 1500 °С горных пород с последующей тепловой обработкой разлитого по формам расплава. В зависимости от сырья и цвета различают каменное литье: темное – из вулканических горных пород (базальт и диабаз – 88 %) и металлургических шлаков (12 %); светлое – из кварцевого песка и осадочных горных пород (кварцевый песок – 46 %, доломит – 32 %, известняк – 22 %).

По своим техническим свойствам изделия из плавленых горных пород и шлаков не уступают природным каменным материалам.

Изделия из каменного литья отличаются большой плотностью (2900 … 3000 кг/м^3). Вследствие малой пористости (не более 1 … 2 %) и ее замкнутого характера плавленые изделия почти не поглощают воду, поэтому они морозостойки, хорошо сопротивляются коррозии, в том числе действию концентрированных серной и соляной кислот. Высокая долговечность сочетается с большой прочностью. Предел прочности при сжатии составляет 200 … 240 МПа, при изгибе 40 … 50 МПа, при растяжении 20 … 30 МПа. Истираемость каменного литья составляет 0,7 г/см^3, т.е. в 2 … 5 раз меньше, чем гранита, базальта, диабаза.

Плавленые каменные изделия обладают хорошими диэлектрическими свойствами и отличаются высокой термостойкостью, их можно армировать и сваривать.

9.3. Область применения материалов из стекла и других минеральных расплавов

Материалы из стекла и других минеральных расплавов можно разделить на две основные группы: светопрозрачные и непрозрачные (облицовочные, специального назначения: теплоизоляционные, звукопоглощающие, кислотоупорные).

Из **светопрозрачных материалов и изделий** наиболее распространено в строительстве *оконное стекло* – бесцветное с гладкими поверхностями. Листы оконного стекла выпускаются, например, шириной 250 … 1600, длиной 250 … 2200 мм, толщиной 3 … 6 мм. Масса 1 м^2 стекла 2 … 5 кг.

Витринное стекло представляет собой крупногабаритные бесцветные листы, как правило, полированные, размером примерно от 1700×1250 мм до 3500×6000 мм при толщине 5,5 … 10 мм.

Оконное и витринное стекла основные по объему производства и применения, но ими не исчерпывается богатая и разнообразная палитра стеклянных листовых материалов.

Узорчатое, матовое и матово-узорчатое стекла отличаются оригинальными эстетическими характеристиками. Узорчатое стекло имеет на одной или обеих поверхностях четкий рельефный рисунок глубиной 0,5 … 1,5 мм. Обычно такое стекло изготовляют толщиной 3 … 6 мм прокаткой на машинах, верхний вал которых имеет соответствующий узор. Однако орнаментный рельеф можно выполнить и другими способами. Узорчатое стекло может быть бесцветным и цветным, армированным, просвечивающим и непрозрачным. Хорошо просвечивающее узорчатое стекло благода-

ря сплошному рельефному рисунку является светорассеивающим. Применяют такое узорчатое стекло для остекления дверей, перегородок и других ограждений, для создания мягкого освещения и защиты от прямого солнечного света. Для облицовки используют непрозрачное стекло.

Матовое стекло получают из оконного стекла толщиной 3 … 6 мм при помощи пескоструйной или химической обработки одной или обеих сторон.

Матово-узорчатое стекло изготовляют аналогичной обработкой одной поверхности по трафарету с определенным рисунком (рис. 9.4). Если на поверхность матированного стекла нанести слой столярного клея и подвергнуть его термообработке, то после снятия клея образуется матово-узорчатое стекло «мороз», имитирующее рисунок замерзшего стекла. К матово-узорчатым стеклам относится и стекло «метелица» с оригинальным рельефным рисунком из произвольно чередующихся участков с матовой и обычной поверхностью.

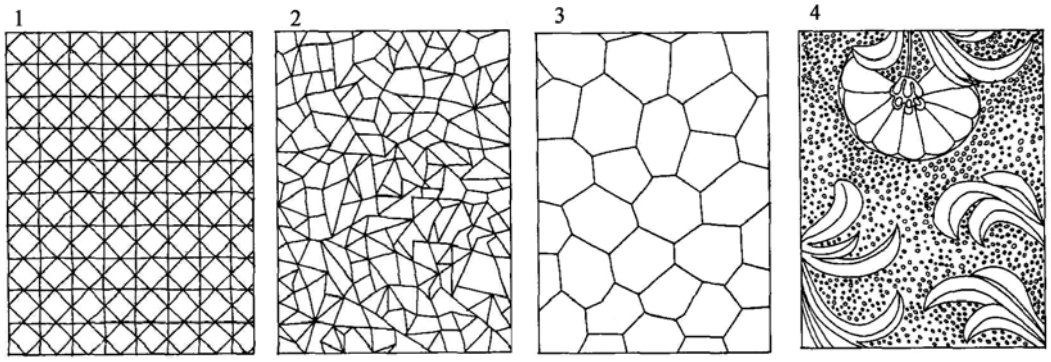


Рис. 9.4. Виды рельефных рисунков на лицевой поверхности:
1, 2, 3 – узорчатого; 4 – матово-узорчатого стекла

Цветное стекло может быть однослойным, окрашенным в массе, и двухслойным из бесцветной стекломассы с цветным накладным слоем толщиной 1 мм. Такое стекло обычно изготовляют десяти цветов: красное, синее, темно-синее, зеленое, лунно-белое, голубое, серое, молочное, желтое, лимонное. Толщина стекла 3 … 4,5 мм. Его применяют для декоративного остекления световых проемов, устройства перегородок, изготовления витражей.

Армированное стекло имеет в середине параллельно поверхностям сварную светлую металлическую сетку из термообработанной стальной проволоки диаметром 0,35 … 0,45 мм (рис. 9.5). Стекломасса армируется в процессе формования способом проката. Прочность стекла при этом не увеличивается и даже снижается, но такое стекло безопасно. При разрушении стекла от механических и тепловых воздействий осколки удерживаются металлической сеткой. Армированное стекло может иметь гладкую, кованую или узор-

чатую поверхность, быть плоским и волнистым, бесцветным и цветным. Армированное стекло служит для остекления световых проемов и дверей (при повышенных требованиях к безопасности и огнестойкости остекления), фонарей верхнего света, для ограждения балконов, лоджий, лестниц, лифтовых шахт, для устройства перегородок и светопрозрачных кровель.

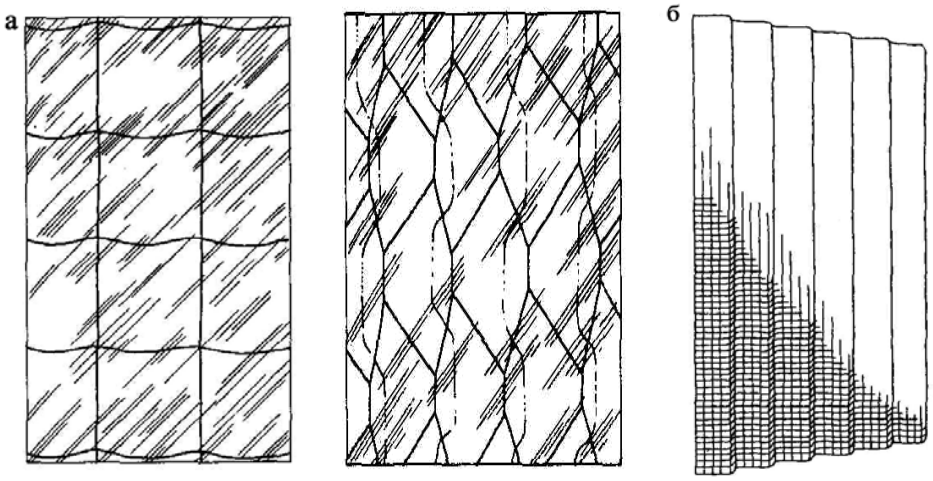


Рис. 9.5. Армированное стекло: а – плоское; б – волнистое

Закаленное стекло имеет сравнительно высокую механическую прочность и термостойкость. Это достигается обработкой листового стекла толщиной 4,5 … 6,5 мм нагреванием до 640 ± 10 °С и последующим резким, но равномерным охлаждением поверхностей потоком воздуха, реже жидкостью. Закалка в 5 … 6 раз повышает прочность стекла при изгибе и ударе, в 2 раза увеличивает его термостойкость, совершенно изменяет характер разрушения материала – он распадается на мелкие осколки с округленными гранями. Закаленное стекло используют для остекления витрин и световых проемов общественных зданий, сплошных стеклянных дверей, перегородок и других ограждающих конструкций, к которым предъявляются требования повышенной стойкости к возможным ударным воздействиям.

В современной архитектурно-строительной практике часто применяют, в том числе при больших площадях остекления, светопрозрачные стекла, позволяющие регулировать тепловые и световые потоки. К таким стеклянным материалам относятся *теплопоглощающие* (введение в состав стекломассы оксидов железа, кобальта, селена), *теплоотражающие* (нанесение на поверхность тонких пленок металлов и их оксидов) и др. Эти материалы рациональны с эксплуатационно-технической точки зрения, но они в большой мере определяют и эстетику внешнего облика здания и сооружения.

Не менее популярны *многослойные стекла,* среди которых стекла повышенной безопасности – триплекс (из двух листов, склеенных полимерной пленкой); повышенной безопасности и прочности, в том числе пуленепробиваемые (из склеенных листов закаленного стекла); регулирующие тепловые и световые потоки за счет соответствующих характеристик склеивающих слоев. Например, электрохромное стекло имеет оригинальный токопроводящий слой, позволяющий в зависимости от электронапряжения изменять величину тепловых потоков и цвет материала в процессе эксплуатации.

Среди светопрозрачных изделий выделяют малогабаритные (блоки стеклянные пустотелые) и крупногабаритные (стеклополотна, стеклопакеты, профильные).

Блоки стеклянные пустотелые получают сваркой по периметру двух прессованных полублоков, стекломасса которых может быть бесцветной или цветной. Внутренняя поверхность гладкая или с рельефным рисунком (рис. 9.6). В процессе герметической сварки в блоке создается частичное разрежение воздуха, повышающее теплоизоляционные свойства. Блоки имеют квадратную или прямоугольную форму, но могут быть и другой формы, в том числе криволинейной, угловой (рис. 9.7). Масса блоков обычно 2,4 и 4,3 кг.

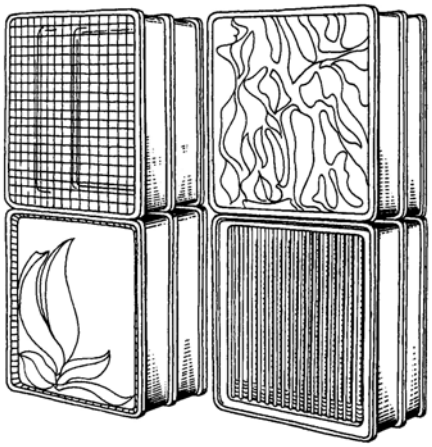


Рис. 9.6. Рисунки на стеклоблоках

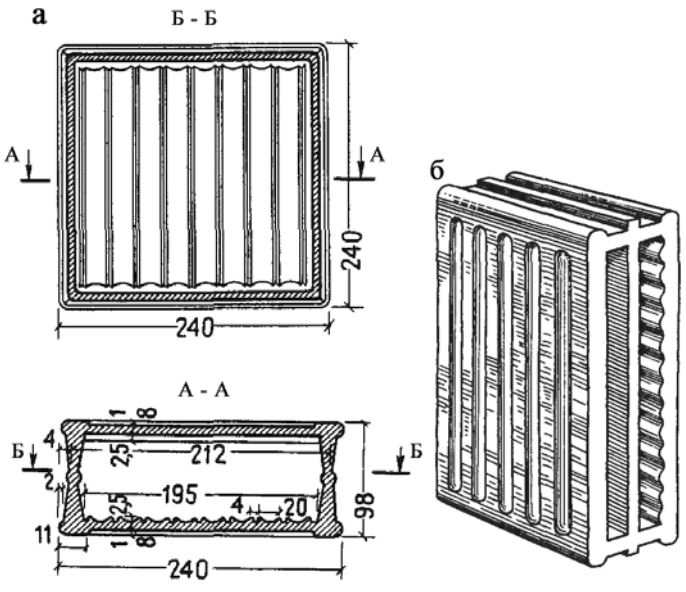


Рис. 9.7. Виды стеклоблоков: а – продольный и поперечный разрезы однокамерного блока; б – поперечный разрез двухкамерного блока

Стеклоблоки предназначены для кладки наружных ограждений, перегородок, заполнения светопроемов в жилых, общественных и промышленных зданиях. Ограждение из стеклоблоков выкладывают на цементном растворе с армированием проволокой в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 9.8).

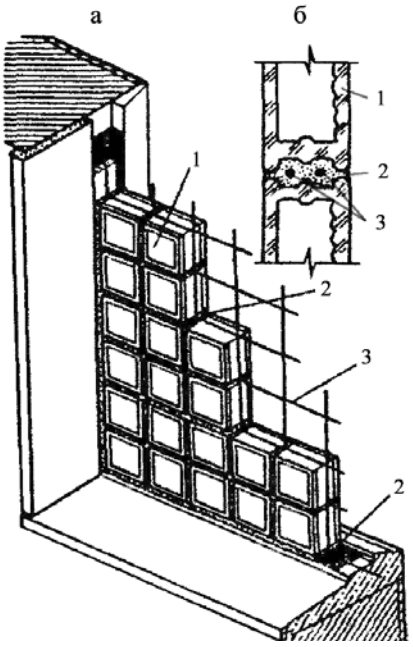


Рис. 9.8. Световой проем из стеклоблоков (а) и узел соединения стеклоблоков (б): 1 – стеклоблоки; 2 – цементный раствор

Стеклополотна представляют собой листы закаленного утолщенного стекла для заполнения дверных проемов в общественных зданиях. Стеклополотно выпускают с обработанными кромками и необходимыми для крепления вырезами и отверстиями. Дверные полотна могут быть из полированного или неполированного стекла, прозрачного и светорассеивающего (узорчатого, кованого), бесцветного и окрашенного.

Стеклопакеты получают при соединении по контуру с определенным зазором двух или более листов стекла. Между листами стекла образуются герметически замкнутые прослойки, заполненные воздухом или, например, аргоном. По конструктивным особенностям и способам изготовления выделяют стеклопакеты клееные, паяные и сварные (рис. 9.9). В зависимости от назначения для стекпопакетов используют оконное, витринное, закаленное, теплопоглощающее и другие стекла.

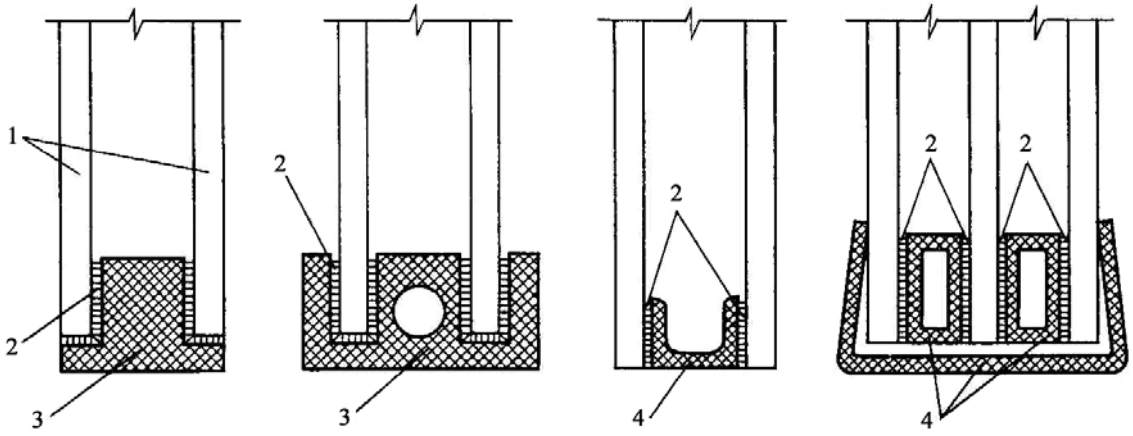


Рис. 9.9. Соединение стекол в стеклопакеты:
1 – стекло; 2 – клей; 3 – пластмассовый профиль; 4 – металлический профиль

Площадь стеклопакета до 5 м^2, расстояние между стеклами 15 … 20 мм. Стеклопакеты отличаются пониженной теплопроводностью, хорошей звукоизолирующей способностью, не замерзают и не запотевают при температуре наружного воздуха – 20 °С (и ниже для двухкамерных). Применяют стеклопакеты для заполнения оконных проемов, витрин и т.д.

Стекло строительное *профильное* формуют на прокатных установках из бесцветного или цветного стекла в виде непрерывного профильно-погонажного материала коробчатого или швеллерного сечения, с гладкой, рифленой или узорчатой поверхностью. Стеклопрофилит может быть армирован металлической сеткой. Максимальная длина стеклопрофилита коробчатого сечения 5 м, швеллерного 7 м. Размеры сечения могут быть разными, например 250×50 мм, толщина стекла 5,5 мм.

Ограждающие конструкции из стеклопрофилита собирают, устанавливая его в вертикальном положении, с герметизацией швов нетвердеющими мастиками или эластичными прокладками. Стена из коробчатых профилей отличается сравнительно высокой звукоизоляцией, дает мягкий рассеянный свет.

Профильное стекло используют для светопроницаемых ограждений (самонесущих стен, перегородок, кровель) в гражданском и промышленном строительстве.

К **светонепрозрачным облицовочным материалам** из стекла относятся стемалит, марблит, эмалированные плитки, смальта, стекломозаичные, зеркальные и стеклокристаллические плитки.

Стемалит – листы плоского стекла, внутренняя сторона которых окрашена керамической краской. Листы подвергают термообработке, при которой происходит закалка стекла и закрепление краски. Размер листов стемалита, как правило, не менее 900×400 и не более 2400×1200 мм, толщина 5 … 7,5 мм. Такое облицовочное стекло различных цветов применяют для отделки фасадов, интерьеров общественных и промышленных зданий, ограждений балконов, лоджий.

Марблит – материал в виде плоских прямоугольных или квадратных плит с полированной лицевой и рифленой внутренней поверхностью. Его производят из глушенной цветной стекломассы. Выделяют две разновидности марблита – стеклмрамор и декоративный марблит.

Плиты стеклмрамора различных размеров, часто не более 300 мм по длине и ширине, толщиной 8 … 25 мм, выпускают белого, голубого, синего, бежевого, зеленого цветов, однотонные или с мраморовидным рисунком.

Толщина декоративного марблита 5 … 12 мм, цвет темно-зеленый или черный с кристаллическими вкраплениями в массе и на поверхности, которые блестят при определенном освещении и создают своеобразный декоративный эффект.

Марблит служит для наружной и внутренней облицовки зданий различного функционального назначения.

Эмалированные плитки часто изготовляют из отходов оконного или витринного стекла, разрезая его по заданным размерам и покрывая с одной стороны слоем эмали, закрепляемой при термообработке. Их основные размеры от 100×100 до 200×200 мм при толщине 4 … 6 мм.

Смальта – куски глушеного цветного стекла неправильной формы толщиной до 10 мм, полученные из стекломассы отливкой или прессованием. Ранее из смальты изготовляли мозаичные панно, декоративные вставки при отделке фасадов и интерьеров. В современной лаконичной архитектуре смальта применяется сравнительно редко.

Мозаичные плитки, например, размером 21×21×5 мм, которые получают при прокате или прессовании стекломассы с разнообразными эстетическими характеристиками, позволяют создавать оригинальную отделку интерьеров.

Не менее своеобразна отделка при использовании для облицовки даже небольшого количества плиток и плит с *зеркальной* лицевой поверхностью. Их размеры 50×50, 200×200 мм и др.

Листы и плиты из *шлакоситалла* выпускают квадратной и прямоугольной формы, длиной до 3000, шириной до 1500, толщиной 6 … 15 мм. Лицевая поверхность материала белого, черного и темно-серого цвета, с гладкой или рельефной фактурой. Цвет лицевой поверхности может регулироваться путем нанесения силикатных красок, которые закрепляются при термообработке. Шлакоситалл применяют для наружной и внутренней облицовки зданий, покрытий полов.

Из *каменного литья* выполняют простые и сложные изделия для цокольных частей зданий, карнизных и балконных плит, различные рельефные изделия. Светлолитые изделия из каменного литья применяют в виде плит для облицовки стен зданий.

Материалы из стекла и других минеральных расплавов могут быть теплоизоляционными, звукопоглощающими, кислотоупорными.

Пеностекло – высокопористый материал (пористость до 94 %), получаемый при спекании порошка стеклянного боя с газообразователями. Используется оно в виде плит и блоков в основном для теплоизоляции

стен, покрытий, кровель, тепловых сетей. Цветное пеностекло применяют в качестве акустического и облицовочного материала.

Материалы *из стеклянных волокон* производят в основном в виде плит, а также многослойных холстов. Плиты, например, длиной до 1500, шириной до 1000 и толщиной 50 … 80 мм предназначены для теплоизоляции ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий. Многослойные холсты толщиной 50 и 100 мм из супертонкого стеклянного волокна являются эффективным звукопоглощающим материалом.

Тонкие волокна получают также из *расплава горных пород* (доломита, базальта и др.). Применяя органические или минеральные связующие, выпускают минераловатные плиты, маты для теплоизоляции и звукопоглощающие материалы (см. гл. 7).

Формование материалов осуществляется методами статического или центробежного литья. В производстве волокон, например из базальтового расплава, используют метод раздува струи расплава сжатым воздухом или паром. При изготовлении минеральной ваты расплав обычно получают в вагранке или в другом печном агрегате. Волокна образуются при воздействии подаваемого под давлением пара или воздуха на непрерывно вытекающую из вагранки струю расплава или при подаче пара на валки или диск центрифуги. Полученное минеральное волокно собирается в камере волокноосаждения на непрерывно движущейся сетке. В эту камеру вводят органические или минеральные связующие вещества для получения теплоизоляционных матов и плит.

Из *каменных расплавов* (базальта, диабаза) изготовляют темнолитые материалы – плиты, плитки, брусчатку, отличающиеся высокой прочностью, долговечностью и большой коррозионной стойкостью в агрессивных средах.

Из расплава доменного шлака (после его быстрого охлаждения) получают *шлаковую пемзу (термозит)*, которая служит пористым заполнителем для легких бетонов.

9.4. Эстетические характеристики материалов из стекла

Эстетические характеристики материалов из стекла регулируются в достаточно широких пределах. Пропускание, поглощение и отражение света стеклом зависят от длины волны света. Эта зависимость, а также различие оптических характеристик стекла обуславливают возможность разнообразных цветовых эффектов при освещении стекла.

При оценке внешнего вида материалов из стекла учитывают требования нормативных документов к возможным отклонениям от номинальных и к дефектам лицевой поверхности. Так для листового светопрозрачного стекла в зависимости от марок не допускаются или ограничиваются внутренние и поверхностные пузыри, инородные неразрушающиеся включения, царапины, полосность.

Полосность – порок листового светопрозрачного стекла – связан с получением участков (полос) различной толщины при формовании вытягиванием. При наличии этого дефекта изображение картины, рассматриваемой сквозь стекло, оказывается искаженным: возле полосы изображение кажется растянутым, а на самой полосе – сжатым.

Эстетические характеристики материалов из стекла оценивают с помощью известных измерительных инструментов (микрометры, линейки, угольники, щупы) и визуально – путем сравнения с образцами-эталонами с определенного расстояния.

Архитектурный образ современных зданий и сооружений в большой мере определяется структурой несущих элементов, выявленных на фасаде, и плоскостями из стекла. В основном для них характерны геометрически четкие формы и значительные поверхности из стекла с оригинальными свойствами. Глухие участки навесных стен, влияющие на архитектурный облик зданий, могут быть расположены выше перекрытий или в пределах их примыкания, но часто предусматривается полное остекление этих стен.

Здания с ограждениями из стеклянных материалов могут иметь гладкий фасад (здание ООН) или фасад с развитой пластикой – выступами, углублениями (здание Министерства образования в Рио-де-Жанейро).

Соотношение светопрозрачных и глухих участков фасада, пропорции членения, цвет стекла – это те параметры, которые позволяют создавать навесные стены с разнообразным внешним обликом. Оригинальный внешний вид фасада получают сочетанием светопрозрачных и светонепрозрачных материалов из стекла. Связать воедино вестибюли и фойе с окружающей средой за пределами здания (с улицей, с природой), создать впечатление легкости – характерное стремление архитекторов при проектировании ряда общественных зданий, в этом им помогают прозрачные стеклянные стены (рис. 9.10).

Поверхности из стекла часто используются для выявления пластики фасада вне зависимости от функционального назначения здания (Библиотека Академии Наук РФ, ТАСС в Москве и др.).

Значительные по площади поверхности из стеклянных материалов, регулирующих тепловые потоки, характерны не только для отдельных общественных и административных зданий, но и для ансамблей и целых улиц.

Материалы из стекла широко применяют, в том числе и для придания своеобразного архитектурного облика в зданиях жилого и промышленного назначения, детских садов, школ и вузов.



Рис. 9.10. Фасад вокзального комплекса ж/д станции г. Жлобина

Широкое применение зеркальных стекол, т.е. стекол с высоким отражением в видимой части спектра (нанесение пленок из оксидов металлов и др.), существенно меняет внешний облик зданий, сооружений. Оригинальность «зеркальной архитектуры» привлекает многих современных зодчих (рис. 9.11). Нередко такие здания появляются в контексте исторической городской застройки.

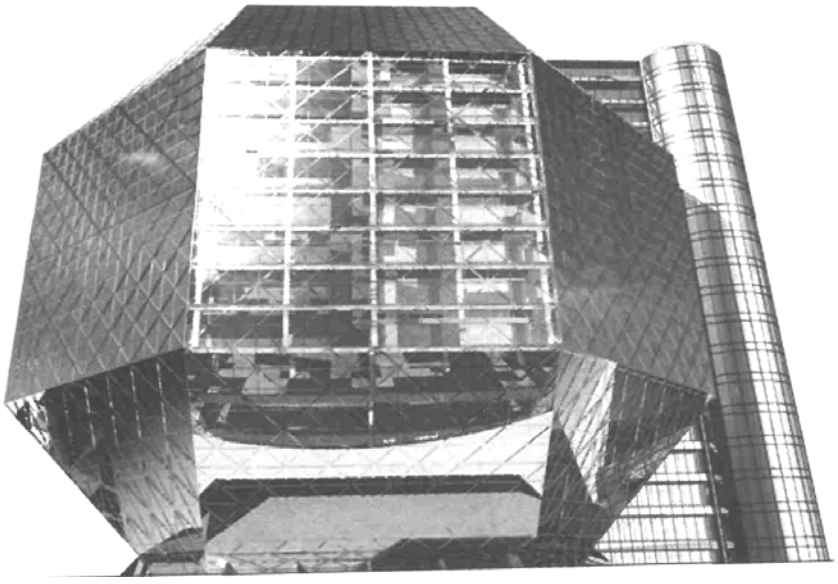


Рис. 9.11. Национальная библиотека Беларуси, г. Минск

Узорчатые, матово-узорчатые, рельефные и цветные листовые стекла для перегородок, дверных полотен оказывают огромное влияние на эстетику интерьеров различного назначения. Не меньшую значимость имеют цветные художественные витражи, которые могут изготовляться не только традиционным способом, но и по новой технологии в сочетании с современными материалами, в том числе с железобетоном, металлическими профилями.

Принципиальное значение имеет и тот факт, что материалы из стекла остаются экологически чистыми на протяжении всего срока их эксплуатации.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое стекло? Что служит сырьем для получения стекла?
2. Для каких целей применялось стекло в архитектуре прошлых веков?
3. Какими способами производят формование изделий из стекломассы?
4. Какими положительными и отрицательными свойствами обладают материалы из стекла?
5. Какие материалы относятся к стеклокристаллическим? В чем заключаются особенности строения стеклокристаллических материалов?
6. Что такое каменное литье? Какими свойствами обладают материалы и изделия из каменного литья?
7. Какие разновидности стекла вы знаете?
8. Какие материалы из стекла относятся к облицовочным светонепрозрачным?
9. Какие теплоизоляционные материалы получают из стекла и других минеральных расплавов?
10. Что такое «зеркальная архитектура» зданий?

ГЛАВА 10. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

10.1. Общие сведения о металлах

Металлы – это простые вещества, имеющие в твердом состоянии кристаллическое строение и обладающие характерными свойствами: высокой плотностью, блеском, непрозрачностью, высокой тепло- и звукопроводностью, пластичностью.

Сплавы металлов (или металлические сплавы) – это твердые и жидкие системы, полученные сплавлением нескольких металлов или металлов с неметаллами (например, железоуглеродистые сплавы). Металлические сплавы по свойствам имеют много общего с металлами и поэтому их часто объединяют единым термином «металлы».

Металлы и металлические сплавы, применяемые для производства строительных материалов, разделяют на две основные группы: черные и цветные. Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом – чугун или сталь. К цветным относят алюминий, медь, цинк, олово, никель, титан, магний, бронзу, латунь.

Металлургия меди, олова, свинца была известна уже в IV в. до н.э., в III в. до н.э. плавили бронзу, во II в. до н.э. – железо. Древнейшее сооружение из железа – колонна в Дели (Индия) относится к V в. до н.э. Но на протяжении многих сотен лет в строительстве применялись лишь малогабаритные изделия из железа (скобы, штыри, закрепы).

В Средние века использовали железные затяжки для придания необходимой прочности распору каменных сводов, как, например, при строительстве Успенского собора во Владимире (XII в.). К системе железных затяжек подвешены потолки Покровского собора (храм Василия Блаженного, XVI в.) в Москве. Тогда же из железа были изготовлены наклонные стропила Архангельского собора, каркасы куполов колокольни Ивана Великого в Москве.

С конца XII в. начинают изготавливать различные изделия из чугуна. Но началом его внедрения в архитектурно-строительную практику считают использование пяти параллельно расположенных чугунных полуциркульных арок пролетом около 31 м при строительстве моста через р. Северн в Англии в XVIII в. С этого времени строительные материалы из чугуна начинают все шире применяться в гражданской и промышленной архитектуре (рис. 10.1).

Массовое применение металлических строительных материалов относится к XIX в. и связано с развитием металлургии стали. В это время строятся сложные инженерные сооружения с применением стальных материалов – ребристых профилей для восьмигранной усеченной пирамиды с крестовыми связями шпиля Петропавловского собора в Санкт-Петербурге (высота 56,43 м, 1859 г.), профилей конструкции сомкнутого свода из четырех полуарок для купола церкви Екатерининского дворца в Царском Селе (высота 20,33 м, 1865 г.), профилей для решетчатой высотной Эйфелевой башни в Париже (высота 300 м, 1889 г.), для покрытий, перекрывающих сравнительно большие пространства в десятки метров, для висячих мостов и др. (рис. 10.2).



Рис. 10.1. Чугунная решетка Летнего сада, г. Санкт-Петербург, 1784 г.



Рис. 10.2. Эйфелева башня, г. Париж

10.2. Основы технологии черных металлов

На долю черных металлов приходится около 95 % производимой в мире металлопродукции. Для придания металлам специфических свойств в их состав вводят улучшающие или легирующие добавки (никель, хром, медь и др.). В зависимости от содержания углерода черные металлы подразделяют на чугуны и стали.

Чугун – сплав железа с углеродом (обычно 2 … 4,3 %), содержащий постоянные примеси кремния, марганца, фосфора и серы, а иногда и легирующие элементы.

Основным сырьевым компонентом для получения металлов являются рудные горные породы. В железных рудах количество железа достигает 70 %. Для производства чугуна используют красный, магнитный, бурый и шпатовый железняк. В руде кроме железа имеется так называемая пустая порода, состоящая из различных природных химических соединений и вредных примесей серы и фосфора.

Обработка сырья предполагает дробление, промывку и обогащение железных руд. В процессе плавки получают металлы, после формования – металлические материалы.

При производстве чугуна кроме железной руды используют агломерат, получаемый спеканием руды с известняком, и флюсы – известняк или доломит. Эти компоненты повышают эффективность процесса производства в доменных печах – огромных вертикальных шахтах высотой до 30 м и объемом до 5000 м^3. В качестве топлива используют кокс. Руду, агломерат, кокс и флюсы загружают в домну перемежающимися слоями, которые постепенно передвигаются вниз под влиянием собственной массы. Горение кокса поддерживается воздухом, предварительно подогретым до 600 … 900 °С в воздухонагревателях.

Образующийся при горении оксид углерода восстанавливает чистое железо; одновременно восстанавливаются содержащиеся в руде марганец, сера, фосфор и кремний. Частично взаимодействуя с оксидом углерода, восстановленное железо образует карбид железа; в результате процесса науглероживания железа содержание углерода в чугуне повышается до 3 … 4 %. Образовавшийся чугун плавится и стекает в горн (нижнюю часть) печи.

Большую часть выплавленного чугуна (80 %) используют для переработки (передела) в сталь – *передельный чугун*. В структуре передельного чугуна преобладает цементит, обеспечивающий твердость и хрупкость металла. Излом такого чугуна серебристого цвета, поэтому чугун называют *белым*. Высокая твердость белого чугуна обеспечивает его высокую износостойкость и плохую обрабатываемость резанием.

Для изготовления фасонного литья применяют *серый* литейный чугун. В литейных чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита, который образуется в результате распада хрупкого цементита. В изломе такой чугун дает серый цвет. Это самый дешевый металлический материал. Он имеет высокие литейные свойства и хорошую обрабатываемость резанием.

Сталь – ковкий (деформируемый) сплав железа с углеродом (до 2 %). Это один из основных конструкционных строительных материалов. От хрупкого чугуна она отличается пластичностью и упругостью. По химическому составу стали делят на углеродистые и легированные. В состав углеродистых сталей кроме железа и углерода входят марганец (до 1 %), кремний (до 0,4 %), а также примеси, попадающие в связи с технологией изготовления, вредные примеси серы и фосфора. Легированные стали дополнительно содержат легирующие элементы (хром, никель, молибден, ванадий, вольфрам, титан) повышающие качество стали.

По способу получения стали разделяют на конвертерные, мартеновские и электростали. Конвертерную сталь получают в стальных футерованных сосудах (конвертерах) емкостью 100 … 350 т и мощностью до 4,5 млн т стали в год, продувая жидкий чугун кислородом с углекислым газом или водяным паром. Одна из причин широкого распространения этого способа получения стали – высокая производительность. Процесс плавки длится не более 30 мин.

В мартеновских печах сталь выплавляют из передельного чугуна и стального лома (скрапа). Топливом является предварительно подогретая воздушно-газовая смесь. Окисленные нежелательные примеси, содержащиеся в чугуне, переводятся в шлак. Плавка стали в мартеновских печах емкостью 500 … 800 т, мощностью до 1 млн. т металла в год длится 4 … 8 ч.

В электрических печах (дуговых, индукционных, электронно-лучевых) выплавляют в основном высококачественные специальные стали. Агрегаты объемом до 400 т перерабатывают твердую шихту, стальной лом, а также жидкие стали из мартеновских печей или конвертеров. В электропечах выплавляется около 80 % металла повышенной прочности. Применение электроплавильного способа ограничено в связи со сравнительно большим расходом электроэнергии.

Широкому использованию в строительстве сталь обязана высоким физико-механическим показателям, технологичности (возможности получения из нее конструкций различными методами) и большим объемам производства.

Плотность стали 7850 кг/м^3, что приблизительно в три раза выше плотности каменных материалов. Предел прочности стальных материалов при сжатии, изгибе и растяжении может достигать 2000 МПа.

Твердость сталей определяют на твердомерах Бринелля (НВ) или Роквелла (HR) по величине вдавливания индентера (закаленного шарика или алмазной пирамидки) в испытуемую сталь. Ее вычисляют в МПа с указанием метода испытаний.

Способность стали противостоять динамическим (ударным) нагрузкам называют ударной вязкостью. Ее значение определяют по величине работы, необходимой для разрушения образца на маятниковом копре. Ударная вязкость зависит от состава стали, наличия легирующих элементов и заметно меняется при изменении температуры. Так у стали Ст3 ударная вязкость при + 20 °С составляет 0,5 … 1 МДж/м^2, а при – 20 °С – 0,3 … 0,5 МДж/м^2.

Теплопроводность стали, как и у всех металлов, очень высокая и составляет 70 Вт/(м·°С).

Температура плавления стали зависит от ее состава и для обычных углеродистых сталей находится в пределах 1300 … 1500 °С (чугун с содержанием углерода 4,3 % плавится при 1150 °С).

Температурная устойчивость стали связана с тем, что при нагревании в ней происходят полиморфные превращения, приводящие к снижению прочности. Небольшая потеря прочности наблюдается уже при нагревании до 200 °С; после достижения температуры 500 … 600 °С обычные стали становятся мягкими и резко теряют прочность. Поэтому стальные конструкции не огнестойки, их необходимо защищать от действия огня.

Сталь подвержена коррозии, поэтому стальные конструкции нуждаются в эффективных методах коррозионной защиты.

10.3. Цветные металлы и их сплавы

Содержание в рудах цветных металлов сравнительно мало. Алюминиевые руды, преимущественно бокситы, содержат 50 … 60 % оксида алюминия (глинозема).

Основы технологии получения наиболее широко используемого в строительстве цветного металла – *алюминия* связаны с выделением оксида алюминия из алюминиевых руд щелочным, кислотным, электротермическим или комбинированным способом, получением первичного металла (чистого алюминия) электролизом оксида алюминия в специальных элек-

ролизных ваннах и очисткой металла от вредных примесей (рафинированием). Методом электролитического осаждения получают и рафинируют и другие *цветные металлы:* осаждением из расплава (аналогично алюминию) получают магний, а из водных растворов – медь, цинк, никель.

Алюминий – легкий серебристо-белый металл (плотность – 2700 кг/м^3). Отличается высокой коррозионной стойкостью на воздухе за счет образования защитной пленки (Al_2O_3), пластичностью, легко поддается прокатке, ковке, прессованию, имеет высокую тепло- и электропроводность. Предел прочности алюминия при растяжении – 90 … 120 МПа, твердость НВ = 25 … 30.

В чистом виде алюминий применяют в строительстве в виде алюминиевой пудры (используемой для приготовления красок, эмалей, в производстве ячеистых бетонов в качестве газообразователя), фольги, электропроводов. Алюминиевую фольгу применяют в качестве отражателя тепловых лучей и декоративного материала.

В строительных конструкциях из-за незначительной прочности чистый алюминий не применяют; для этой цели используют его сплавы с медью, марганцем, цинком, кремнием, магнием и железом.

Сплавы, состоящие из алюминия, меди, магния и марганца, носят название *дюралюминий.* Сплавы алюминия имеют предел прочности при растяжении более 100 МПа. Из них изготовляют плоские и волнистые листы, прокатные, гнутые, клепаные и сварные профили, трубы. Конструкции и изделия из таких сплавов весьма эффективны для устройства оконных коробок и переплетов, дверей и дверных коробок, наружной облицовки зданий и для изготовления легких трехслойных панелей с пенопластовым утеплителем.

Медь – мягкий, ковкий металл красного цвета с плотностью 8800 кг/м^3, температурой плавления – 1083 °С, пределом прочности при растяжении – около 200 МПа. Медь является пластичным металлом, хорошо проводит электричество и теплоту. В архитектурно-строительной практике прошлого наиболее часто использовалась как кровельный, декоративно-отделочный, скульптурный материал. В настоящее время ее применяют для изготовления электрических проводов, как составную часть различных сплавов, редко в качестве кровельного материала для культовых зданий.

Сплав, состоящий из меди и цинка (до 50 %), называют *латунью.* Латунь обладает высокими механическими и антикоррозийными свойствами и поддается горячей и холодной обработке. Иногда к сплаву латуни добавляют свинец, олово, алюминий, кремний и другие (в сумме до 10 %).

Сплав меди с оловом (до 10 %) называют *оловянистой бронзой.* Сплавы меди с алюминием, никелем, кремнием носят название *безоловянистых бронз*. Бронзу применяют в виде изделий для внутреннего оборудования зданий (сантехническая арматура, вентиляционные решетки, детали карнизов, фурнитуры и др.). Бронзы отличаются высокой коррозионной стойкостью, прочностью, твердостью.

В прошлом бронзовое литье достигло высокого совершенства. Из бронзы выполнен «Царь-колокол» массой свыше 200 т в Москве, «Медный всадник» в Петербурге, памятник Минину и Пожарскому на Красной площади в Москве. В современной архитектурно-строительной практике применение бронзы ограничено изготовлением художественных изделий и реставрационными работами.

Цинк получают из сульфидных цинковых руд. Плотность цинка – 7000 кг/м^3. Его температура плавления – 410 °С. При обычной температуре цинк хрупок, при нагревании до 150 °С он становится пластичным. Его применяют главным образом для оцинкования различных стальных изделий (гвоздей, болтов, кровельной стали), в качестве компонента сплавов.

Свинец – мягкий пластичный тяжелый металл. Плотность свинца – 11400 кг/м^3; температура плавления – 325 °С. Свинец хорошо льется и прокатывается, хорошо противостоит действию серной и соляной кислот. Предел прочности при растяжении – до 20 МПа, твердость НВ = 5,9. Свинец непроницаем для рентгеновских лучей и частично не пропускает γ-лучи. Он применяется в строительстве для специальных труб, антикоррозионных покрытий, звуко- и гидроизоляции и как составная часть некоторых легких сплавов. Свинец добывают из сульфидных руд.

Олово – мягкий, устойчивый к коррозии металл. Плотность олова – 7230 кг/м^3; температура плавления – 232 °С. Применяется для лужения стали и меди в качестве припоя и как составная часть цветных легкоплавких сплавов. Предел прочности при растяжении – 35...45 МПа, твердость НВ = 12. Олово добывают из руды, которая называется оловянным камнем.

Сплавы титана (с алюминием вольфрамом, молибденом, хромом) имеют предел прочности при растяжении 700...1200 МПа, который легированием и термообработкой может быть увеличен до 1800 … 2000 МПа. Титановые сплавы сочетают в себе низкую плотность (4500 кг/м^3), высокую твердость (НВ > 1000), коррозионную стойкость и жаропрочность (до 400 °С). Из-за очень высокой стоимости и дефицитности титан в строительстве применяют только для уникальных сооружений.

10.4. Способы получения материалов из металлов

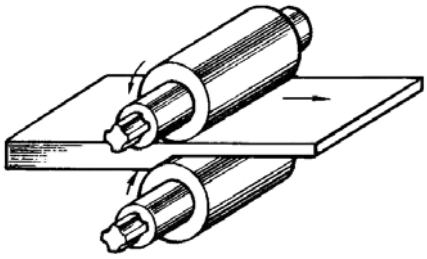


Рис. 10.3. Схема проката металла

Для получения изделий из пластичных металлов применяют следующие способы обработки: прокат, ковка, волочение, штамповка и прессование.

Способом *проката* (обжатия металла между вращающимися валками) изготовляют значительную часть строительных материалов из стали (балки, арматуру и т.д.), листы и проволоку из цветных металлов (рис. 10.3).

Прокатывают металл в холодном и горячем состоянии. Для металлов с высокой пластичностью (медь, свинец, олово, алюминий) применяют холодный прокат. Стальные изделия прокатывают в горячем состоянии при температуре 900 … 1250 °С.

Ковка – процесс деформации металла под действием повторяющихся ударов молота или пресса. Ковка может быть *свободная*, когда металл при ударе молота свободно растекается вовсе стороны, и *штампованная*, когда металл, растекаясь под ударами молота, заполняет формы штампов. Штампованием получают изделия точных форм. При изготовлении болтов, скоб, анкеров применяют свободную ковку.

Волочение заключается в протягивании металлической заготовки через отверстие, сечение которого меньше сечения заготовки. Способом волочения изготавливают тонкостенные изделия – трубки, круглые, квадратные, шестиугольные прутки и арматуру.

Способом *прессования* изготовляют профильные материалы и трубы из сталей или цветных металлов. При этом металл выдавливается под давлением с помощью гидравлического или механического прессов из замкнутого контейнера через отверстие матрицы, форма и размеры которой определяют сечение формуемого профиля.

Термической, химико-термической и другой специальной обработкой достигается направленное изменение структуры и механических свойств металла – твердости, прочности, ударной вязкости, сопротивления износу и др. Такое улучшение необходимых свойств обеспечивается путем нагрева и последующего охлаждения металла в строго заданном режиме. Например, термообработка стали, уменьшает ее структурную неоднородность, снижает возникшие при обработке литьем или давлением напряжения, повышает прочность, улучшает ее обрабатываемость.

10.5. Область применения металлических материалов и изделий

Из **чугуна** выполняют опорные части колонн (подушки), тюбинги – укрепляющие своды тоннелей, трубы, радиаторы, санитарно-технические изделия. Чугунные гладкие и рифленые плиты применяют для покрытий полов подвергающихся большим ударным нагрузкам, а также в горячих цехах, где их применяют в зонах нагрева пола до 1000 … 1400 °С (остывание на полу раскаленных металлических болванок и деталей, попадание расплавленного металла в виде брызг).

Перечень материалов из чугуна ограничен, так как чугун обладает существенными недостатками – высокой плотностью и хрупкостью. Весьма редко в современном строительстве используют архитектурно-художественные детали, полученные способом литья из чугуна: детали оград, решеток, кронштейнов, фонарей и др.

Сталь, наряду с бетонами, – главнейший конструкционный материал. В основном применяют углеродистую сталь обыкновенного качества (выделяют также качественные, высококачественные и особо высококачественные стали с соответствующим уменьшением вредных примесей), а также легированные стали. Легированные стали обладают повышенной прочностью за счет присадок легирующих (упрочняющих) элементов.

Для производства строительных материалов широко используют углеродистую сталь обыкновенного качества определенной группы (в зависимости от механических свойств), например, марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. По мере увеличения указанных цифр увеличивается содержание углерода, а также прочность, твердость, но снижается пластичность материала. Кроме того, учитывают группу стали, добавляя спереди букву А, что означает гарантированные механические характеристики, Б – химические, В – те и другие. После цифры, указывающей на марку стали, добавляют буквы, связанные со степенью раскисления: сп – спокойные, пс – полуспокойные, кп – кипящие. Последние более пластичны, но менее долговечны – склонны к старению структуры, хладноломкости, а также хуже свариваются.

Для современных материалов чаще используют сталь группы В – ВСт3сп (пс).

Номенклатура **стальных материалов** включает различные профили и листы, оболочки, мембраны, тросы, канаты, черепицу, закладные детали, декоративно-художественные изделия.

Профили применяют различного сечения, их вид определяется способом получения. В массовом количестве используют профили, полученные способом проката (рис. 10.4). Перечень прокатных материалов с указанием размеров называется сортаментом проката, который делят на три группы: сортовой прокат (конечная продукция горячей прокатки металла сплошного поперечного сечения, иногда переменного по длине), листовой прокат и трубы. Сортамент проката строительного назначения постоянно расширяется и совершенствуется благодаря внедрению облегченных, тонкостенных, фасонных и других экономичных профилей.

Большое значение для повышения эффективности производства стальных материалов имеет увеличение доли эффективных (трубчатых, широкополосных двутавровых и др.) профилей из термически упрочненной углеродистой и низколегированной стали повышенной прочности, обеспечивающих значительную экономию металла. Так, для многих конструкций (каркасы промышленных зданий, опоры) замена уголкового профиля тонкостенным трубчатым приводит к снижению расхода металла на 20 % и более. Заметно снижается масса ряда металлических конструкций, повышаются их прочность и надежность при внедрении гнутых профилей, сортамент которых достаточно разнообразен (рис. 10.5). Сложные стальные профили получают способами непрерывного литья и прессования.

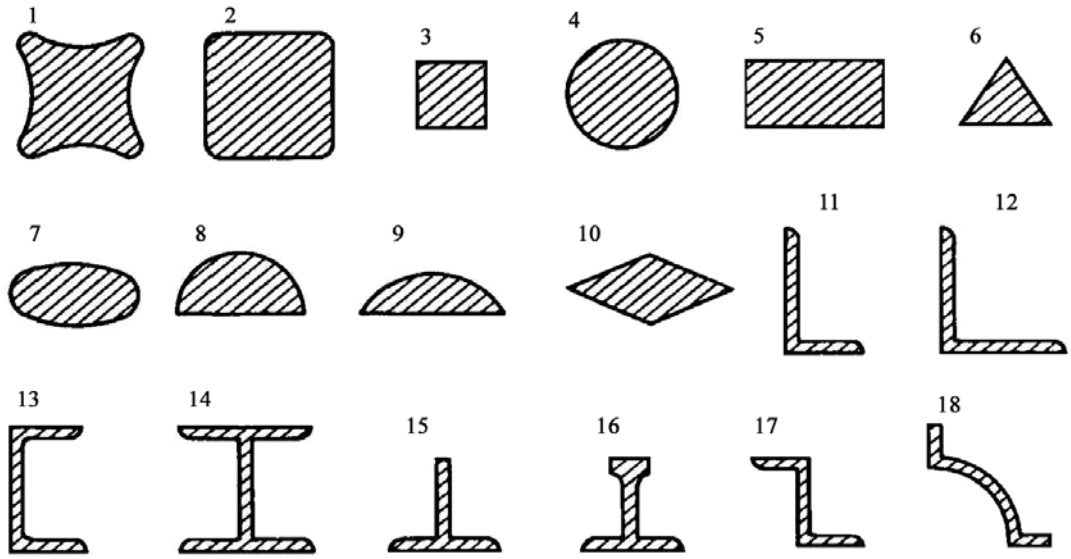


Рис. 10.4. Виды стальных профилей, полученных способом проката:
1 – блюмс; 2 – квадратный с закругленными углами; 3 – квадратный; 4 – круглый; 5 – полосовой; 6 – треугольник; 7– овальный; 8 – полукруглый; 9 – сегментовый; 10 – ромбовидный; 11 – угловой неравнобокий; 12 – угловой равнобокий; 13 – швеллер; 14 – двутавровый; 15 – тавровый; 16 – рельсовый; 17 – зетовый; 18 – колонный

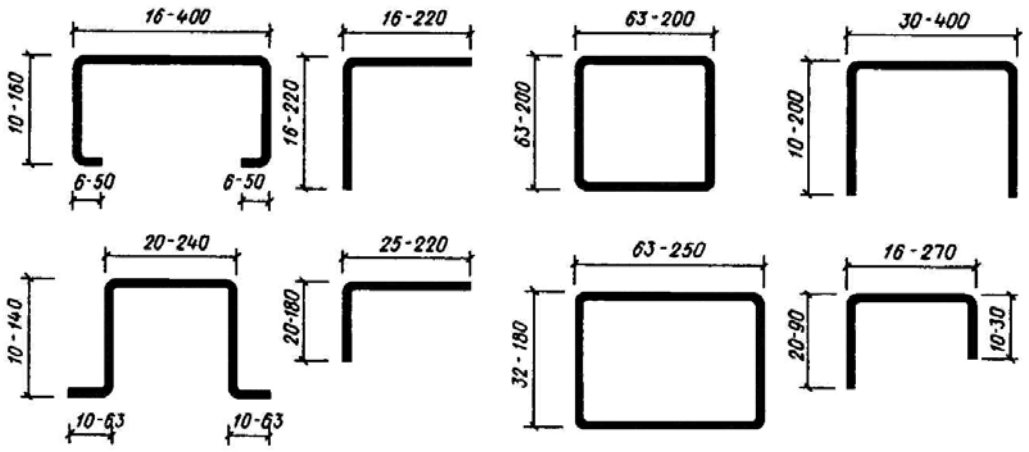


Рис. 10.5. Виды стальных гнутых профилей (толщина 2 мм)
для прогонов промышленных зданий

Стальная арматура представляет собой линейные протяженные элементы в виде стержней, проволоки и витых канатов, предназначенных для восприятия (в основном) растягивающих усилий в железобетонных конструкциях. По виду поверхности арматуру подразделяют на гладкую и периодического профиля (рис. 10.6). Стержневую арматуру изготавливают из углеродистой и низколегированной стали. В зависимости от требуемых механических свойств арматуру подразделяют на классы, обозначенные буквой S и числом, соответствующим условному пределу текучести в МПа (ненапрягаемая арматура – S240, S400, S500) и пределу текучести (напрягаемая – S800, S1200, S1400). Из стержней с помощью сварки получают плоские и пространственные арматурные каркасы. Проволочную арматуру диаметром 3 … 8 мм изготавливают способом холодного волочения. Ее используют для получения арматурных канатов и сварных арматурных сеток, которые могут быть рулонными и плоскими.

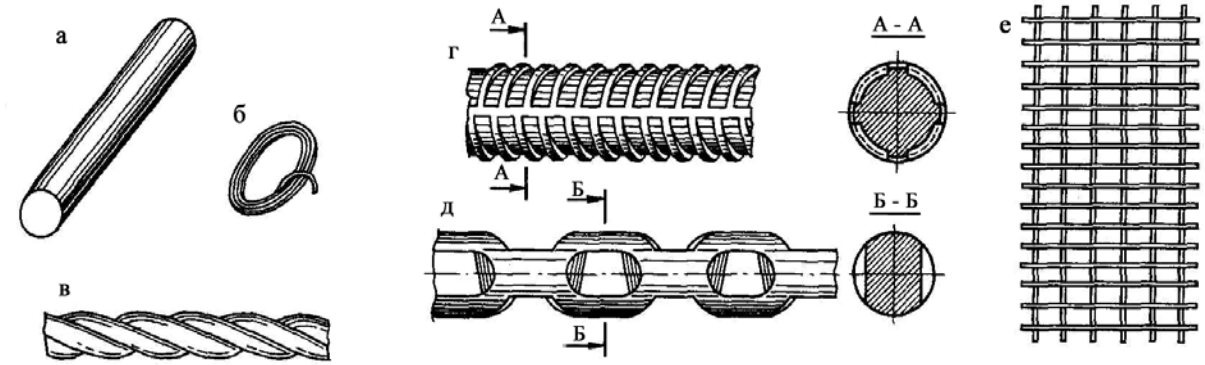


Рис. 10.6. Виды стальной арматуры для железобетонных изделий:
а – гладкая стержневая; б – гладкая проволочная; в – проволочная прядь;
г – горячекатаная периодического профиля; д – холодносплющенная; е – сварная сетка

Мелкие стальные изделия в виде болтов, гаек, шайб, заклепок широко применяются при изготовлении из прокатных стальных профилей разнообразных строительных конструкций. Любое строительство в настоящее время не обходится без стальных крепежных изделий – шурупов, винтов, гвоздей, скоб, а также без скобяных изделий, необходимых для комплектации дверных и оконных блоков, санитарно-технических кабин (петли, ручки, замки и др.).

В современном строительстве *стальные конструкции* используют в качестве несущих для высотных жилых зданий, уникальных общественных сооружений, промышленных предприятий, а также при строительстве мостов, телевизионных башен и др.

Для производства стальных строительных конструкций применяют горячекатаный фасонный, листовой, широкополосный универсальный прокат и гнутые профили. При монтаже их соединяют друг с другом болтами, сваркой или заклепками.

Заклепочные соединения предназначены для конструкций, воспринимающих большие динамические нагрузки. Заклепка представляет собой круглый стержень с головкой. Стержень вводят в подготовленное отверстие в соединяемых деталях, головку прижимают поддержкой, а выступающую часть стержня ударами обжимки расплющивают, образуя замыкающую головку. При этом стержень утолщается, полностью заполняет высверленное отверстие и элементы конструкции соединяются наглухо. Заклепки обычно изготовляют из низкоуглеродистой пластичной стали Ст2 и Ст3.

Болтовые соединения нетрудоемки и достаточно надежны даже в особо нагруженных конструкциях. Болты для монтажных соединений изготовляют диаметром 6 ... 24 мм с интервалом 2 мм. Завертывают их так, чтобы в теле болта создалось напряжение 150 ... 200 МПа. При этом используются упругие свойства стали: благодаря напряжению в теле болта соединяемые элементы сжимаются очень плотно.

Колонны бывают сплошные, из одного или нескольких профилей, или решетчатые, которые состоят из двух или четырех ветвей, соединенных между собой решеткой. Верхняя часть колонны называется оголовком, нижняя – башмаком. Колонна воспринимает сжимающие нагрузки.

Прогоны (балки), обычно двутаврового сечения, изготовляют из двутавровых балок, а в случае перекрытия больших пролетов – сварными из стального листа.

Фермы – плоские решетчатые конструкции, перекрывающие весь пролет здания (длина ферм – 18; 24; 30; 36 м и более) – выпускаются обычно из угловой стали с креплением сборочных единиц листовой сталью.

Листовую сталь выпускают толщиной до 6 мм; тонколистовую кровельную и оцинкованную сталь – толщиной 0,4 … 0,8 мм. Листовую сталь изготовляют с плоской, волнистой и рифленой поверхностью (рис. 10.7).

Для выполнения скатной кровли в жилых зданиях применяют тонколистовую кровельную, оцинкованную сталь и металлочерепицу, промышленных – профилированный стальной оцинкованный или окрашенный настил.

Металлочерепица представляет собой гофрированные стальные оцинкованные листы толщиной 0,4 … 0,6 мм с защитным и декоративным полимерным покрытием из полиэстера, пластизола или пурала (рис. 10.8). В зависимости от геометрии профиля выпускают изделия различного цвета в виде листов площадью 0,5 … 4 м^2.

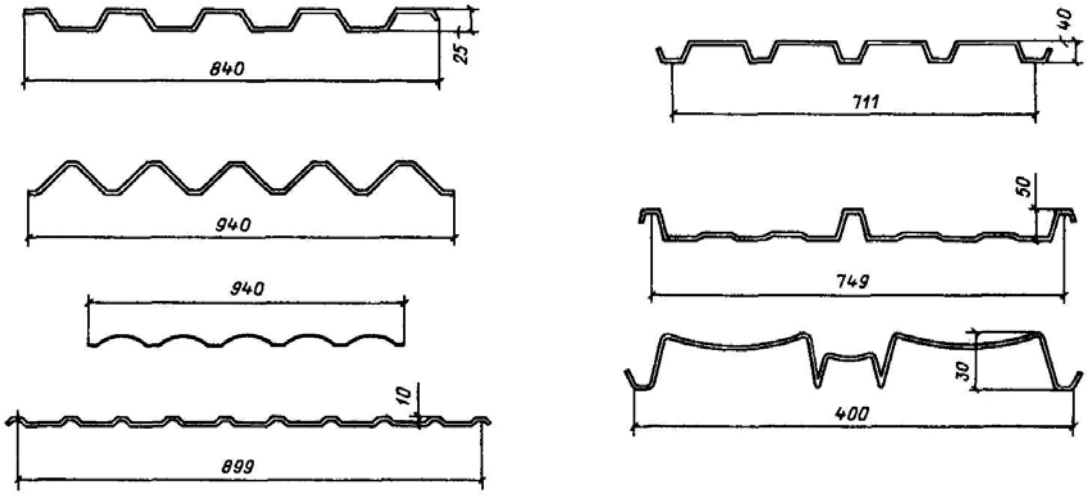


Рис. 10.7. Виды профилей стальных листов

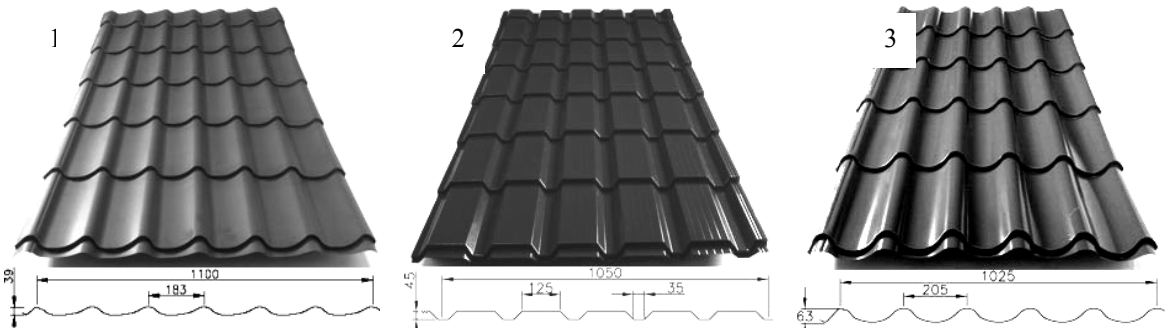


Рис. 10.8. Типы металлочерепицы финской компании RANNILA STEEL OY:
1 – Monterrey; 2 – Cascade; 3 – Elite

Номенклатура материалов из **алюминиевых сплавов** включает в основном разнообразные профили и листы, декоративно-художественные изделия.

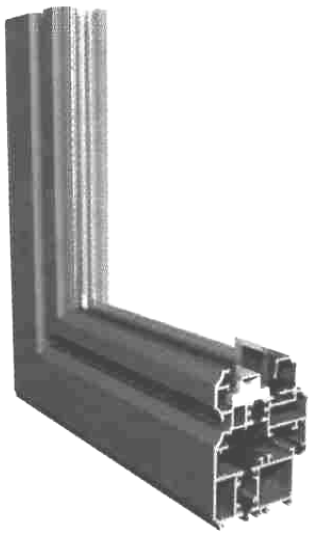


Рис. 10.9. Оконные блоки из алюминиевых профилей

В строительстве применяют в большом количестве *профили* из алюминиевых сплавов, получаемые формованием под давлением (непрерывным выдавливанием). Их сортамент составляет около 15 тыс. наименований. В зависимости от качества сплава, формы и размеров поперечного сечения профили из алюминиевых сплавов используют для несущих и ограждающих конструкций, окон, витрин, для подвесных потолков, плинтусов, раскладок и т.д. (рис. 10.9).

При производстве *листов* совмещают процессы непрерывного литья расплава с прокаткой ленты шириной до 1,6 м. Для обшивок панелей, используемых в ограждающих конструкциях различных зданий, панелей покрытий, ограждений балконов и лоджий, наружной облицовки, подвесных потолков и других конструкций, широко применяют профилированные и плоские листы из алюминиевых сплавов (рис. 10.10).

Номенклатура материалов из других цветных металлов ограничена в связи с их высокой стоимостью. Однако цинк часто используют для защитных покрытий, свинец – для герметизации стыков между элементами конструкций, медь и ее сплавы (латунь, бронза) – для производства черепицы, профильных и декоративно-художественных изделий.

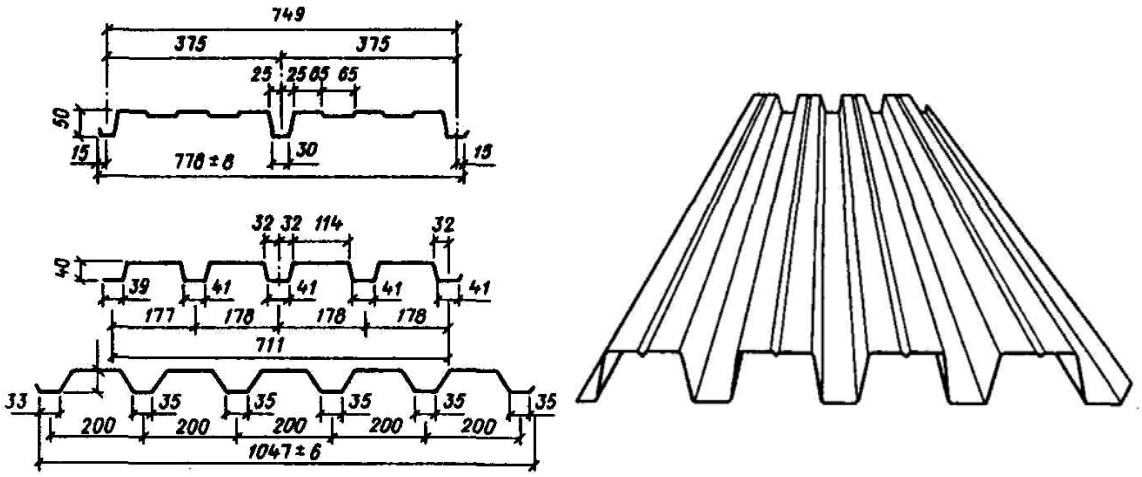


Рис. 10.10. Листы из алюминиевых сплавов различных профилей

Вместе с тем перспективными считают материалы из магниевых и, особенно, титановых сплавов, учитывая их легкость, высокие прочность и коррозионную стойкость.

10.6. Защита металлических материалов и изделий от коррозии и огня

Основной недостаток широко применяемых стальных и других металлических материалов – *способность к коррозии*, ведущая к разрушению металлов.

По механизму реакции взаимодействия агрессивных веществ с материалом выделяют два основных типа коррозии металлов: химическую и электрохимическую. Большинство металлов и сплавов неустойчивы в средах, где они используются.

Химическая коррозия протекает в средах, не проводящих электрический ток, например в сухих газах, жидкостях органического происхождения – нефти, бензине, спирте. Наиболее интенсивно такая коррозия проявляется при повышенной температуре.

Электрохимическая коррозия является наиболее распространенным типом коррозии металлов. Она происходит во влажном воздухе и в различных водных растворах, проводящих электрический ток. Строительные металлические конструкции, большей частью работающие во влажном воздухе, подвержены, в основном, электрохимической коррозии, которая усиливается с ростом концентрации в воздухе углекислого и сернистого газов.

Особо выделяют *биологическую коррозию*, идущую под влиянием продуктов жизнедеятельности бактерий и других микроорганизмов, и *радиационную коррозию* под воздействием радиоактивного излучения.

Для защиты материалов от коррозии применяют защитные покрытия, электрохимическую (протекторную) защиту и замедлители коррозии (ингибиторы), изменяющие состав коррозионной среды.

В строительной практике для защиты конструкций чаще используют лакокрасочные покрытия, реже металлические (нанесение на поверхность изделия тонкой пленки другого металла).

Некоторые металлы, например алюминий, сами предохраняют себя от коррозии в некоторых средах в результате образовавшихся на их поверхности защитных пленок при взаимодействии со средой. С помощью защитных покрытий можно изолировать металл от агрессивной среды искусственным нанесением пленки на поверхность изделия или, изменяя химический состав поверхности, сделать металл устойчивым к агрессивной среде. Защитное покрытие должно быть сплошным, непроницаемым для агрессивной среды, иметь высокую прочность сцепления с металлом (адгезию), равномерно распределяться по всей поверхности и придавать изделию более высокую твердость, износостойкость и жаростойкость. Коэффициент теплового расширения пленки должен быть близок к коэффициенту расширения металла. Обычно покрытия совмещают защитные и отделочные функции.

Для защиты металлоконструкций от биоповреждений используют мастичные и красочные составы на основе каменноугольной, эпоксидной, поливинилхлоридных смол и биоцидных добавок.

К разрушающим факторам относится также действие *огня* на металлические изделия и конструкции. Под действием открытого пламени и высокой температуры металлы размягчаются и теряют прочность, что может привести к разрушению конструкции. Предел огнестойкости незащищенных стальных конструкций в зависимости от толщины элементов и действующих напряжений составляет 0,1 … 0,44 часа. Металлы являются несгораемыми материалами, но обладают высокой теплопроводностью, поэтому их огнезащита заключается в создании на поверхности теплоизолирующих экранов, обеспечивающих высокую сопротивляемость действию огня и высоких температур. Традиционными средствами огнезащиты металлических конструкций являются тяжелые и легкие бетоны, керамический кирпич, цементно-песчаные штукатурки. Эти материалы могут создать практически любой предел огнестойкости конструкций.

В настоящее время широко применяются теплоизоляционные штукатурки и огнезащитные покрытия на основе глины, жидкого стекла, гипса с использованием в качестве огнестойких заполнителей вспученного перлита, вермикулита, минерального волокна, обладающих высокими теплоизоляционными свойствами. В зависимости от требуемой огнезащиты (45 … 150 мин) и толщины металла в конструкции толщина защитного слоя составляет 8 … 40 мм.

Перспективным средством огнезащиты является вспучивающаяся краска, состоящая из растворителя, акрилового полимера и пенообразующего антипирена. При температуре около 170 °С краска вспучивается, образуя пористый термоизоляционный слой толщиной несколько сантиметров. Благодаря низкой теплопроводности вспененная масса предотвращает быстрый нагрев металла, увеличивая огнестойкость до 1 часа.

Для огнезащиты металлоконструкций также используются плитные и листовые теплоизоляционные материалы в виде асбестоцементных и асбестогипсовых облицовочных плит, гипсокартонных и гипсоволокнистых листов.

10.7. Эстетические характеристики металлических материалов

Эстетические свойства металлических материалов оригинальны и регулируются в широких пределах, причем в ряде случаев цветовая палитра обогащается в процессе эксплуатации. Так, медь и ее сплавы, окисляясь кислородом, содержащимся в воздухе, покрываются защитной пленкой – патиной, которая с течением времени приобретает множество цветовых

оттенков. Сам процесс коррозии металла в начальной стадии может использоваться для получения своеобразного цветового оттенка стали. После окисления и приобретения красно-коричневого цвета металл покрывают прозрачным защитным лаком.

Цвет стали можно изменять после механической (шлифование или полирование) и термической (при температуре 200 … 300 °С) обработки поверхности. На ней образуется оранжевая или синеватая пленка, которая одновременно защищает металл от коррозии. Известны способы изготовления стали золотистого и розового цвета, электролитические процессы окрашивания нержавеющей стали в оранжевый, красный, голубой, синий, зеленый цвета.

Часто металлические материалы не нуждаются в отделке поверхности с эстетической точки зрения. Черный цвет чугуна, темно-серый стали, золотистый и зеленовато-коричневый у бронзы и меди, серебристо-белый у алюминия, как правило, отвечают эстетическим требованиям. Но лакокрасочные и металлические (анодирование – анодное оксидирование и др.) покрытия не только меняют цвет лицевой поверхности, но и защищают металл от коррозии.

Фактура лицевой поверхности металлов может быть рельефной, шероховатой, гладкой, матовой или блестящей.

При использовании металлических материалов, как конструкционно-отделочных, так и отделочных, следует учитывать характерное восприятие их физической сущности и оригинальной лицевой поверхности, связанное, как правило, с ощущениями прочности, холода, чистоты, в том числе чистоты с экологической точки зрения.

Вопросы для самопроверки

1. Какие металлы относятся к черным, а какие – к цветным? В чем заключаются их различия?
2. Чем отличается чугун от стали?
3. Каковы области применения чугуна, стали, алюминиевых сплавов в архитектурно-строительной практике?
4. Какие способы обработки металлов применяют для получения строительных материалов и изделий?
5. Какие способы защиты металлических материалов и изделий от коррозии и огня вы знаете?
6. За счет какого отрицательного свойства металлов можно придать цвет металлическому изделию?
7. Какие элементы металлоконструкций вы знаете?

ГЛАВА 11. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

11.1. Общие сведения о минеральных вяжущих

Минеральные вяжущие вещества – это тонкоизмельченные порошкообразные материалы, образующие при смешиваний с водой пластичное тесто, которое самопроизвольно или в определенных условиях постепенно затвердевает и переходит в камневидное состояние. Таким образом, вяжущие вещества могут скреплять между собой камни (например, кирпич) или зерна песка, гравия и щебня. Это свойство вяжущих веществ используют для приготовления на их основе растворов, бетонов, безобжиговых искусственных каменных материалов и изделий. Определенные минеральные вяжущие используют и для изготовления минеральных красок.

Различают две группы минеральных вяжущих: *воздушные,* которые после перемешивания с водой способны твердеть, сохранять и повышать свою прочность только на воздухе (гипсовые, воздушная известь, магнезиальные), и *гидравлические,* которые после затворения водой способны твердеть, сохранять и повышать свою прочность не только на воздухе, но и в воде. К гидравлическим вяжущим относятся цементы, гидравлическая известь.

Воздушные вяжущие – *гипс* и *известь* употребляли уже в глубокой древности.

Древнейшим естественным вяжущим является необожженная глина, на основе которой получали кирпич-сырец. Просушенный в естественных условиях кирпич-сырец обладает прочностью до 2 МПа, однако полностью ее теряет в случае водонасыщения. Более прочные материалы изготавливают на основе вяжущих веществ, получаемых искусственно (путем обжига). Первыми такими минеральными вяжущими были гипс и воздушная известь.

Пять тысяч лет назад в Египте гипс широко применяли для кладочных и штукатурных растворов при строительстве пирамид, например при возведении пирамиды Хеопса близ Гизы. Рядом с пирамидой покоится Большой Сфинкс – гигантская скульптура фараона с туловищем льва, закрепленная на основании, с помощью гипсового раствора. Гипсовая штукатурка получила распространение и при строительстве домов и храмов.

Впервые известь стала использоваться сравнительно широко в Греции, прежде всего для штукатурных и облицовочных работ и в качестве грунта для стенной росписи.

Римляне, переняв у греков прекрасную архитектуру, развили строительное искусство и начали массовое применение извести для кладочных растворов. Римские архитекторы и строители оставили после себя не только памятники своего гениального труда, но и трактаты, где говорилось о технологии изготовления известковых растворов.

К одному из самых значимых изобретений в Древнем Риме относится создание искусственного каменного конгломерата – бетона на основе минерального вяжущего (воздушной извести). Сводами из бетона перекрывались термы, акведуки, мосты. Для стен и купола диаметром 43,5 м здания Пантеона в Риме (115 – 125 гг. н.э.) применен бетон с легкими заполнителями из пемзы и туфа.

В Киевской Руси начиная с X в. известковые растворы с успехом применяли при строительстве каменных сооружений. На Руси для приготовления водостойких растворов к извести добавляли яичный желток, творог, другие органические вещества. Для повышения прочности известкового раствора в известь добавляли толченный кирпич. Такой состав использован для кладки стен Софийского собора в Киеве (XI в.).

Позднее для получения водостойких вяжущих (гидравлической извести) стали применять обжиг известняка с повышенным содержанием глинистых веществ.

В XVIII в. впервые использовали романцемент, получаемый обжигом не до спекания смесей известняков с глиной или мергелем.

Изобретение гидравлического вяжущего – цемента, близкого по своим характеристикам к современному, принадлежит российскому военному технику Егору Герасимовичу Челиеву. Промышленное получение гидравлических вяжущих в России началось в первой половине XIX в. После войны 1812 г. в Москве необходимо было построить каменные здания взамен многочисленных деревянных строений, уничтоженных пожаром. Соответственно потребовалось значительное количество вяжущих высокого качества. В декабре 1824 г. каменщику из английского города Лидса Джозефу Аспдину был выдан патент на изготовление вяжущего вещества путем обжига смеси извести с глиной. За сходство по цвету с естественным камнем из каменоломен близ города Портленда Дж. Аспдин назвал это вяжущее портландцементом. Разновидности портландцемента можно отнести к основным для изготовления современных искусственных каменных материалов, и в первую очередь бетона. Массовое использование бетона при строительстве зданий и сооружений различного функционального назначения обусловлено трудами русских ученых в конце XIX в. К этому времени относится и начало применения армированного бетона (рис. 11.1).

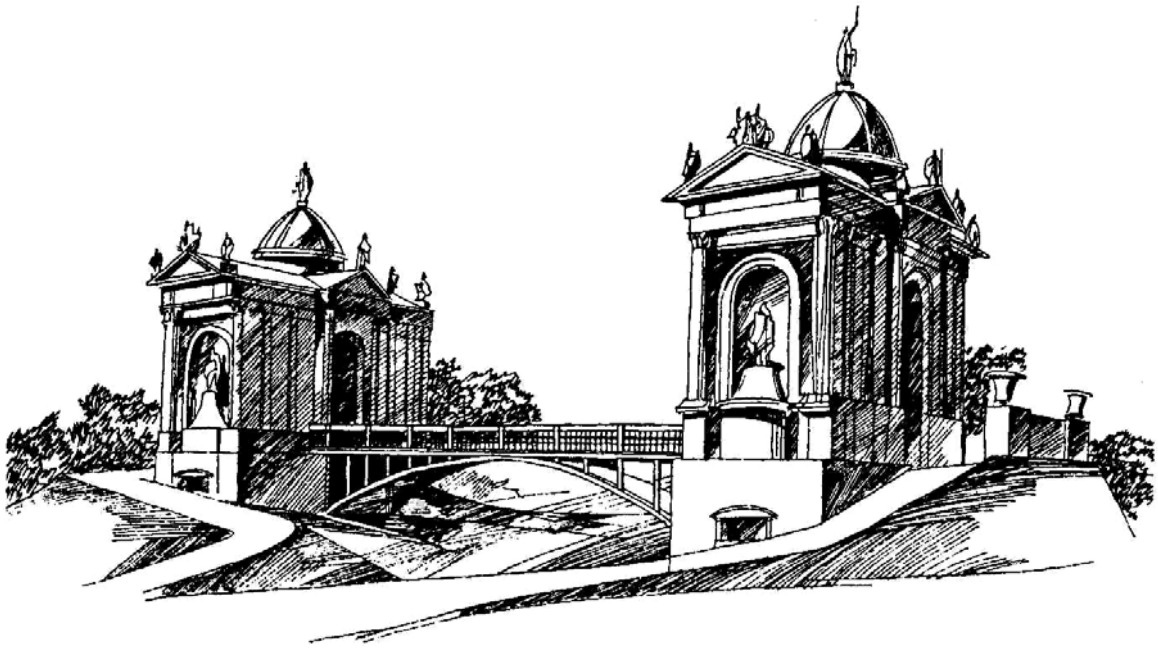


Рис. 11.1. Пешеходный мост из железобетона на Нижегородской ярмарке, 1896 г.

11.2. Воздушная известь

Строительная воздушная известь – продукт умеренного обжига кальциевых и кальциево-магниевых карбонатных пород до возможно полного удаления углекислого газа. В результате обжига образуется продукт белого цвета, называемый *негашеной комовой известью (кипелкой).*

Сырьем для получения извести являются распространенные осадочные горные породы: известняки, доломиты, мел, доломитизированные известняки, содержащие не более 8 % глины. В сырье преобладает карбонат кальция $CaCO_3$, в небольшом количестве содержатся карбонат магния $MgCO_3$ и некоторые примеси. Сырье обжигают в шахтных или вращающихся печах при температуре 900 … 1200 °С

$$CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow;\ MgCO_3 = MgO + CO_2\uparrow.$$

Неравномерность обжига может привести к образованию в извести недожога или пережога. Недожог (неразложившийся $CaCO_3$), получающийся при слишком низкой температуре обжига, снижает качество извести, так как не обладает вяжущими свойствами. Пережог образуется при слишком высокой температуре обжига в результате сплавления CaO с примесями кремнезема и глинозема. Зерна пережога гасятся медленно, а поскольку они при гашении увеличиваются в объеме, то могут вызвать растрескивание и разрушение уже затвердевшего материала.

После выхода из печи комовую известь (мелкопористые куски размером 5 … 10 см), как правило, гасят водой

$$CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 1160 \text{ кДж/кг}.$$

При смачивании водой куски извести бурно реагируют с ней, превращаясь в тонкий порошок, а при избытке воды – в пластичное тесто. Этот процесс, сопровождающийся сильным выделением теплоты и разогревом воды вплоть до кипения, называют *гашением извести,* а негашеную известь – *кипелкой.*

При гашении куски комовой извести значительно увеличиваются в объеме и распадаются на мельчайшие (до 0,001 мм) частицы.

В зависимости от времени гашения различают *быстрогасящуюся известь* (время гашения – до 8 мин), *среднегасящуюся* (до 25 мин) и *медленногасящуюся* (свыше 25 мин).

В зависимости от количества воды, взятой для гашения, получают *гидратную известь – пушонку* (50 … 70 % воды от массы извести, т.е. в количестве, необходимом для протекания реакции гидратации – процесса гашения); *известковое тесто* – воды берут в три-четыре раза больше, чем извести; *известковое молоко* – воды берут в восемь-десять раз больше, чем вяжущего.

Виды воздушной извести. По содержанию оксидов кальция и магния воздушная известь бывает *кальциевая* (примеси MgO не более 5 %), *магнезиальная* (MgO – 5 … 20 %) и *доломитовая* (MgO – 20 … 40 %).

На строительство поставляют воздушную известь в виде негашеной комовой (кипелки), негашеной порошкообразной (молотой кипелки) и гашеной порошкообразной (гидратной пушонки).

Комовая негашеная известь – полуфабрикат для получения молотой негашеной извести, гидратной извести (пушонки), известкового теста и молока. Комовую известь перевозят навалом в закрытых вагонах и автомашинах. Хранят комовую известь в сухом складе с деревянным полом, приподнятым над землей на 30 см. Попадание воды на известь вызывает сильный саморазогрев вплоть до 300 °С и при контакте с легковоспламеняющимися материалами (такими, как опилки, стружка) может вызвать пожар.

Негашеную порошкообразную (молотую) известь получают помолом комовой извести в шаровых мельницах. В известь часто вводят при измельчении 10 … 20 % гидравлических добавок (шлак, зола). Степень измельчения извести характеризуют полными остатками на ситах № 02 и № 008, которые должны составлять соответственно не более 1,5 и 15 % от массы просеиваемой пробы.

Преимущество порошкообразной извести перед комовой состоит в том, что при затворении водой она ведет себя подобно гипсовым вяжущим: сначала образует пластичное тесто, а через 20 … 40 мин схватывается. Это объясняется тем, что вода затворения, образующая тесто, частично расходуется на гашение извести. При этом известковое тесто густеет и теряет пластичность. Благодаря меньшему количеству свободной воды материалы на основе порошкообразной извести менее пористые и более прочные.

Гидратная известь (пушонка) – гашеная известь в виде белого порошка заводского изготовления. Влажность гидратной извести должна быть не более 5 %; насыпная плотность – 400 … 450 кг/м^3. Остатки на ситах № 063 и № 008 должны быть соответственно не более 2 и 10 %. Хранят известь в силосах или бункерах; перевозят в цементовозах, контейнерах, бумажных мешках и навалом.

Известковое тесто – паста плотностью 1300 … 1400 кг/м^3 – образуется при гашении комовой извести избыточным количеством воды. Нормально гашеная известь, которая увеличилась в объеме не менее чем в три раза, называется *жирной;* известь, увеличившаяся в объеме менее чем в 2,5 раза – *тощей.* Чем жирнее и чище от примесей известковое тесто, тем оно больше присоединяет к себе песка при приготовлении растворов. Перевозят известковое тесто и молоко в автоцистернах.

Твердение. Известковое тесто состоит из насыщенного водного раствора $Ca(OH)_2$ и нерастворившихся мельчайших частиц извести. По мере испарения из него воды образуется пересыщенный раствор $Ca(OH)_2$, из которого выпадают кристаллы, скрепляющие отдельные частицы в единый монолит. Поэтому известковое тесто, защищенное от высыхания, неограниченно долго сохраняет пластичность, т.е. у извести отсутствует процесс схватывания.

На воздухе известь реагирует с углекислым газом, образуя нерастворимый в воде и довольно прочный карбонат кальция, т.е. обратно переходит в известняк

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O.$$

Этот процесс называют *карбонизацией,* он протекает длительное время. При карбонизации выделяется вода, поэтому каменную кладку и штукатурку на известковых растворах подвергают сушке.

Для получения водостойкого материала к извести добавляют активные гидравлические добавки: золы ТЭС, доменный шлак, молотую пемзу и др. Последние содержат аморфные кремнезем SiO_2 и глинозем $A1_2O_3$, которые способны в присутствии воды образовывать с известью нерастворимые гидросиликаты и гидроалюминаты.

Твердение сопровождается значительным уменьшением объема известкового теста – усадкой, поэтому известь применяют в смеси с заполнителем – песком.

Строительную воздушную известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов, силикатного кирпича, ячеистобетонных изделий автоклавного твердения, известковых красок и других материалов.

Молотую известь с активными минеральными добавками применяют в штукатурных растворах для подземной части зданий и в растворах, твердеющих во влажных условиях.

Воздушная известь всех видов – довольно сильная щелочь. Поэтому при работе с ней необходимо принимать меры, предотвращающие контакт извести с открытыми участками кожи и, особенно, дыхательными путями и глазами.

11.3. Гипсовые вяжущие вещества

В строительстве и промышленности издавна применяют гипсовые вяжущие материалы – *строительный, высокопрочный гипс, ангидритовый цемент, эстрих-гипс*. Эти минеральные вяжущие воздушного твердения образуются путем тепловой обработки и помола сырья, содержащего двуводный или безводный сульфат кальция.

Производство. При нагревании природного двуводного гипсового камня происходит частичная его дегидратация, при этом образуется полуводный сульфат кальция

$$CaSO_4 \times 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \times 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O.$$

Обжиг тонкоизмельченного природного гипса протекает при низких температурах (110 … 180 °С) в котлах. Кристаллизационная вода при этом выделяется в виде водяного пара, поэтому говорят, что гипс «варят» в котле. Из полуводного гипса $CaSO_4 \times 0{,}5H_2O$ состоят все низкообжиговые гипсовые вяжущие. Прочность при сжатии полуводного гипса невысокая – 2 … 25 МПа, плотность – 2600 … 2750 кг/м^3, насыпная плотность – 800 … 1000 кг/м^3; цвет порошка – белый или серый.

Твердение. Порошок гипсового вяжущего, затворенный водой, образует пластичное тесто, которое быстро схватывается и твердеет, при этом полуводный (строительный) гипс присоединяет воду и превращается в двуводный

$$CaSO_4 \times 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O = CaSO_4 \times 2H_2O.$$

Реакция гидратации протекает быстро, с выделением теплоты и заканчивается через несколько минут после затворения.

Строительный гипс обладает рядом особенностей: быстро схватывается и твердеет, обладает повышенной водопотребностью и пористостью, в начальный период твердения увеличивается в объеме, обладает низкой водостойкостью, подвержен деформациям ползучести.

Для образования пластичного гипсового теста требуется 50 … 60 %, а для гидратации – 20 % воды от его массы. Для гипса проблема снижения водопотребности и соответственно уменьшения пористости и повышения прочности была решена путем получения гипса термообработкой не на воздухе, а в среде насыщенного пара (в автоклаве при давлении 0,3 … 0,4 МПа) или в растворах солей ($CaC1_2$, $MgC1_2$ и др.). В этих условиях образуется другая кристаллическая модификация полуводного гипса, имеющая водопотребность 30 … 40 %. Такой гипс называют *высокопрочным,* так как благодаря пониженной водопотребности он образует при твердении менее пористый и более прочный камень, чем обычный гипс. Из-за трудностей производства высокопрочный гипс не нашел широкого применения в строительстве.

Свойства. *По срокам схватывания* и твердения гипсовые вяжущие делят на три группы: А – быстротвердеющие (начало схватывания – не ранее 2 мин, конец – не позднее 15 мин), Б – нормальнотвердеющие (начало схватывания – не ранее 6 мин, конец – не позднее 30 мин), В – медленнотвердеющие (начало схватывания – не ранее 20 мин, конец не нормируется).

Замедляют схватывание гипсовых вяжущих введением в гипсовое тесто растворов столярного клея, лигносульфонатов технических (ЛСТ) и других добавок.

Прочность гипсовых вяжущих определяют по результатам испытания образцов-балочек размером 40×40×160 мм из гипсового теста нормальной густоты через 2 ч после изготовления. За это время гидратация и кристаллизация вяжущего завершаются.

По пределу прочности при сжатии и изгибе гипсовые вяжущие делят на 12 марок: от Г-2 до Г-25. Марку определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе.

Для изготовления строительных изделий используют в основном гипсовые вяжущие марок от Г-2 до Г-7.

Плотность затвердевшего гипсового камня низкая (1200 … 1500 кг/м^3) из-за значительной пористости. Высокая пористость объясняется тем, что для получения пластичного удобоукладываемого теста при затворении

гипсовых вяжущих воды берут в два-три раза больше, чем требуется для гидратации полуводного гипса. После затвердевания в гипсовых вяжущих остается значительное количество свободной воды (до 30 % от массы гипса). Такой влажный гипсовый камень характеризуется пониженной прочностью. Для повышения прочности избыток воды удаляют высушиванием гипсовых изделий при температуре не более 70 °С.

Гипсовое вяжущее – одно из немногих вяжущих, расширяющихся при твердении (увеличение в объеме достигает 0,2 %). Способность расширяться позволяет применять гипсовое вяжущее (в отличие от большинства других вяжущих) без заполнителей, не боясь трещинообразования от усадки. Введением в гипсовое тесто органических (опилки, стружки) или минеральных пористых (керамзит, аглопорит) заполнителей можно снизить плотность и стоимость изделий из гипса.

Недостаток гипсовых вяжущих – гигроскопичность, которая вместе с низкой водостойкостью приводит к потере прочности гипсовых изделий во влажных условиях и к коррозии стальной арматуры.

Применение. В штукатурных работах применяют гипсовые вяжущие всех марок, среднего и тонкого помола, нормального и медленного схватывания. Добавка гипсовых вяжущих ускоряет схватывание известково-песчаных растворов и повышает прочность штукатурного слоя, придает его поверхности гладкость и белизну. Гипсовые вяжущие марок Г-2 … Г-7 применяют для изготовления гипсовых деталей и гипсобетонных изделий: панелей для перегородок, листов сухой штукатурки (гипсокартон), растворов для внутренней штукатурки и гипсоцементно-пуццолановых вяжущих; марок Г-5 … Г-25 тонкого помола с нормальными сроками схватывания – для изготовления форм и моделей фарфоровых, фаянсовых и других керамических изделий (формовочный гипс). Гипсовые вяжущие служат основой для приготовления мастик для приклеивания гипсокартонных листов.

Ангидритовое вяжущее и высокообжиговый гипс – медленносхватывающиеся и медленнотвердеющие вяжущие, состоящие из безводного сульфата кальция $CaSO_4$ и активизаторов твердения.

Безводный сульфат кальция существует в природе в виде минерала – ангидрита, однако даже в тонкоразмолотом состоянии он не обнаруживает вяжущих свойств.

Ангидритовый цемент получают обжигом природного гипса при 600 … 700 °С до полной дегидратации, т.е. до образования ангидрита с последующим помолом с добавками минеральных веществ; возможно также использование природного ангидрита, подвергаемого только сушке и раз-

молу. Используют щелочные активизаторы: известь (3 … 5 %) или основные шлаки (10 … 15 %) и растворимые сульфаты: Ma_2SO_4, $A1_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ (0,5 … 1 %). В присутствии указанных добавок ангидрит взаимодействует с водой и приобретает способность схватываться и твердеть. Предел прочности при сжатии у ангидритового цемента составляет 10 … 20 МПа, начало схватывания наступает не ранее 30 мин, конец – не позднее 24 ч.

Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) получают при обжиге гипсового сырья при температуре 850 … 900 °С. При этом происходит его частичная диссоциация с образованием CaO, который служит активизатором твердения ангидрита. Тонкоизмельченный порошок и является высокообжиговым гипсом (эстрих-гипсом). Начало схватывания теста из эстрих-гипса наступает не ранее чем через 2 ч, конец схватывания не нормируется.

Благодаря пониженной водопотребности (у эстрих-гипса она составляет 30 … 35 % против 50 … 60 % у обычного гипса) эстрих-гипс после затвердевания образует более плотный и прочный материал. По прочности при сжатии образцов-кубов различают марки эстрих-гипса 100, 150 и 200. Его применяют для изготовления декоративных и отделочных материалов и изделий, например искусственного мрамора, штукатурных растворов и др.

11.4. Магнезиальные вяжущие

Магнезиальные вяжущие вещества (каустический магнезит MgO и каустический доломит $MgO + CaCO_3$) – тонкодисперсные порошки, активной частью которых является оксид магния.

Получают магнезиальные вяжущие умеренным (до 750 … 850 °С) обжигом магнезита (реже – доломита). При этом карбонат магния диссоциирует с образованием оксида магния

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2,$$

а карбонат кальция $CaCO_3$ (в доломите) остается без изменения и является балластной частью вяжущего. Обожженный продукт размалывают.

В каустическом магнезите содержится оксида магния до 85 % по массе и более. При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно, проявляя слабые вяжущие свойства

$$MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2.$$

Магнезиальные вяжущие принято затворять раствором хлорида (сульфата) магния или кислот (HCl или H_2SO_4). В этом случае гидратация протекает значительно быстрее, а получаемое после затворения вяжущее именуется цементом Сореля. Кроме того, возможно образование гидрата оксихлорида

магния ($3MgO \times MgCl_2 \times 6H_2O$), уплотняющего образующийся материал. Отношение $MgCl_2$: MgO в вяжущем берут обычно по массе – 1:2 или 1:4.

Сроки схватывания каустического магнезита зависят от температуры обжига и тонкости помола и обычно находятся в пределах: начало – не ранее 20 мин; конец – не позднее 6 ч. Твердение начинается интенсивно, и через 1 сут вяжущее достигает прочности 10 … 15 МПа; через 28 сут воздушного твердения прочность составляет 30 … 50 МПа. В жестких смесях прочность может достигать 100 МПа.

У каустического доломита сроки схватывания большие, а прочностные показатели ниже – прочность на сжатие составляет 10 … 30 МПа. Снижение активности каустического доломита по сравнению с каустическим магнезитом происходит из-за наличия в первом неразложившегося при обжиге карбоната кальция, играющего роль инертного наполнителя.

Магнезиальные вяжущие вещества характеризуются повышенной прочностью сцепления с каменными и древесными материалами, особенно прочностью на разрыв. Главное их назначение в строительстве – изготовление ксилолита (бетона на магнезиальном вяжущем с наполнителем из древесных опилок) для бесшовных полов или фибролита для производства теплоизоляционных изделий и перегородок. Ксилолитовые полы обладают высокой износостойкостью, хорошо циклюются, их можно натирать мастиками, по теплоусвоению они близки к паркетным полам.

В результате проведенных исследований магнезиальному бетону удалось придать высокую декоративность (пигменты окрашивают бетон в различные чистые цвета). Это позволило не только устраивать цветные полы, не уступающие по внешнему облику каменным поверхностям, но и наладить выпуск декоративных архитектурно-художественных плит (стандартные размеры 1200×600 мм) и других деталей (ступени, подоконники). Плиты представляют собой однослойные самонесущие панели с цветной блестящей поверхностью, имитирующей природный камень (мрамор, гранит, малахит и другие). Они легко поддаются механической обработке и обладают высокими теплостойкостью и звукопоглощением.

11.5. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент

Жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор растворимого силиката натрия $Na_2O \times SiO_2$ или силиката калия $K_2O \times SiO_2$ плотностью 1300 … 1500 кг/м^3 при содержании воды 50 … 70 %.

Растворимый силикат натрия $Na_2O \times SiO_2$ получают, сплавляя кварцевый песок SiO_2 с содой Na_2CO_3, а силикат калия $K_2O \times SiO_2$ – сплавлени-

ем песка с поташом K_2CO_3. Стекло варят в стекловаренных печах при температуре 1400 °С. Когда разлитый расплав застывает, образуются прозрачные различных оттенков куски стекла, называемые силикат-глыбой. Раздробленные куски стекла растворяют в воде в автоклаве при температуре 120 … 150 °С и давлении пара 0,6 … 0,8 МПа. В результате получают жидкое натриевое или калиевое стекло.

Жидкое стекло твердеет медленно – в результате слипания и уплотнения частиц свободного кремнезема (кремнегеля) при испарении воды и воздействия углекислого газа, содержещегося в воздухе. Ускорить процесс твердения и повысить водостойкость материала можно добавкой кремнефтористого натрия Na_2SiF_6. При этом образуются водонерастворимый фторид натрия NaF и кремнегель $SiO_2 \times nH_2O$. На этом основано твердение кислотоупорного цемента.

Жидкое стекло перевозят в бочках, а хранят в закрытых отапливаемых складах. В строительстве обычно используют натриевое жидкое стекло плотностью 1300 … 1500 кг/м^3. Его применяют при изготовлении кислото- и жароупорных бетонов, штукатурок, замазок, для уплотнения грунтов. Калиевое жидкое стекло более дорогое и его применяют для изготовления силикатных красок, клеящих составов. Оно не дает на штукатурке и краске высолов, чем выгодно отличается от натриевого жидкого стекла.

Кислотоупорный кварцевый цемент – тонкомолотый порошок, получаемый совместным помолом кислотостойкого материала (кварцевого песка, андезита или бештаунита) и кремнефторида натрия (4 … 14 %); допускается смешивать раздельно измельченные материалы. Вяжущими свойствами этот цемент не обладает. Его затворяют жидким стеклом (плотностью 1360 … 1380 кг/м^3), которое и является вяжущим.

Кислотоупорный цемент быстро схватывается: начало схватывания наступает через 20 … 60 мин после затворения в зависимости от содержания в нем кремнефторида натрия. Твердеет цемент в воздушно-сухих условиях и при положительной температуре.

Кислотоупорный цемент применяют для изготовления кислотостойких растворов, бетонов, замазок, для футеровки химических аппаратов, устройства кислотостойких полов.

Поскольку жидкие стекла при длительном хранении, особенно при контакте с воздухом, теряют свои эксплуатационные свойства, а при низких температурах замерзают, в ряде стран начали производить гидратированные силикатные порошки (ГСП). ГСП являются быстрорастворимыми в воде и долго хранятся.

11.6. Гидравлическая известь

Строительная гидравлическая известь – вяжущее, получаемое в результате умеренного обжига при температуре 900 … 1100 °С мергелистых известняков с содержанием в них глины и песчаных примесей от 6 до 20 %. В результате обжига образуется не только свободная известь CaO, но и ее химические соединения с оксидами глины – силикаты, алюминаты и ферриты кальция, способные твердеть не только на воздухе, но и в воде.

Известь выпускают в виде тонкоизмельченного порошка плотностью 2500 … 2900 кг/м^3, при просеивании которого остаток на сите № 008 не должен превышать 10 %. Гидравлическая известь – медленно схватывающееся вещество. В зависимости от содержания в ней свободного оксида кальция сроки схватывания колеблются в пределах: начало – 0,5 … 2 и конец – 8 … 16 час.

Характеристикой сырья и готовой извести является гидравлический модуль m, равный отношению процентного содержания по массе оксида кальция к процентному содержанию оксидов, входящих в состав минералов:

$$m = (CaO) / (SiO_2 + A1_2O_3 + Fe_2O_3).$$

Для гидравлической извести этот модуль колеблется в широких пределах: от 1,7 до 9. Стандарт различает слабогидравлическую *(*m = 4,5 … 9) и сильногидравлическую *(*m = 1,7 … 4,5) известь. Если продукт обжига имеет гидравлический модуль более 9, его считают воздушной известью, если менее 1,7 – относят к романцементу.

Обычную гидравлическую известь применяют для приготовления штукатурных и кладочных растворов, высококачественную – в бетонах низких марок и шлакобетоне, как в сухой, так и во влажной среде. Растворные смеси на гидравлической извести менее пластичны и подвижны, чем растворы на воздушной извести. Зато твердеют они быстрее и равномерно, получаются плотными, водо- и морозостойкими, предел прочности при сжатии их достигает 5 МПа. Растворы и бетоны на гидравлической извести, после укладки их в конструкцию, необходимо выдержать в воздушно-влажной среде около двух недель и только после этого помещать в воду.

11.7. Портландцемент

Из всех вяжущих веществ важнейшим является портландцемент – один из основных строительных материалов, без которого невозможно получить бетон, железобетонные конструкции, высококачественные растворы для каменных кладок и штукатурок.

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением клинкера и небольшого количества гипса. Клинкер получают обжигом до спекания при температуре 1450 … 1500 °С сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины. Для регулирования сроков схватывания цемента к клинкеру при помоле добавляют гипсовый камень. От качества клинкера зависят важнейшие свойства цемента: прочность и скорость ее нарастания, долговечность, стойкость в различных эксплуатационных условиях.

11.7.1. Производство портландцемента

Сырьевыми материалами для изготовления портландцементного клинкера служат карбонатные и глинистые горные породы. Главное химическое соединение карбонатных пород (известняка, мела) – карбонат кальция $CaCO_3$. Глинистые породы (в основном глины) содержат оксиды алюминия кремния и железа. Для получения клинкера исходные сырьевые материалы берут примерно в соотношении 1:3, т.е. на 1 мас. часть глины должно приходиться 3 мас. части известняка. Близок к этому составу мергель – осадочная горная порода, представляющая собой смесь известняка с глиной. В сырьевую смесь вводят корректирующие добавки. Недостаток кремнезема компенсируют введением диатомита, трепела, опоки; содержание оксидов железа увеличивают добавкой руды или колчеданных огарков.

Производство портландцемента включает следующие технологические операции: приготовление сырьевой смеси, ее обжиг и получение клинкера, помол клинкера с добавкой гипса.

В зависимости от методов приготовления смеси различают *мокрый* и *сухой* способы производства цемента. При *мокром* способе сырье смешивают и измельчают в присутствии воды. Затем смесь в виде шлама, содержащего 40 … 50 % воды, обжигают во вращающихся печах. При *сухом* способе сырьевые материалы высушивают, измельчают, смешивают и обжигают в сухом виде (влажность – 1 … 2 %).

При мокром способе достигается высокая однородность смеси, однако затраты топлива на обжиг в 1,5 … 2 раза выше, чем при сухом.

Подготовленную к обжигу сырьевую смесь подают во вращающуюся печь, представляющую собой стальной цилиндр длиной 150 или 185 м и диаметром 4 или 5 м. Изнутри труба выложена огнеупорным кирпичом. Печь установлена под небольшим (3 … 4°) уклоном к горизонту и вращается (1 … 2 об/мин), благодаря чему сырьевая смесь постепенно перемещается в ней от верхнего конца к нижнему, куда подается топливо. Мак-

симальная температура обжига – 1450 °С. При таких высоких температурах оксид кальция CaO, образовавшийся в результате разложения известняка, взаимодействует с кислотными оксидами SiO_2, $A1_2O_3$ и Fe_2O_3, образующимися при разложении глины. Продукты взаимодействия, частично плавясь и спекаясь друг с другом, образуют так называемый портландцементный клинкер – пористые гранулы серого цвета.

В настоящее время наиболее распространен сухой способ производства цемента. В конечном итоге качество портландцемента зависит от тщательности подготовки сырья, условий обжига, режима охлаждения и его химического и минералогического составов.

Основными минералами портландцементного клинкера являются:

– *алит – трехкальциевый силикат* $3CaO \times SiO_2$ (или сокращенно C_3S) – содержится в количестве 45 … 65 %. Это – самый важный минерал клинкера, определяющий время твердения, прочность и другие свойства портландцемента;

– *белит – двухкальциевый силикат* $2CaO \times SiO_2$ (или C_2S) – содержится в количестве 20 … 35 %. Он медленно твердеет, при этом выделяется очень мало теплоты;

– *целит – трехкальциевый алюминат* $3CaO \times A1_2O_3$ (или C_3A) – содержится в количестве 4 … 12 %. Он очень быстро гидратируется и твердеет, выделяя большое количество теплоты, но имеет небольшую прочность и малую стойкость против воздействия сернокислых соединений;

– *четырехкалъциевый алюмоферрит (браунмиллерит)* $4CaO \times A1_2O_3 \times$ $\times Fe_2Oз$ (или C_4AF) – содержится в количестве 10 … 20 %, по времени гидратации занимает промежуточное положение между алитом и белитом, обладает средней прочностью.

Для получения портландцемента клинкер размалывают в трубных или шаровых мельницах с гипсом (1,5 … 3,5 % в расчете на SO_3 природного гипса $CaSO_4 \times 2H_2O$) и другими добавками. Свойства портландцемента зависят от его минералогического состава и тонкости помола клинкера.

11.7.2. Схватывание и твердение портландцемента

При смешивании портландцемента с водой образуется пластичное, легко формуемое тесто (гель), постепенно загустевающее (схватывающееся) и переходящее в камневидное состояние.

Процесс твердения цемента в соответствии с теорией твердения вяжущих, разработанной академиком А.А. Байковым, условно разделяется на три периода: подготовительный, коллоидации и кристаллизации.

В подготовительном периоде частицы цемента смачиваются водой и растворяются с поверхности. Происходит так называемая гидратация минералов цемента с образованием новых соединений и со временем образуется насыщенный раствор. В этот период, длившийся 1 … 3 ч, цементное тесто пластично и легко поддается формованию.

В период коллоидации концентрация гидратных новообразований в растворе возрастает. Образующиеся соединения (новообразования) отличаются меньшей растворимостью, чем минералы клинкера. Поэтому раствор, насыщенный по отношению к исходным соединениям, является пересыщенным по отношению к новообразованиям. Гидратные новообразования в виде мельчайших коллоидных частичек – субмикрокристаллов – выделяются из раствора, образуя цементный гель.

Возникновение большого количества геля приводит к загустеванию цементного теста, которое утрачивает пластичность. Момент загустевания (схватывания) цементного теста наступает через 3 … 5 ч после затворения цемента водой. Прочность загустевшего теста в этот период еще невелика.

В цементе, состоящем из одного клинкера, потеря пластичности (схватывание) наступает через несколько минут. Природный гипс, растворившись, взаимодействует с трехкальциевым алюминатом и водой с образованием гидросульфоалюмината кальция.

Последний выкристаллизовывается в непосредственной близости от цементных зерен и создает на них оболочки, которые затрудняют дальнейшую гидратацию минералов и замедляют схватывание цемента. В процессе гидратации оболочки разрушаются, после чего скорость гидратации цемента возрастает. Так как гипс вводят в ограниченном количестве, замедляющее действие его на гидратацию сказывается только в начальный период твердения.

Период кристаллизации характеризуется дальнейшей гидратацией цемента. Гель постепенно преобразуется в кристаллические сростки. Формируется конденсационно-кристаллизационная структура цементного камня с химическими связями между частицами. Цементный гель теряет значительное количество воды, и наступает конец схватывания. Число и площадь поверхности контактов в кристаллах новообразований увеличиваются, что приводит к заметному росту прочности цементного камня.

Процессы растворения и гидратации минералов клинкера и кристаллизации новообразований протекают долгие годы. Кристаллический сросток, гель и непрогидратированные зерна цемента образуют цементный камень. В его структуру входят также поры и капилляры, образованные водой, химически не прореагировавшей с цементом.

Приведем наиболее важные выводы из рассмотренного механизма твердения портландцемента.

Все химические реакции взаимодействия клинкерных минералов с водой – *экзотермические,* т.е. сопровождаются выделением теплоты. Экзотермия цемента может рассматриваться и как положительное явление (например, при ускорении твердения цемента, зимнем бетонировании), и как отрицательное (при бетонировании массивных конструкций или при производстве работ в жаркую сухую погоду).

До окончания схватывания структура цементного геля способна обратимо восстанавливаться после снятия механического воздействия. Это позволяет после затворения цемента водой, например в растворных и бетонных смесях, сохранить формовочные свойства и по истечении некоторого времени укладывать смеси в конструкции (формовать изделия).

В процессе взаимодействия трехкальциевого силиката с водой образуется гидроксид кальция. На выделение свободной извести при твердении цемента впервые указал русский ученый Лямин в начале XX в. Наличие извести означает, что в результате твердения в цементном камне всегда возникает щелочная среда. В щелочной среде (при pH > 12,5) не происходит коррозии железа. Поэтому бетоны на портландцементе (и его разновидностях) хорошо защищают стальную арматуру от коррозии. Это одно из условий долговечности железобетона.

Однако $Ca(OH)_2$ сравнительно легко подвергается коррозии в агрессивных средах и даже может вымываться водой. Поэтому для повышения стойкости бетона к коррозии в цемент вводят минеральные добавки, связывающие $Ca(OH)_2$ в более стойкие соединения. Таким путем получают, например, пуццолановый цемент.

Затворение цементного порошка водой – это необходимое условие образования прочного цементного камня, но избыточное количество не увеличивает, а уменьшает его прочность. Это вызвано тем, что цемент способен химически связывать не любое, а строго ограниченное количество воды – максимум 25 … 30 % (от массы сухого цемента). Химически связанная вода входит в состав твердой фазы – новообразований цементного камня.

Вся остальная вода, содержащаяся в цементном тесте, а затем – камне, остается в жидком состоянии. Впоследствии, при высыхании бетона, вода испаряется, в результате чего в структуре цементного камня образуется система тончайших пор. Чем больше воды введено при затворении, тем большей окажется пористость и, следовательно, ниже прочность и стойкость цементного камня и бетона.

11.7.3. Свойства портландцемента

Свойства портландцемента зависят от его химико-минералогического состава и тонкости помола. С увеличением содержания в цементе трехкальциевого силиката ускоряется набор прочности и растет ее величина, так как продукты, образующиеся при его твердении, обладают наивысшей прочностью из всех продуктов твердения цемента. С повышением содержания двухкальциевого силиката рост прочности в первые дни протекает медленно с последующим постепенным увеличением в течение длительного периода. Цементы, содержащие повышенное количество двухкальциевого силиката, более стойки к действию природных вод и попеременному замораживанию и оттаиванию.

В цементах с увеличенным содержанием трехкальциевого алюмината ускоряются сроки схватывания и рост прочности в первые дни твердения, снижаются морозостойкость и стойкость к действию агрессивных природных вод. Цементы с содержанием трехкальциевого алюмината менее 5 % называют низкоалюминатными, более 8 % – высокоалюминатными.

С повышением тонкости помола цемента сокращаются сроки его схватывания, возрастают активность и интенсивность роста прочности. Ниже приведены основные свойства и показатели портландцемента.

Плотность зерен портландцемента колеблется от 3050 до 3150 кг/м^3.

Насыпная плотность зависит от степени уплотнения. Для рыхлонасыпанного цемента она составляет 900 … 1100 кг/м^3, сильно уплотненного – 1600 кг/м^3. В расчетах принимают значение $\rho_н$ = 1300 кг/м^3.

Тонкость помола портландцемента оказывает большое влияние на его скорость твердения, прочность. Тонкость помола характеризуют зерновым составом портландцемента и удельной поверхностью. Зерновой состав определяют путем просеивания пробы цемента через сито № 008; при этом не менее 85 % пробы должно пройти через сито.

Тонкость помола цемента характеризуется также удельной поверхностью порошка – площадью зерен, см^2, в одном грамме. Удельная поверхность обычного портландцемента составляет 2600 … 3200 см^2/г.

Водопотребность цемента характеризуют относительным количеством воды (в %) для получения цементного теста нормальной густоты. Содержание воды в тесте нормальной густоты соответствует ее максимальному количеству, которое цемент может удерживать с помощью химических и физико-химических (адсорбционных и капиллярных) сил. Поскольку в таком тесте еще нет водоотделения, цементное тесто нормальной

густоты, скатываемое в шарик, не прилипает к ладони. Водопотребность цемента составляет 22 … 28 %.

Чем меньше нормальная густота цемента, тем легче получить бетонную смесь с меньшим водоцементным отношением, а бетон – с меньшей пористостью и большей прочностью. И, наоборот, с увеличением нормальной густоты, например у пуццоланового цемента она составляет 30 % и более, растет пористость, и снижается морозостойкость бетона.

Сроки схватывания цементного теста нормальной густоты определяют на приборе Вика по глубине проникания иглы. Начало схватывания должно наступать не ранее чем через 45 мин, конец схватывания – не позднее 10 ч от начала затворения. Эти показатели определяют при температуре 20 ± 2 °С. Схватывание портландцемента обычно наступает через 1 … 2 ч, а заканчивается – через 4 … 6 ч. На сроки схватывания портландцемента влияют его минералогический состав, тонкость помола, температура теста, содержание воды и другие факторы.

Если бетонную или растворную смесь укладывать после начала схватывания, то, утратив пластичность, она при укладке будет деформироваться с нарушением сплошности структуры. В результате в теле бетона образуются разрывы, трещины и другие дефекты механического происхождения, что отрицательно сказывается на прочности и долговечности конструкции.

На стройплощадке конец схватывания цемента в бетонной или растворной смеси (первоначально пластичной консистенции) можно установить следующим образом. Смесь набирают в руку и сжимают. После окончания схватывания на поверхности смеси при сжатии не блестит вода, а комок смеси растрескивается или рассыпается.

Сроки схватывания увеличиваются, если для затворения цемента взято больше воды. При ее избытке возрастает объем пространства в тесте, которое должно быть заполнено новообразованиями. Увеличивать количество воды в тесте или бетонной смеси ради удлинения сроков схватывания нерационально, так как прочность затвердевшего камня (бетона) тем меньше, чем больше введено воды. Целесообразно применять для этого специальные добавки – замедлители схватывания.

Равномерность изменения объема при твердении – одно из необходимых свойств портландцемента. Если в составе цемента содержатся свободные оксиды кальция и магния – CaO и MgO, то при взаимодействии с водой в местах их расположения объем цементного камня увеличивается, что вызывает его коробление или растрескивание. Цементы должны вы-

держивать испытание на равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде. Содержание оксида магния MgO в исходном клинкере должно быть не более 5 %.

Тепловыделение, сопровождающее твердение портландцемента, обусловлено тем, что все реакции взаимодействия минералов цементного клинкера с водой экзотермичны. При укладке небольших объемов сильного разогрева бетона обычно не происходит, поскольку процесс растянут во времени и теплота теряется в окружающую среду. При твердении изделий в закрытом объеме (камерах тепловой обработки) тепловыделение может использоваться для ускорения твердения бетона.

Прочность портландцемента характеризуют *маркой*, которую устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек размером 40×40×160 мм, испытанных в возрасте 28 сут твердения. Балочки изготовляют из цементно-песчаного раствора состава 1:3 (цемент : Вольский песок) стандартной консистенции при водоцементном отношении В/Ц = 0,4. Образцы твердеют на воздухе (над водой) в течение 1 сут и в воде комнатной температуры (без форм) – 27 сут. Через 28 сут балочки испытывают на изгиб, а образовавшиеся при этом половинки балочек – на сжатие. Среднее арифметическое значение предела прочности при сжатии, определенное по четырем наибольшим значениям, называют *активностью* цемента. Марку цемента устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе.

Прочность цемента при соответствующих условиях внешней среды со временем возрастает. Нормальными условиями твердения цементных материалов (строительного раствора и бетона) считают температуру 20 + 2 °С и относительную влажность воздуха 95 … 100 %. При понижении температуры замедляются химические реакции взаимодействия цемента с водой. Это выражается в недоборе прочности. Для ускорения твердения бетонные изделия обрабатывают насыщенным паром при температуре 60 … 90 °С. Пропаривание позволяет за 10 … 15 ч получать отпускную прочность бетона, составляющую 70 … 100 % от проектной 28-суточной. Тепловую обработку изделий надо проводить в условиях, исключающих высушивание бетона, так как вода необходима для синтеза кристаллогидратов цементного камня.

Коррозионная стойкость портландцемента характеризуется стойкостью цементного камня к действию проточной воды, а также вод, содержащих растворимые соли или кислоту. Коррозия цементного камня приводит к разрушению бетона или раствора.

Встречающиеся в практике коррозии можно разделить на три вида.

Коррозия первого вида обусловлена растворением и вымыванием (выщелачиванием) гидроксида кальция из цементного камня. Вслед за этим разлагаются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Такая коррозия развивается наиболее интенсивно в мягких водах, содержащих небольшое количество солей. Наиболее эффективное средство борьбы с выщелачиванием – введение в состав цемента добавок, связывающих $Ca(OH)_2$ в более стойкие соединения.

Коррозия второго вида обусловлена взаимодействием $Ca(OH)_2$ и других составных частей цементного камня с агрессивными веществами внешней среды. В результате этого образуются легкорастворимые соединения, которые вымываются из цементного камня, тем самым ослабляя его. К этому виду относится, например, кислотная и магнезиальная коррозии.

Под влиянием вод, содержащих угольную кислоту H_2CO_3 в результате ее реакции с гидроксидом кальция, образуется хорошо растворимый бикарбонат кальция $Ca(HCO_3)_2$, который вымывается из цементного камня.

Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий. Кислотная среда может возникнуть при конденсации на поверхности конструкций влаги, если в атмосфере содержатся агрессивные вещества – хлор, хлорид водорода, сернистый газ. Такая атмосфера характерна для современных промышленных центров. Попадающая в бетон кислота взаимодействует с $Ca(OH)_2$. Образующийся при этом хлорид кальция легко растворяется в воде и вымывается.

Коррозия третьего вида характеризуется тем, что в результате взаимодействия со средой в порах цементного камня возникают новые твердофазные соединения, объем которых намного больше объема исходных продуктов реакции. Кристаллы этих соединений, увеличиваясь в объеме, давят на стенки пор, вызывая большие внутренние напряжения и растрескивание бетона. Наиболее ярко коррозия этого вида проявляется при действии на цементный камень сульфатных вод (сульфатная коррозия), в результате чего образуется увеличивающийся в объеме гидросульфоалюминат кальция $3CaO \times A1_2O_3 \times 3CaSO_4 \times 31H_2O$, вызывающий растрескивание цементного камня.

В практике редко встречается коррозия одного вида. Кроме того, трудно разграничивать коррозию, например, первого и второго видов. Однако почти всегда можно выделить преобладающий вид коррозии и с учетом коррозионных воздействий запроектировать мероприятия по защите конструкций от коррозии.

11.7.4. Разновидности портландцемента

С целью придания бездобавочному портландцементу специальных свойств, расширив тем самым его применение в строительстве, изменяют степень измельчения, корректируют используемое сырье, вводят специальные добавки. Наибольший объем производства приходится на *портландцементы с активными минеральными добавками.* К ним относятся: *рядовой портландцемент, шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент.* Добавки представляют собой тонкоизмельченные природные или искусственные материалы, участвующие в реакциях гидратации портландцемента с образованием продуктов взаимодействия, придающих определенные свойства цементному камню.

Рядовой портландцемент с минеральными добавками (ПЦ Д20) изготовляют тонким измельчением клинкера и минеральных добавок. В качестве добавок вводят доменные гранулированные шлаки или активные минеральные добавки осадочного происхождения, но не более 20 % массы цемента. Портландцемент с минеральными добавками в отличие от портландцемента без добавок (ПЦ Д0) обладает повышенной водостойкостью, меньшими тепловыделением и морозостойкостью. Этот вид цемента, который имеет марки 400, 500 и 600 является самым распространенным для изготовления сборных железобетонных изделий и конструкций на заводе, монолитных сооружений, возводимых на строительной площадке, а также при штукатурных и кладочных работах.

Пуццолановый портландцемент (ППЦ) получают путем совместного помола или раздельного помола и последующего смешивания клинкера портландцемента (75 … 60 %), активной минеральной добавки (20 … 40 %) и небольшого количества природного гипса. В качестве *активных минеральных добавок* применяют вулканические пеплы (пуццоланы) и туфы, пемзу, диатомит, опоку, трепел, золу ТЭС и др. Такие добавки содержат кремнезем в аморфном состоянии. *Активными минеральными добавками* называют вещества, которые при смешивании с известью придают ей водостойкость или гидравлические свойства.

Активные добавки связывают образующийся при твердении цемента гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ в нерастворимые в воде гидросиликаты кальция, благодаря чему повышаются коррозионная стойкость и водостойкость цементного камня, бетона и раствора. Пуццолановый портландцемент выпускают марок 300 и 400.

Такой цемент рекомендуется для сооружения массивных бетонных конструкций, которые постоянно находятся во влажных условиях (под во-

дой, в земле), а также для надземных сооружений, находящихся в условиях повышенной влажности. Его не следует применять при зимнем бетонировании (медленно твердеет) и для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию (из-за низкой морозостойкости).

Шлакопортландцемент (ШПЦ) получают тонким измельчением портландцементного клинкера (20 … 79 %), природного гипса (до 5 %) и доменного гранулированного (быстроохлажденного, содержащего кремнезем в аморфном виде) шлака (20 … 80 %). Доменные шлаки – массовые побочные продукты при выплавке чугуна. Самостоятельно шлаки не твердеют, но в присутствии гипса и портландцемента они проявляют вяжущие свойства.

Шлакопортландцемент выпускают марок 300, 400 и 500. Он серовато-го цвета с голубоватым оттенком, отличается от других цементов тем, что содержит большое количество металлических частиц, выявляемых магнитом. Шлакопортландцемент применяют для бетонных и железобетонных надземных, подземных и подводных конструкций, сборных конструкций с использованием тепловлажностной обработки, приготовления кладочных и штукатурных растворов. Не рекомендуется применять для конструкций, к которым предъявляются высокие требования по морозостойкости, а также подвергающихся систематическому увлажнению и высушиванию, для зимнего бетонирования.

Кроме портландцементов с активными минеральными добавками существуют и другие его разновидности: быстротвердеющий, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий, белый и цветной. Эти цементы более дорогие и рекомендуются только в тех случаях, когда их специальные свойства могут быть использованы с максимальной эффективностью.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) характеризуется более быстрым нарастанием прочности в первые 3 сут твердения. Более быстрое твердение цемента достигается за счет содержания в клинкере активных минералов ($C_3S + C_3A = 60 … 65$ %), а также за счет повышения тонкости помола клинкера до удельной поверхности 3500 … 4000 см^2/г. При помоле БТЦ допускается введение активных минеральных добавок не более 15 % или доменных гранулированных шлаков до 20 % по массе цемента.

Быстротвердеющие портландцементы марок 400 и 500 целесообразно применять при изготовлении сборных высокопрочных обычных и предварительно напряженных железобетонных изделий и конструкций. Применение быстротвердеющего портландцемента при возведении сооружений из монолитного бетона позволяет значительно сократить сроки выдержки конструкций в опалубке.

Пластифицированный портландцемент получают в результате совместного помола клинкера, гипса и пластифицирующих добавок (сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) и лигносульфонатов технических (ЛСТ)) в количестве 0,15 … 0,3 % от массы цемента. Такой цемент придает растворным и бетонным смесям повышенную подвижность по сравнению с обычными портландцементами при одинаковом расходе воды. За счет пластификации можно сократить расход воды в бетонной или растворной смеси, что приводит к повышению плотности, морозостойкости и водонепроницаемости бетонов и растворов. Пластифицированный портландцемент марок 400 и 500 рекомендуется использовать для изготовления бетонов, используемых в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве.

Гидрофобный портландцемент (ГПЦ) получают путем введения при измельчении клинкера 0,1 … 0,3 % мылонафта, асидола, синтетических жирных кислот и других гидрофобизирующих добавок.

Цементные зерна, покрытые с поверхности тонким слоем гидрофобного вещества, не поглощают влагу из атмосферы, и, следовательно, при хранении на воздухе не происходит гидратация зерен цемента. При длительном хранении портландцемента с гидрофобизирующей добавкой активность его снижается незначительно.

ГПЦ должен удовлетворять тем же требованиям, что и обычный портландцемент. Дополнительное требование – невпитывание капли воды, нанесенной на поверхность пробы цемента, в течение 5 мин. При перемешивании с водой гидрофобные оболочки на зернах цемента разрушаются. Однако портландцемент этого вида несколько замедленно схватывается и набирает прочность по сравнению с обычным портландцементом. Его применяют в гидротехническом, дорожном и аэродромном строительстве.

Сульфатостойкий портландцемент (СПЦ) изготовляют тонким помолом из клинкера следующего минералогического состава: C_3S – не более 50 %; C_3A – не более 5 %; $C_3A + C_4AF$ – не более 22 %; MgO – 5 %. Введение в цемент инертных и активных минеральных добавок не допускается. При таком минералогическом составе уменьшается возможность образования в цементном камне (бетоне) под действием сульфатных вод гидросульфоалюмината кальция – «цементной бациллы». Его выпускают марки 400. СПЦ применяют при изготовлений конструкций, подверженных действию сульфатных вод, а также морозостойкого бетона.

Белый портландцемент – вяжущее вещество, твердеющее на воздухе и в воде, получаемое измельчением белого маложелезистого клинкера, белых минеральных добавок и гипса. Выпускают марок 400 и 500.

Применяют белый портландцемент для архитектурно-отделочных работ, а также в качестве вяжущего при приготовлении окрасочных составов. На его основе при тщательном смешивании или совместном помоле со щелочестойкими пигментами получают цветные портландцементы.

Цветной портландцемент получают путем совместного помола белого или цветного клинкера (не менее 80 %), минеральных (не более 15 %) и органических красителей, гипса и активной минеральной добавки (не более 6 %). Органические пигменты вводят в количестве не более 0,5 % от массы цемента. Красящие добавки должны быть свето- и щелочестойкими. Введение пигментов и красителей снижает активность портландцемента.

Цветной портландцемент выпускают марок 300, 400 и 500 желтого, розового, красного, коричневого, зеленого, голубого и черного цветов. Красный, желтый, коричневый цементы получают с использованием оксидов железа (охры, железного сурика, гематита), черный – диоксида марганца, углеродистых пигментов, зеленый – оксида хрома, фталоцианового пигмента, голубой – ультрамарина.

Цветной портландцемент применяют для архитектурно-отделочных работ, а также в качестве вяжущего при приготовлении окрасочных составов, для индустриальной отделки стеновых панелей, подоконников, лестничных ступеней, в дорожных работах.

11.8. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент – быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, но нормально схватывающееся; его получают тонким измельчением обожженной (до плавления или спекания) сырьевой смеси, состоящей из бокситов и известняка. Свое название этот цемент получил от технического названия оксида алюминия $A1_2O_3$ – глинозем, являющегося основным компонентом бокситов.

Марки цемента (прочность на сжатие образцов в возрасте 3 сут): 400, 500, 600. Его коррозионная стойкость и водонепроницаемость выше, чем портландцемента.

Бетоны и растворы на глиноземистом цементе достаточно водостойки и морозостойки. На основе этого цемента изготавливают жаростойкие футеровочные бетоны. Его применяют при строительстве объектов, возводимых в короткие сроки, при восстановительных работах, при применении конструкций, подвергающихся коррозионному воздействию.

При использовании глиноземистого цемента следует учитывать высокую его стоимость, отсутствие нарастания прочности в отдельные строки твердения и даже возможное снижение прочности (на 50 … 60 %) в возрасте 15 … 20 лет. Глиноземистый цемент нельзя применять в щелочных средах и во влажных условиях при температуре выше 25 °С. Изделия на этом цементе нельзя пропаривать, так как пропаривание может привести к разрушению бетона.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличаются гидравлические вяжущие вещества от воздушных? Приведите примеры вяжущих обеих групп?
2. Как получают строительную воздушную известь?
3. Каким образом происходит гашение и твердение извести?
4. Как получают строительный, высокопрочный и эстрих-гипс?
5. Что служит сырьем для получения гипсовых вяжущих?
6. Какими положительными и отрицательными свойствами обладает строительный гипс?
7. В чем отличие каустического магнезита от каустического доломита. Каковы свойства этих вяжущих?
8. Что такое жидкое стекло и как его получают?
9. Чем воздушная известь отличается от гидравлической?
10. Что используют в качестве сырья при производстве портландцемента?
11. Назовите основные минералы портландцементного клинкера и свойства этих минералов?
12. Что происходит с цементом на стадиях твердения?
13. Что такое марка и активность цемента? Как определяют эти показатели?
14. Почему нельзя изготовить цементный камень, не содержащий пор? Какова причина формирования пористости в цементном камне?
15. Какие виды коррозии цементного камня вы знаете? Чем они вызваны?
16. Какие разновидности портландцемента вы знаете?
17. Назовите активные минеральные добавки к цементам.
18. Что служит сырьем для получения пуццоланового и шлакопортландцемента? Назовите их свойства и область применения.
19. Как получают белый и цветной портландцементы? Назовите область их применения.
20. В чем заключается особенность глиноземистого цемента?

ГЛАВА 12. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

12.1. Вода, добавки, заполнители

12.1.1. Вода

В технологии бетонных работ воду используют для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки бетона в процессе твердения, промывки заполнителей. Во всех случаях допускается к применению не любая вода, а лишь отвечающая техническим требованиям. Качество воды оценивают по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества либо вызывают появление в структуре бетона новообразований, снижающих его прочность и долговечность, а также коррозию стальной арматуры.

Водородный показатель воды (pH) должен быть не менее 4 и не более 12,5, т.е. для затворения возможно применение воды с нейтральной средой, слабокислой или слабощелочной.

Вредными примесями в воде считаются органические вещества, растворимые соли, а также взвешенные частицы глины, пыли и почвы.

Особую опасность представляет присутствие в воде солей, сульфат-ионов и хлор-ионов. Возникает опасность коррозии цементного камня и стальной арматуры в железобетоне. Они могут вызвать также неконтролируемое изменение сроков схватывания и скорости твердения бетона. При большом содержании растворимых в воде солей на поверхности бетона появляются высолы, портящие внешний вид сооружений.

Вода, содержащая пенообразующие вещества, является пригодной для применения при стойкости пены не более 2 мин.

Недопустимо применять воду, на поверхности которой имеется пленка из нефтепродуктов, масел, жиров. Эти вещества могут осаждаться на поверхности цементных частиц и замедлять их гидратацию. Попадая на зерна заполнителей, такие примеси препятствуют образованию прочного контакта с цементным камнем и тем самым снижают прочность бетона.

Запрещается применение для затворения болотной и торфяной воды, а также неочищенных промышленных стоков.

Таким образом, для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона можно без предварительной проверки применять питьевую воду, а также речную, озерную или воду из искусственных водоемов, не загрязненную сточными выбросами, солями и маслами.

12.1.2. Добавки

С целью регулирования свойств растворных и бетонных смесей, а также затвердевшего искусственного камня в процессе их изготовления вводят **химические добавки** на основе неорганических и органических веществ. По агрегатному состоянию добавки подразделяют на жидкие, пастообразные и твердые. В зависимости от количества, входящих в состав веществ различают однокомпонентные и комплексные добавки.

По основному *эффекту действия* добавки подразделяют на регулирующие гидратацию цемента (ускорители, замедлители твердения и противоморозные, обеспечивающие процесс взаимодействия при отрицательной температуре), улучшающие пластичные свойства цементных смесей (пластификаторы и суперпластификаторы); вовлекающие воздух при перемешивании бетонных смесей и придающие цементному камню водоотталкивающие свойства (воздухововлекающие и гидрофобные); создающие ячеистую структуру в бетоне (пено- и газообразующие); повышающие плотность цементного камня (уплотняющие); препятствующие разрушению арматуры в бетоне (ингибиторы коррозии стали); защищающие бетон от разрушения микроорганизмами (биоцидные).

К *ускорителям твердения* относятся добавки, повышающие растворимость цемента, такие, как хлорид и нитрат кальция, сульфат натрия в количестве до 2 % от массы цемента, и кристаллические добавки-затравки, создающие условия для более быстрой кристаллизации и твердения цементного теста. Эти добавки применяют как при бетонировании на строительной площадке в условиях низких положительных температур, так и при получении сборных конструкций на заводе, экономя энергозатраты на их производство.

Изготовление бетонной смеси на заводе и транспортировка ее к месту укладки, особенно в летний период, часто сопровождаются потерей пластичности вследствие интенсивного при повышенной температуре взаимодействия цемента с водой. В этих условиях в бетонную смесь вводят *замедлители твердения*, представляющие собой или органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), образующие адсорбционный слой на поверхности цементных зерен, замедляющий взаимодействие цемента с водой (сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ)), или вещества, эффект которых связан с кристаллизацией малорастворимых соединений, экранирующих поверхность цемента (сахара, соли некоторых органических кислот). При последующем перемешивании защитный слой нарушается, и бетонная смесь приобретает свойства твердеть и набирать прочность в обычном режиме.

Механизм действия *противоморозных* добавок заключается в способности понижать температуру замерзания воды. Так как в случае перехода воды в лед всякие химические взаимодействия прекращаются, то введение их в бетон, обеспечивая сохранность воды (раствора) в жидком виде, создает нормальные условия для прохождения реакций гидратации цемента при отрицательной температуре. В качестве противоморозных применяют как однокомпонентные добавки: хлорид натрия и кальция, карбонат калия (поташ), нитрит натрия, мочевину, так и комплексные: ($Ca(NO_3)_2$ + мочевина), ($Ca(NO_3)_2$ + $Ca(NO_2)_2$ + $CaCl_2$), $CaCl_2$ + $NaNO_2$. Многокомпонентные добавки применяют в том случае, когда хотят или повысить общий основной эффект действия или уменьшить отрицательные свойства одного из компонентов. Например $CaCl_2$ является сильным антифризом, способным образовывать растворы с температурой замерзания – 25 ^oC. Однако наличие агрессивного по отношению к стальной арматуре хлор-иона резко ограничивает ее применение при бетонировании железобетонных конструкций. Снять ограничения возможно за счет ее сочетания с $NaNO_2$, обладающего свойствами антифриза и ингибитора коррозии стали. Введение поташа в количестве до 7 % от массы цемента вызывает быстрое схватывание и потерю подвижности смеси, поэтому добавку используют совместно с замедлителями твердения – мелассой (отход сахарного производства), СДБ, ЛСТм и др.

Пластифицирующие добавки увеличивают подвижность (или уменьшают жесткость) бетонных смесей без снижения прочности бетона. Подвижность бетонных смесей характеризуется осадкой стандартного конуса в сантиметрах. Для определения пластифицирующего эффекта добавки изготовляют бетонную смесь с осадкой конуса 1 … 4 см. При введении добавки осадка конуса возрастает. В зависимости от полученного результата добавку относят к одной из следующих групп:

I группа – суперпластификаторы, увеличивающие осадку конуса с 1 … 4 до 21 см и более;

II группа – сильнопластифицирующие, повышают осадку конуса до 16 … 20 см;

III группа – среднепластифицирующие, осадка конуса – 10 … 15 см;

IV группа – слабопластифицирующие, осадка конуса – 5 … 9 см.

Добавки-суперпластификаторы представляют собой синтетические полимерные продукты. Их вводят в бетонную смесь в количестве 0,5 … 2 % от массы цемента в расчете на сухое вещество. Наиболее распространен суперпластификатор С-3, кроме того, применяют суперпластификаторы

Дофен, 10-03, 40-03, СМФ и др. Действие суперпластификаторов основано на адсорбции их молекул на частицах цемента и гидратных новообразованиях, что способствует их лучшему скольжению относительно друг друга. Одновременно происходит пептизация флокул (агрегатов) цементных частиц с уменьшением толщины сольватных оболочек вокруг них. Резко увеличивая подвижность бетонных смесей, суперпластификаторы облегчают их транспортирование и укладку. Если необходимо сохранить подвижность, сокращают расход воды в бетонной смеси, а это позволяет повысить прочность бетона на 25 … 45 % или получать быстротвердеющие бетоны через 24 ч твердения в нормальных условиях в комплексе с ускорителями твердения на рядовых составляющих бетонной смеси при водоцементном отношении 0,23 … 0,30.

Сильнопластифицирующие добавки (пластификаторы СПС, Апласан) и среднепластифицирующие (лигносульфонаты технические модифицированные ЛСТм-2, ПЛС-1 и ЛМГ) применяют для приготовления пластичных смесей.

Добавки на основе технических лигносульфонатов вводятся в бетонную смесь в количестве 0,2 … 0,7 % от массы цемента.

При этом на пластичных смесях в возрасте 28 сут допускается снижение прочности бетона до 10 %. При снижении расхода воды (сохранении прежней удобоукладываемости) добавки позволяют повысить прочность бетона на 15 … 20 %, а морозостойкость и водонепроницаемость бетона – на 1 … 2 ступени.

Добавки IV группы оказывают на бетонную смесь *пласти–фицирующе-воздухововлекающее* действие (ЩСПК, ГКЖ-10 и ГКЖ-11, мылонафт). Их рекомендуется применять в тощих бетонах и растворах, отличающихся малым расходом цемента. Добавки снижают на 5 … 10 % расход воды и вовлекают в бетонную смесь 2 … 5 % воздуха, а также дополнительно *гидрофобизируют* (придают водоотталкивающие свойства) стенки пор материала. В результате сильно уменьшается водопоглощение бетона, одновременно возрастают морозостойкость и водонепроницаемость (на 1,5 … 2 ступени). Применение таких добавок – эффективный способ повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

В процессе приготовления строительных растворов применяют, кроме названных органических веществ, также *неорганические пластификаторы* – известь и известесодержащие отходы, тонкомолотые добавки – золу и цементную пыль, активные минеральные добавки.

Воздухововлекающие добавки применяют с целью повышения морозостойкости растворов и бетонов. Представляют собой эти добавки поверхностно-активные органические вещества, снижающие поверхностное натяжение жидкости на границе вода-воздух и обеспечивающие вовлечение воздуха в бетонную смесь при ее перемешивании. Насыщение цементного теста тонкодисперсными пузырьками воздуха увеличивает его объем, повышая подвижность бетонных и растворных смесей, однако понижает прочность материала. Содержание вовлеченного воздуха должно составлять 4 … 5 %. В этом случае прочность бетона практически не снижается, так как отрицательное влияние на прочность бетона вовлеченного воздуха нейтрализуется благодаря повышению прочности цементного камня вследствие уменьшения водоцементного отношения за счет пластифицирующего эффекта добавки.

Среди этих добавок чаще используют смолу древесную омыленную (СДО), смолу нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ) и сульфонол, обладающих дополнительно и гидрофобизирующими свойствами.

С целью придания бетону ячеистой структуры, с равномерно распределенными замкнутыми порами по всему объему примерно одного размера, заполненными газом или воздухом, вводят *газо-* и *пенообразующие* добавки. Наиболее часто в качестве газообразователей применяют алюминиевую пудру и пасту, реакция которой с продуктом гидратации трехкальциевого силиката – гидрооксидом кальция или самим вяжущим – известью приводит к выделению газообразного водорода.

Органические соединения, обладающие способностью образовывать устойчивую пену (мыла, гидролизованная кровь животных и др.), применяют при получении пенобетона.

Условия эксплуатации таких конструкций, как железобетонные трубы, емкости для хранения жидких продуктов, требуют, чтобы бетон обладал высокой плотностью и непроницаемостью. С этой целью вводят специальные *уплотняющие добавки* в количестве 1…3 % от массы цемента: хлорид и сульфат железа, сульфат алюминия, водорастворимые смолы. Продукты взаимодействия этих веществ с гидратными новообразованиями цементного камня, обладая низкой растворимостью, заполняют (кольматируют) поры бетона, повышая его плотность, водо- и газонепроницаемость и коррозионную стойкость.

Коррозия стальной арматуры в железобетоне может возникнуть при введении хлорсодержащих добавок (ускорителей, уплотняющих, противоморозных). Аналогичная опасность имеет место и при эксплуатации желе-

зобетонных конструкций в условиях действия жидких и газообразных соединений хлора. *Ингибиторы коррозии* (нитриты, хроматы и бораты) вводят на стадии изготовления в бетонную смесь, чтобы исключить разрушение арматуры, приводящее впоследствии к потере несущей способности всей конструкции.

На сельскохозяйственных объектах, предприятиях пищевой и деревообрабатывающей промышленности возможно появление биокоррозии. С целью исключения развития микроорганизмов на поверхности конструкций и разрушения их продуктами жизнедеятельности в бетонную смесь вводят *биоцидные* добавки, представляющие собой соединения меди.

12.1.3. Заполнители

В зависимости от назначения в смесь, состоящую из воды, минерального вяжущего и, в ряде случаев, химических добавок вводят мелкий заполнитель (строительные растворы) или мелкий заполнитель в сочетании с крупным при получении бетонов.

Заполнители представляют собой рыхлую смесь минеральных или органических зерен природного или искусственного происхождения. Заполнители занимают в бетоне до 80 % объема, следовательно, их введение не только сокращает расход энергоемкого, дорогостоящего вяжущего, но и оказывает определенное влияние как на свойства пластичных смесей, так и на свойства искусственного каменного материала.

Введение заполнителей позволяет создать жесткий, недеформируемый каркас в бетоне, снизить усадку цементного камня, составляющую до 2 мм/м, примерно в 10 раз. Неравномерность усадочных деформаций вызывает внутренние напряжение и появление микротрещин, которые резко снижают прочность и долговечность цементного камня.

Применение высокопрочного заполнителя повышает прочность и модуль упругости бетона (снижает деформации конструкции под нагрузкой), уменьшает ползучесть цементного камня.

Легкие заполнители уменьшают плотность бетона и улучшают теплоизоляционные и акустические свойства за счет повышения общей пористости бетона.

Специальные особо плотные и тяжелые заполнители (чугунная дробь, железная руда) придают бетону и раствору свойство радиационной защиты.

Заполнители классифицируют по крупности зерен, форме, структуре, средней или насыпной плотности, способу производства и назначению.

По *крупности зерен* различают мелкий и крупный заполнитель. Мелкий заполнитель – песок с размером зерен от 0,16 до 5 мм, крупный: гравий с зернами зерен от 5 мм до 70 мм и щебень – до 120 мм. Пески могут быть природными кварцевыми, которые добывают в карьерах открытым способом или подводным со дна водоемов, и дробленными, полученными измельчением каменных горных пород.

Крупный заполнитель *по форме* зерен подразделяют на гравий (гладкие округлые частицы) и щебень (угловатые, шероховатые частицы неправильной формы). Форма зерен заполнителя влияет на удобоукладываемость бетонных и растворных смесей. Предпочтительны в этом отношении зерна округлой или кубовидной формы. Для получения плотного бетона наиболее предпочтительна малоокатанная (щебневидная) форма зерен, хуже – окатанная, еще хуже – пластинчатая и игловатая, снижающая прочность бетона.

Шероховатость поверхности зерен заполнителей также влияет на свойства бетонной смеси и прочность бетона. Бетонная смесь, изготовленная на заполнителях с гладкой поверхностью, например на гравии, обладает хорошей удобоукладываемостью. Смеси на заполнителях с шероховатой поверхностью, в частности на щебне, укладываются хуже, но бетон приобретает большую прочность, чем бетон на гравии. Это объясняется лучшим сцеплением шероховатого заполнителя с цементным камнем.

По *происхождению* заполнители бывают природными и искусственными. Природные заполнители получают путем добычи и переработки таких горных пород: как доломит, известняк, гранит. К искусственным заполнителям относят попутные продукты промышленности (шлаки, золы), а также специально изготовляемые керамзитовый гравий, щебень из вспученного перлита.

По *структуре* заполнители могут быть плотными, если их общая пористость меньше 10 %, и пористыми при увеличении содержания пор.

Качество заполнителей оценивают по насыпной плотности, зерновому (гранулометрическому) составу, пустотности, содержанию вредных примесей и влажности. Кроме этого для крупного заполнителя определяют прочность и, в зависимости от условий работы будущей конструкции, такие специальные свойства, как морозо-, кислото-, жаростойкость и т.д.

По *насыпной плотности* крупные заполнители делятся на тяжелые (свыше 1000 кг/м^3) и легкие (до 1000 кг/м^3). Граница между тяжелым и легким песком 1200 кг/м^3.

Пористые заполнители получают или искусственным путем, такие, как керамзит, аглопорит, перлит, гранулированное ячеистое стекло, или дроблением пористых горных пород: вулканической пемзы, туфа. В последние годы широкое применение в качестве легкого заполнителя находят отходы, полученные при сгорании твердых видов топлива (шлаки, золы); деревообработки (опилки, стружки) и растительные волокнистые отходы (льняная костра, солома зерновых культур, макулатура).

Марка крупного пористого заполнителя по насыпной плотности для теплоизоляционных бетонов должна быть не более 400 кг/м^3, для конструкционно-теплоизоляционных – не более 600 кг/м^3 и для конструкционных – не менее 300 кг/м^3. Марка пористого песка по насыпной плотности, в зависимости от назначения, составляет: не более 300 кг/м^3 для теплоизоляционных бетонов, 200 … 1000 кг/м^3 – конструкционно-теплоизоляционных и до 1200 кг/м^3 – конструкционных.

Зерновой состав показывает содержание зерен разной крупности, выраженное в процентах. Определение проводят просеиванием пробы через набор стандартных сит с разными диаметрами отверстий от 70 до 0,14 мм. Граница между мелким и крупным заполнителем проходит по зерну 5 мм.

Совокупность зерен, размер которых находится в пределах размеров отверстий двух соседних сит, называют *фракцией заполнителя*. Заполнители поставляют полифракционными (состоят из зерен разных фракций) и монофракционными. Например, щебень с размерами зерен 5 … 40 мм является полифракционным, т.к. состоит из зерен фракций 5 … 10, 10 … 20, 20 … 40 мм.

Для получения плотного, прочного бетона, обладающего пониженной деформативностью, необходимо применять тяжелый полифракционный заполнитель, позволяющий обеспечить более полное заполнение единицы объема. При изготовлении высокопористого бетона, наоборот, предпочтительно использование только крупного заполнителя одного размера (однофракционного) в сочетании с минимальным расходом цемента. В этом случае заполнитель соединяется цементным клеем только по контактам, оставляя свободные пространства, заполненные воздухом.

Зерновой состав является определяющим фактором при определении пустотности заполнителя. *Пустотность* представляет собой процентное отношение объема межзерновых пустот ко всему объему, занимаемому заполнителем в свободном насыпном состоянии. В плотном бетоне, используемом для изготовления несущих конструкций, все пустоты должны быть заполнены цементным камнем, обладающим рядом таких отрицательных свойств, как пористость, усадка, ползучесть. Поэтому чем меньше пустотность, тем меньше расход цемента при получении бетона, а, следователь-

но, выше его морозостойкость, водонепроницаемость и ниже деформативность, ползучесть.

К *вредным примесям* в песке относятся пылеватые, илистые и глинистые частицы, а также органические примеси. Пылеватые, илистые и глинистые частицы находясь на поверхности зерен песка препятствуют их нормальному сцеплению с цементным камнем. Кроме того, эти примеси вызывают повышенный расход воды при получении бетонной смеси. В результате снижения прочности сцепления и увеличения пористости происходит снижение прочности и морозостойкости бетона. Количество примесей определяют отмучиванием (многократной промывкой водой) и их содержание не должно превышать 3 %.

Присутствие в песке органических примесей (остатки растений, органических кислот) замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона и раствора.

В щебне вредными примесями являются пластинчатые (лещадные) и игловатые зерна, толщина или ширина которых меньше длины более чем в 3 раза. В зависимости от марки проектируемого бетона их содержание не должно превышать 15 … 50 %. Отрицательное влияние, прежде всего на прочность бетона, связано с низкой прочностью таких зерен, а также ухудшением формуемости бетонной смеси и увеличением расхода цемента. Кроме перечисленных, к вредным примесям можно отнести зерна с отбитостями в керамзите.

Прочность щебня и гравия характеризуется маркой, определяемой по дробимостит щебня (гравия) при сжатии пробы зерен в стальном цилиндре. Чем больше раздробилось заполнителя при сжатии в цилиндре под определенной нагрузкой, тем меньше его прочность. В зависимости от потери массы при испытании (%) для щебня и гравия определяют марку по прочности (П) 200 … 1400 кгс/см^2. Прочность заполнителя как основного составляющего компонента бетонной смеси оказывает большое влияние на марку получаемого бетона. На основании экспериментальных исследований было установлено, что при проектировании высокопрочного тяжелого бетона марка заполнителя должна вдвое превосходить прочность бетона, низкомарочного – в полтора. Введение пористого заполнителя, обладающего меньшей прочностью по сравнению с цементным камнем, снижает общую прочность бетона.

При изготовлении бетонов и растворов необходимо контролировать *влажность* заполнителей. Неучтенная влажность заполнителей при назначении расхода воды может привести не только к расслоению смеси, но и формированию пористой структуры, что влечет за собой снижение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости раствора и бетона.

12.2. Строительные смеси и растворы

Основной областью применения рассмотренных выше минеральных вяжущих является приготовление на их основе строительных растворов и бетонов – искусственных каменных материалов, получаемых в результате твердения рационально подобранных смесей вяжущего с водой (реже без нее), заполнителей и, при необходимости, специальных добавок. Такие пластичные смеси, называемые соответственно *растворными* и *бетонными смесями,* иногда неправомерно именуют «раствором» и «бетоном». Растворы, аналогичные по составу мелкозернистым (песчаным) бетонам, отличаются от последних повышенной пластичностью растворных смесей и, как правило, меньшей прочностью, что обусловливает специфику их применения.

Строительный раствор – это искусственный каменный материал, представляющий собой затвердевшую растворную смесь, состоящую из рационально подобранного (по качеству и количеству) вяжущего, мелкого заполнителя (песка) и воды. В отличие от бетона в растворе не может быть крупного заполнителя (щебня, гравия). Некоторые растворы определенного назначения (например, акустические, декоративные, тампонажные и т.п.) могут содержать особый вид мелкого заполнителя, минеральные пигменты, различные добавки.

В соответствии с назначением строительные растворы делятся на *кладочные* растворы, применяемые при возведении каменных конструкций (кладка стен, фундаментов из кирпича, бутового камня, бетонных и керамических блоков и т.п.); *отделочные* растворы, используемые для штукатурных работ, нанесения декоративных тонкослойных покрытий, изготовления монолитных архитектурных деталей, рельефов и т.д.; *монтажные* – для заполнения швов между сборными элементами (панелями, блоками) при их монтаже; *специальные* растворы, к которым относятся гидроизоляционные, тампонажные, кислотоупорные, жаростойкие, термоизоляционные, акустические и др.

Кроме того, строительные растворы классифицируют по виду вяжущего (неорганического, органического, смешанного и комбинированного), по плотности, прочности, морозостойкости и другим свойствам. Так, строительные растворы на неорганических вяжущих подразделяют на цементные растворы (приготовленные преимущественно на портландцементе и его разновидностях); известковые – на воздушной или гидравлической извести; гипсовые – на строительном гипсе или ангидритовых вяжущих. К

строительным растворам на смешанных и комбинированных вяжущих относят: цементно-известковые, цементно-глиняные, цементно-полимерные и др. Вид применяемого вяжущего зависит от проектируемой марки раствора, долговечности здания и температурно-влажностных условий эксплуатации.

По плотности растворы делят на тяжелые (на обычном песке, плотностью 1500 … 2500 кг/м^3) и легкие (на мелких пористых заполнителях – пемзовых, шлаковых, керамзитовых песках или с поризацией вяжущего теста, плотностью менее 1500 кг/м^3).

По пределу прочности при сжатии для строительных растворов установлены марки (кгс/см^2): 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150 и 200. Малопрочные растворы марок 4, 10 и 25 получают из местных вяжущих, извести и гипса; растворы более высоких марок – на цементно-известковом и цементном вяжущих.

Прочность строительных растворов зависит от марки вяжущего и его количества. Водоцементное отношение в данном случае не имеет существенного значения, так как пористое основание, на которое наносится раствор, отсасывает из него воду и количество воды в разных растворах становится приблизительно одинаковым.

Морозостойкость характеризует долговечность строительного раствора. В зависимости от числа циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдержат образцы-кубы с ребром 70,7 мм в насыщенном водой состоянии, различают следующие марки раствора по морозостойкости: F10, F15, F25, F50, F100, F150, F200 и F300. В значительной степени морозостойкость раствора зависит от его плотности и водонепроницаемости, вида вяжущего, водовяжущего отношения, введенных добавок и условий твердения. Для растворов применяемых для кладки наружных стен морозостойкость должна составлять не менее F50.

Основные свойства растворной смеси – удобоукладываемость, подвижность, водоудерживающая способность, расслаиваемость.

Удобоукладываемость – это свойство растворной смеси легко укладываться плотным и тонки слоем на пористое основание и не расслаиваться при хранении, перевозке и перекачивании раствора насосами. Удобоукладываемость зависит от подвижности и водоудерживающей способности.

Подвижность растворной смеси характеризуется глубиной погружения в нее эталонного конуса. Подвижность назначают в зависимости от вида раствора и пористости основания.

Так, подвижность смесей кладочных растворов для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из крупных панелей и расшивки швов должна быть 5 … 7 см, из бетонных и кирпичных блоков – 9 … 13 см, для бутовой кладки – 4 … 6 см; подвижность штукатурных растворных смесей для подготовительного слоя при механизированном нанесении – 6 … 10 см, а при ручном нанесении – 8 … 12 см и т.д.

Водоудерживающая способность – это свойство растворной смеси удерживать воду при укладке на пористое основание, что необходимо для сохранения подвижности раствора на пористом основании (кирпиче и т.п.). Водоудерживающую способность увеличивают путем введения в растворную смесь неорганических дисперсных добавок и органических пластификаторов. Смесь с этими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом раствор становится плотнее, хорошо сцепляется с кирпичом, что повышает прочность кладки.

Расслаиваемость – способность растворной смеси разделяться на твердую (песок и вяжущее) и жидкую (воду) фракции при транспортировании. Если состав растворной смеси подобран правильно, то смесь будет подвижной, удобоукладываемой, она будет обладать хорошей водоудерживающей способностью и не будет расслаиваться.

При монтаже стен из панелей и крупных бетонных и кирпичных блоков, для изготовления виброкирпичных панелей и блоков, для каменной кладки в многоэтажном строительстве, а также для кладки способом замораживания применяют *кладочные растворы* на портландцементе и шлако-портландцементе; для кладки стен малоэтажных зданий, ненесущих внутренних стен и перегородок – на основе извести, известково-шлаковых, известково-пуццолановых и других местных вяжущих (последние не используют при температуре ниже 10 °С), эти растворы применяют только для кладки надземных частей зданий; для строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, – на сульфатостойком и пуццолановом цементах. Наибольшую прочность, морозостойкость и водостойкость имеют цементные растворы, поэтому их употребляют для кладки ниже гидроизоляционного слоя. Смешанные цементно-известковые и цементно-глиняные растворы обладают достаточно высокой прочностью и морозостойкостью, хорошей удобоукладываемостью; их используют при возведении подземных и надземных частей зданий.

Различают две группы *отделочных растворов* – для обычных штукатурок и декоративных, каждая из которых может предназначаться для наружных и внутренних работ. Для наружной отделки каменных и монолитных бетонных стен применяют цементно-известковые штукатурные рас-

творы; для цоколей и выступающих частей стен, подвергаемых систематическому увлажнению, – цементные и цементно-известковые на портландцементе; для внутренней отделки – известковые, известково-гипсовые, цементно-известковые и гипсовые растворы.

Для декоративной наружной отделки железобетонных панелей применяют отделочные растворы на обычном, белом или цветном портландцементе; для лицевой отделки силикато-бетонных панелей (реже для декоративной штукатурки фасадов) – цветные и обычные растворы на портландцементе и извести; для цветных декоративных отделок внутри зданий – известковые и гипсовые растворы. Марка растворов, применяемых для наружной отделки железобетонных панелей, должна быть не ниже 150, панелей из легких бетонов и для штукатурки фасадов – не ниже 50, а их морозостойкость – не менее F50.

Различают несколько видов художественно-декоративных штукатурок: искусственный мрамор, сграффито, террацо, терразит и др.

Большое значение для архитектурной выразительности зданий может иметь применение *декоративных растворов:* искусственного мрамора, сграффито, терразитовых, цветных известково-песчаных и известково-мраморных (с использованием белого портландцемента, мраморных песка или муки пигментов) и др.

Искусственный мрамор изготавливают из обожженного и измельченного гипса и минеральных пигментов, иногда с добавлением мраморной пудры. После затвердевания растворной смеси поверхность многократно шлифуют и полируют до зеркального блеска. Применяют и другие способы и составы для получения искусственного мрамора. Например, так называемый утюжный мрамор изготавливают на основе высококачественного известкового штукатурного раствора с применением тонкоизмельченных минеральных пигментов. Искусственный мрамор широко применяли в русской и советской архитектуре – Останкинский дворец, гостиница «Москва», здание Дома Союзов в Москве и др. Высококачественные облицовочные материалы, имитирующие естественный камень, изготавливают теперь и из цветных полимерно-минеральных растворных смесей. Освоено производство плиточного искусственного мрамора – декорита.

Сграффито – разновидность декоративной штукатурки с рельефным многоцветным орнаментом или рисунком, получаемым путем последовательного нанесения на поверхность основания (стены) двух и более тонких слоев цветной растворной смеси и вырезания рисунка специальными инструментами на еще не затвердевших слоях до обнажения необходимого цвета. Для этой цели применяют известковые или известково-цементные

окрашенные штукатурные смеси. Примеры применения декоративной отделки способом сграффито известны и в архитектуре итальянского Возрождения конца XVII в. и в советской архитектуре 30 – 50-х гг.

Один из приемов долговечной декоративной отделки стен, колонн, устройства покрытий полов и ступеней лестниц – *террацо-мозаичная отделка* на основе минеральных вяжущих (обычного и цветного портландцемента) и в качестве заполнителя – крошки декоративных горных пород. В покрытиях полов и ступеней затвердевший раствор шлифуют и полируют. Декоративные растворы с каменной крошкой применяют и для наружной отделки бетонных стеновых панелей, цокольных плит и т.п. Другая разновидность цветной штукатурки стен, имитирующая естественный камень, – *терразит*, растворная смесь, обычно приготавливаемая на известково-цементном вяжущем с тонкомолотым мрамором, минеральными красителями и слюдой в виде мелких чешуек.

Обычно используют готовые к применению растворные смеси, получаемые на специализированных предприятиях или растворосмесительных узлах. В последнее время все большее применение получают сухие растворные смеси.

Сухие смеси для изготовления защитно-отделочных покрытий и растворов являются полуфабрикатами и состоят из вяжущих (цемент, известь, гипс или смешанное), фракционированного кварцевого песка (или минерального наполнителя) и полимерных модифицирующих добавок.

В качестве вяжущего в растворах для наружных работ применяется обычно портландцемент, в том числе белый и цветной. Вместо кварцевого песка может использоваться декоративная крошка. Для повышения пластичности и удобоукладываемости смесей вводят добавки-пластификаторы в сухом виде, для увеличения атмосферостойкости – гидрофобизирующие добавки. Кроме того, могут вводиться водоудерживающие и улучшающие прочность сцепления покрытия с основанием добавки.

Основными операциями при изготовлении сухих смесей являются: сушка и классификация песка, дозирование компонентов, смешение и фасовка. В отличие от технологий изготовления традиционных растворных смесей, технологии изготовления сухих смесей позволяют получать их со строго оптимизированным фракционным составом наполнителей и точным дозированием исходных компонентов. Точное соблюдение требований по подготовке исходного сырья, его дозированию и перемешиванию обеспечивает получение сухих смесей и конечной продукции на их основе (растворов и бетонов) стабильно высокого качества. Влажность сухих смесей не должна превышать 1 %. Сухие смеси затворяют водой на месте применения.

Применение модифицированных сухих смесей позволяет существенно повысить качество строительных работ вследствие стабильности их составов и эффективного перемешивания.

В зависимости от назначения различают следующие разновидности сухих растворных смесей:

– кладочные – для кладки ячеистобетонных блоков, кирпича, камня;

– монтажные – для монтажа крупных панелей и перегородок;

– клеевые – для укладки облицовочной плитки, приклеивания теплоизолирующих материалов и армирующей сетки в штукатурных теплоизоляционных системах;

– затирочные (фуги) – для заполнения швов между облицовочными плитками;

– гидроизоляционные – для устройства вертикальной и горизонтальной гидроизоляции цоколей, подвалов, фундаментов и др.;

– штукатурные защитно-отделочные – для устройства внутренней и наружной декоративной отделки зданий;

– самонивелирующиеся – для устройства стяжек и оснований полов;

– шпатлевочные – для заделки, раковин и неровностей на основаниях из бетона и штукатурки;

– окрасочные – для внутренней и наружной отделки зданий;

– штукатурные – для выравнивания стен и потолков;

– грунтовочные – для улучшения сцепления отделочных слоев с основанием.

Основным отечественным производителем сухих растворных смесей является завод сухих смесей ОАО «Забудова». Оборудование завода позволяет выпускать более 200 видов сухих смесей, в том числе для наружной отделки стен и фасадов, внутренней штукатурки, кладки стен из кирпича, ячеистобетонных блоков, приклеивания керамических плиток.

12.3. Бетонные смеси и бетоны

Бетон – представляет собой искусственный каменный материал, получаемый твердением рационально подобранной смеси вяжущего (минерального, реже органического или комбинированного), воды, заполнителей и, при необходимости, специальных добавок. До затвердевания смесь указанных компонентов называют бетонной смесью. Ее тщательно гомогенизируют в бетоносмесителях, укладывают в формы или в опалубку, уплотняют механизированным способом.

12.3.1. Технологические свойства бетонной смеси

При производстве бетонных работ для оценки свойств бетонной смеси используют технические характеристики. Самая важная характеристика – *удобоукладываемость*, т.е. способность равномерно занимать определенный объем под действием собственной силы тяжести, если смесь высокопластична, или приложения нагрузки, например, вибрации при жесткой бетонной смеси. Оценку удобоукладываемости проводят по следующим показателям: подвижности, расплыву конуса, жесткости и связности смеси.

Подвижность определяют для пластичных бетонных смесей, замеряя осадку в сантиметрах отформованного из бетонной смеси усеченного стандартного конуса. В зависимости от осадки конуса (ОК) различают низкопластичные смеси ($П_1$, $П_2$) с ОК 1 … 4 и 5 … 9 см соответственно, пластичные ($П_3$, $П_4$) при ОК 10 … 15 и 16 … 20 см и литые ($П_5$) с ОК 21 см и более.

Расплыв конуса (РК) измеряют в сантиметрах по величине диаметра расплыва отформованного из бетонной смеси усеченного конуса. Для литых бетонных смесей по расплыву конуса (РК) присваиваются марки: РК-1 (до 34 см), РК-2 (35 … 41 см), РК-3 (42 … 48 см), РК-4 (49 … 55 см), РК-5 (56 … 62 см), РК-6 (более 62 см).

Жесткость определяют для смесей с ОК 0 … 1 см. Оценивают жесткость с помощью специального прибора или по упрощенной методике проф. Скрамтаева по времени вибрации в секундах, достаточном для заполнения отформованным усеченным бетонным конусом формы – куба определенного размера. К сверхжестким относят смеси при времени вибрации от 41 до 100 с и более (СЖ 1, 2, 3), жестким от 5 до 40 с (Ж 1, 2, 3, 4).

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды. При их уплотнении требуется сильное механическое воздействие, например прессование, вибрирование под пригрузом, вибротрамбование. Такие смеси характеризуются также небольшим расходом цемента. Жесткие смеси обычно используют при изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций на заводах и домостроительных комбинатах, оборудованных мощными уплотняющими устройствами, на стройплощадке их применяют редко.

В подвижных смесях воды содержится больше, чем в жестких. Бетонные смеси марок П3 … П5 способны заполнять форму под действием силы тяжести, не требуя значительных механических усилий. Подвижные смеси легко поддаются транспортированию по трубопроводам с помощью бетононасосов.

Показатели подвижности и жесткости назначают с учетом насыщенности арматуры, модуля поверхности бетонируемой конструкции и горизонтального или вертикального расположения формы при уплотнении.

Связность – это способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т.е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. В результате уплотнения смеси частицы сближаются, а часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх, образуя капиллярные ходы и полости под зернами крупного заполнителя. Крупный заполнитель, плотность которого отличается от плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), также перемещается в теле бетонной смеси. Если заполнитель плотный и тяжелый, например гранитный щебень, то его частицы оседают (рис. 12.1), а легкие пористые заполнители – керамзит, аглопорит – всплывают. Все это ухудшает структуру бетона, делает его неоднородным, увеличивает водопроницаемость и снижает морозостойкость. Чтобы повысить связность и предотвратить расслоение бетонной смеси, необходимо правильно назначать количество мелкого заполнителя в составе бетона, а также сокращать расход воды затворения, используя пластифицирующие добавки.

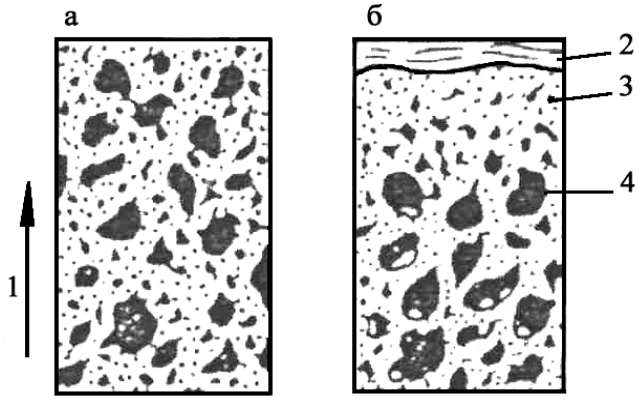


Рис. 12.1. Схема расслоения бетонной смеси:
а – в процессе транспортирования и уплотнения; б – после уплотнения;
1 – направление, по которому отжимается вода; 2 – вода;
3 – мелкий заполнитель; 4 – крупный заполнитель

Применение пластифицирующих добавок – наиболее эффективный способ регулирования удобоукладываемости бетонных смесей. Добавки увеличивают связность бетонных смесей, предотвращая их расслоение, позволяют значительно сократить расход воды, что приводит к увеличению плотности, прочности и морозостойкости бетона.

12.3.2. Технология приготовления бетонов

Основные технологические операции при изготовлении бетонов – дозирование, смешивание компонентов смеси, формование, армирование, твердение (в том числе тепловая или автоклавная обработка).

Весьма важным условием приготовления бетонов с заданными показателями свойств, а также обеспечения стабильности этих свойств является точность *дозирования* компонентов. Для соответствующей операции применяют дозаторы периодического и непрерывного действия с полуавтоматическим или автоматическим управлением.

Цель процесса *перемешивания* – получение однородной смеси сырьевых компонентов. В зависимости от вида и характеристик смеси сырьевых компонентов применяют различное оборудование для перемешивания. Для приготовления бетонной смеси применяют бетоносмесители *периодического* и *непрерывного действия*. Бетоносмесители периодического действия бывают двух типов: свободного падения (гравитационные) и принудительного перемешивания.

В *гравитационных смесителях* перемешивание достигается за счет вращения барабана определенной формы с лопастями на внутренней поверхности (рис. 12.2, *а*). При вращении барабана лопасти захватывают составляющие бетонной смеси и поднимают их на некоторую высоту, при падении компоненты смеси перемешиваются. В таких смесителях готовят пластичные бетонные смеси с крупным заполнителем из плотных пород.

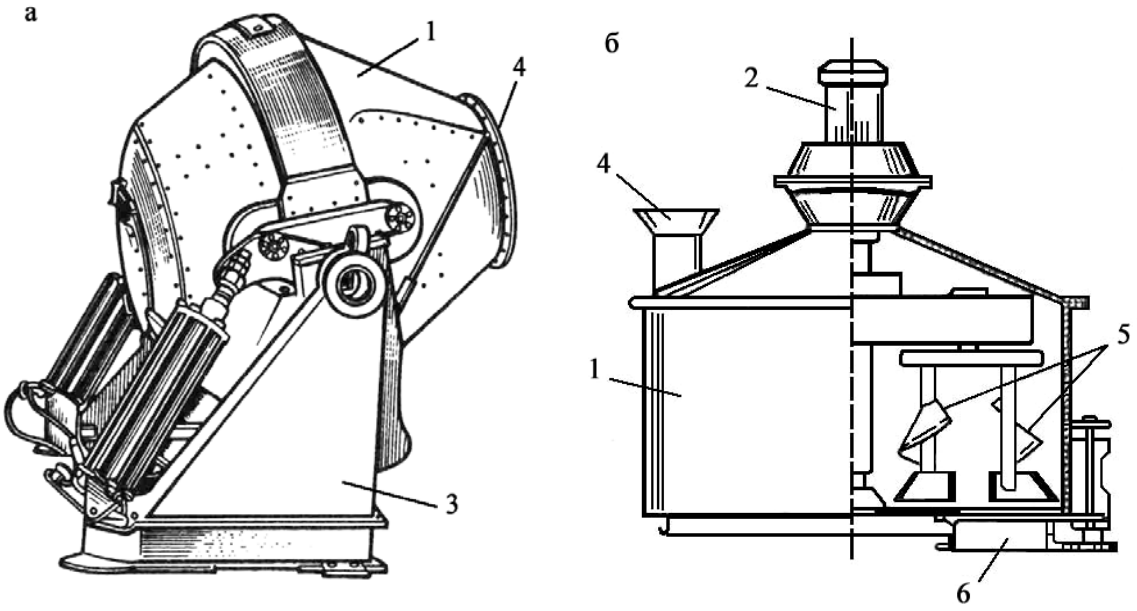


Рис. 12.2. Бетоносмесители:
а – свободного падения (гравитационный); б – принудительного перемешивания;
1 – смесительный барабан; 2 – привод вращения; 3 – станина; 4 – загрузочное отверстие; 5 – смесительные лопатки; 6 – выгрузочное отверстие

Путем установки гравитационного смесителя на автомашину производят *автобетоносмесители*. Применение автобетоносмесителей позволяет транспортировать бетонные смеси на длинные расстояния с сохранением их заданных свойств.

Бетоносмесители принудительного перемешивания представляют собой стальные чаши, в которых смешивание компонентов производится вращающимися лопастями, насаженными на вертикальные валы (рис. 12.2, *б*). Используют их для приготовления жестких бетонных смесей на мелких песках и с повышенным содержанием цемента и бетонных смесей на пористых заполнителях.

Бетоносмесители непрерывного действия имеют рабочий орган в виде вала с лопастями, который одновременно перемешивает и перемещает бетонную смесь от загрузочного отверстия к выгрузочному. Точность дозирования компонентов у бетоносмесителя непрерывного действия меньше чем у бетоносмесителей периодического действия и переход от одного класса бетона к другому осуществить сложнее.

Качество и долговечность бетона в значительной мере зависят от правильности *формования (укладки)* смеси, а методы укладки и уплотнения определяются видом бетонной смеси (пластичная или жесткая, тяжелый или легкий бетон) и типом конструкции. Укладка должна обеспечивать максимальную плотность бетона (отсутствие пустот и однородность состава). Бетонная смесь, особенно жесткой консистенции, представляет собой рыхлую массу с большим количеством пустот. Поэтому недостаточно правильно подобрать состав смеси и равномерно перемешать ее составляющие – необходимо произвести укладку с учетом равномерного распределения в формах.

Литые и пластичные смеси уплотняют под действием силы тяжести или путем штыкования, жесткие смеси – вибрированием или вибропрессованием.

Тепловая обработка материалов после формования производится для ускорения процесса твердения. Так, при температуре 20 ± 2 °С цементные смеси твердеют интенсивно до месячного возраста (затем процесс твердения существенно замедляется). Через 7 … 14 сут прочность материала достигает 60 … 80 % прочности в возрасте 28 сут при твердении в нормальных условиях. Но выдерживание материалов в течение 7 сут и более потребовало бы на заводах огромного количества форм и большого увеличения производственных площадей.

При повышении температуры до 70 … 100 °С процесс твердения цементного камня ускоряется – через 6 … 15 ч прочность бетона достигает 70 % прочности бетона в возрасте 28 сут при твердении в нормальных условиях.

Большое значение на процесс твердения рассматриваемых материалов оказывает и другой фактор – влажность среды. Не следует забывать, что прочность нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия минеральных вяжущих с водой. Эти процессы проходят нормально при определенном количестве воды. Если вода слишком быстро испаряется, т.е. бетон высыхает, то твердение прекращается. Поэтому, например, при твердении бетона в летнее время на строительной площадке, особенно в начальный период, он нуждается в определенном уходе (полив, укрытие поверхности) для сохранения необходимого количества влаги. С этой же целью при тепловой обработке на заводах используют насыщенный пар.

Тепловая обработка производится, как правило, путем пропаривания в камерах при нормальном давлении и температуре до 100 °С (рис. 12.3), а также при электропрогреве, контактном прогреве в обогреваемых формах, в бассейнах с горячей водой.

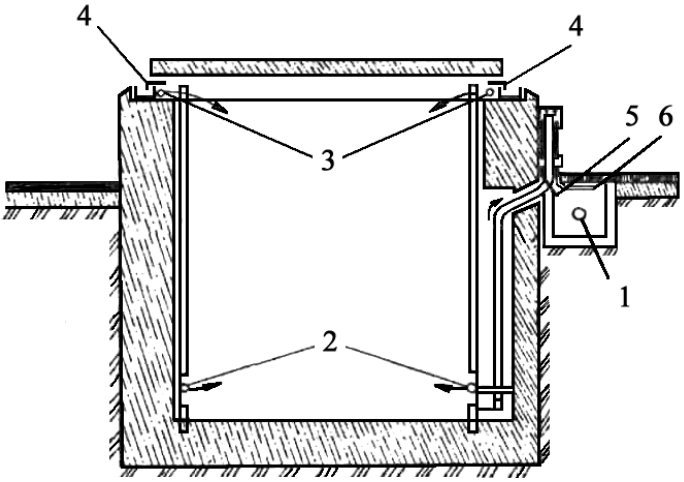


Рис. 12.3. Схема пропарочной камеры:
1 – паропровод из котельной; 2, 3 – нижняя и верхняя перфорированные трубы подводки пара; 4 – замок; 5 – трубопровод подогретой воды; 6 – конденсатор

Автоклавная обработка осуществляется при повышенных давлении и температуре водяного пара. Автоклав представляет собой герметичный цилиндрический горизонтальный сварной сосуд со сферическими крышками диаметром 2 … 3,6 м, длиной 19 … 40 м. Давление в автоклаве составляет

0,8 … 1,5 МПа, температура – 174 … 200 °С. В этих условиях резко ускоряются процессы твердения, а при обработке ряда материалов происходит гидротермальный синтез – взаимодействие между гидроксидом кальция, кремнеземом и водой с образованием прочного искусственного камня.

12.3.3. Физико-механические свойства бетонов

Затвердевший бетон относится к материалам составного (конгломератного) типа, так как включает в себя заведомо разнородные компоненты – зерна заполнителей, скрепленные цементным камнем. Поэтому к важнейшим свойствам, определяющим качество цементного камня, относятся прочность и адгезия, т.е. способность к сцеплению с зернами заполнителя.

Основными показателями качества бетона являются прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, деформативность, коррозионная стойкость.

Прочность бетона способность материала воспринимать действие нагрузок без разрушений. Бетон представляет собой хрупкий искусственный композиционный каменный материал, поэтому на сжатие он работает в 10 … 20 раз лучше, чем на изгиб. Как правило, строительные конструкции эксплуатируют в сложных условиях нагружения, когда сжимающие нагрузки сочетаются с изгибающими и растягивающими (балки, фермы), поэтому при проектировании, нагрузки распределяют и рассчитывают таким образом, чтобы сжимающие воспринимал бетон, а изгибающие и растягивающие – арматура. В связи со спецификой бетона, этого прочного, но относительно хрупкого конструкционного материала, его основной характеристикой является прочность на сжатие.

Контроль прочности бетона проводят разрушающими методами с использованием специально отформованных контрольных образцов или полученных выпиливанием (выбуриванием) из бетона конструкций, а также неразрушающими – непосредственно в изделиях. Контрольные образцы изготавливают из бетонной смеси формуемой конструкции и направляют вместе с ней на твердение в естественных условиях, пропарочную камеру или автоклав. Марку и класс бетона определяют на образцах (кубах, призмах, цилиндрах), выдержанных 28 суток при влажности более 95 % и температуре 20 ± 5 °С. В зависимости от максимального размера крупного заполнителя (от 20 до 100 мм) наименьший размер образца (ребра куба, стороны сечения призмы или диаметра цилиндра) может изменяться от 100 до 300 мм. За базовый следует принимать образец с размером рабочего сече-

ния 150×150 мм. Для приведения прочности бетона образцов других размеров к базовому используют масштабные коэффициенты.

Класс бетона по прочности на сжатие обозначают индексом «С» и числами, выражающими значение нормативного сопротивления и гарантированной прочности в Н/мм^2 (МПа), например $С^{20}/_{25}$. В числителе указывается нормативное сопротивление бетона осевому сжатию призм или цилиндров $f_{ск}$ определяемое при обеспеченности 0,95, которое допускается принимать равным $f_{ск} = 0{,}8\, f^{G}_{C,\ \ldots\ cube}$. В знаменателе ставится гарантированная производителем прочность бетона на осевое сжатие, определяемая при испытании кубов размером 150×150×150 мм в проектном возрасте.

Приняты следующие классы конструкционного бетона по прочности: $С^{8}/_{10}$, $С^{12}/_{15}$, $С^{16}/_{20}$, $С^{20}/_{25}$, $С^{25}/_{30}$, $С^{30}/_{37}$, $С^{35}/_{45}$, $С^{40}/_{50}$, $С^{45}/_{55}$, $С^{50}/_{60}$, $С^{55}/_{67}$, $С^{60}/_{75}$, $С^{70}/_{85}$, $С^{80}/_{95}$, $С^{90}/_{105}$, $С^{100}/_{115}$. Класс является основным показателем прочности бетона. Для изделий и конструкций, запроектированных без учета требований стандарта, прочность бетона характеризуют маркой.

Марка по прочности на сжатие – наиболее распространенная характеристика бетона. Определяют марку путем испытания на осевое сжатие бетонных образцов-кубов размерами 150×150×150 мм в установленном проектном возрасте (обычно 28 сут). Полученный при испытании предел прочности при сжатии как среднее арифметическое значение по двум наибольшим (в серии из трех образцов), выраженный в кгс/см^2, является численной характеристикой марки.

Прочность бетона на сжатие рассчитывают по следующей формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_W ,$$

где F – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

A – площадь рабочего сечения образца, мм^2 (см^2);

α – масштабный коэффициент;

K_W – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

В обозначении марки используют индекс «М». Установлены следующие марки тяжелого бетона по прочности на сжатие: М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500; М550; М600; М700; М800; М900 и М1000. Например, марка бетона М200 означает, что его предел прочности при сжатии – не менее 200 кгс/см^2.

Непосредственно в изделиях и сооружениях контроль прочности бетона проводят с использованием *механических* и *физических неразрушающих методов* испытаний.

Механические основаны на вдавливании штампа в бетонную поверхность под действием удара, который наносят либо с помощью специальной пружины, либо выстрела или вручную специальным молотком.

К физическим методам относятся: резонансный, импульсный, радиометрический и метод волнового удара с применением специальных приборов.

Способность бетона сохранять свою прочность при попеременном замораживании и оттаивании в воде называют *морозостойкостью*. Марка бетона по морозостойкости обозначается индексом «F» и определяется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания испытываемых в насыщенном водой состоянии образцов, при котором допускается снижение прочности бетона на сжатие не более чем на 5 % и потери массы не более 3 %.

Марку по морозостойкости назначают и контролируют для бетона гидротехнических сооружений, мостовых и дорожных покрытий и др. Установлены следующие марки тяжелого бетона по морозостойкости в циклах: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000.

Причинами, вызывающими разрушение бетона, являются давление замерзающей и увеличивающейся в объеме воды на стенки пор и микротрещин, а также различные коэффициенты температурного расширения цементного камня, заполнителей и льда. Попеременное замерзание и оттаивание приводит к постепенному разрушению структуры бетона и снижению его прочности.

Для приготовления морозостойких бетонов рекомендуется применять портландцемент и его разновидности: пластифицированный, гидрофобный, быстротвердеющий и сульфатостойкий. Допустимое количество трехкальциевого алюмината C_3A в клинкере для портландцемента в зависимости от марки бетона по морозостойкости должно составлять не более 5 … 10 %.

В цемент не рекомендуется вводить активные минеральные добавки, которые повышают водопотребность вяжущего в бетоне. Для сокращения водопотребности бетонной смеси и уменьшения доли микропор в бетоне следует использовать добавки поверхностно-активных веществ, оказывающих воздухововлекающее, гидрофобизирующее или пластифицирующее действие на бетонную смесь.

Марка по водонепроницаемости назначают для бетона конструкций, которые должны обладать ограниченной проницаемостью при одностороннем давлении воды. За *марку по водонепроницаемости* принимают наибольшее давление воды (кгс/см^2), которое выдерживают бетонные образцы диаметром и высотой 150 мм при испытании по установленной ме-

тодике. Утверждены следующие марки бетона по водонепроницаемости (кгс/см^2): W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20.

Повысить водонепроницаемость бетона можно за счет подбора состава заполнителей, обеспечивающих их плотную упаковку с минимальным объемом пустот, заполняемых для обеспечения монолитности цементным тестом; сокращения расхода воды в сочетании с применением добавок пластификаторов и интенсивным способом уплотнения бетонной смеси; использование уплотняющих добавок; пропитки и защиты бетонной поверхности полимерными составами.

Деформативность бетона на основе цемента зависит в большей мере от условий начального твердения и последующей эксплуатации. При твердении на воздухе происходит определенная усадка материала. Главная причина усадки – испарение воды в процессе твердения. Наибольшую усадку имеет цементный камень. Заполнители образуют своеобразный каркас, препятствующей усадке. Поэтому усадка бетона значительно меньше, чем цементного камня. Усадочную трещиностойкость бетона можно повысить при рациональном подборе состава бетона и используемого цемента, в том числе при оправданном снижении его расхода.

В воде бетон набухает, но величина набухания значительно меньше величины усадки и, как правило, не представляет опасности.

Весьма нежелательны деформации бетона от действия повышенной температуры, а также от нагревания его теплотой, выделяющейся при экзотермических реакциях цемента с водой. Для предотвращения таких деформаций в массивных бетонных конструкциях устраивают температурные швы.

Под нагрузкой бетон деформируется иначе, чем сталь или другие сравнительно упругие материалы. Существенный недостаток бетона (как и других каменных материалов) – хрупкость, определяемая структурой, строением цементного камня и материала в целом. Область условно-упругой работы бетона – от начала нагружения до такой нагрузки, при которой образуются микротрещины по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем. При дальнейшем нагружении микротрещины образуются уже в цементном камне и возникают пластические – неупругие деформации бетона.

Деформативность легких бетонов на пористых заполнителях может существенно отличаться от аналогичного показателя тяжелых бетонов. Легкие бетоны более трещиностойки, так как их предельная растяжимость в 2 … 4 раза выше, чем равнопрочного тяжелого бетона. Но легкий бетон дает большую усадку, чем тяжелый, величина его набухания в воде также больше.

Деформации ячеистых бетонов в большей мере зависят от влажности изделий после тепловой обработки. После автоклавного твердения влажность бетона доходит до 25 % по массе, а после пропаривания – до 50 %. От усадочных деформаций могут появиться трещины, существенно снижающие долговечность материала. Усадка уменьшается при меньшем количестве воды для приготовления такого бетона, введении крупного песка, объемной гидрофобизации материала.

Железобетонные материалы обладают способностью выдерживать гораздо большие растягивающие и изгибающие нагрузки по сравнению с бетонными. Эти нагрузки воспринимает стальная арматура, предельная растяжимость которой выше, чем у бетона, в 3 … 6 раз.

Под огнестойкостью бетона понимают его способность сохранять прочность при кратковременном воздействии высоких температур, например при пожаре. При кратковременном нагреве благодаря малой теплопроводности бетон прогревается на небольшую глубину, причем содержащаяся в нем вода (в том числе и кристаллизационная) испаряется, понижая температуру бетона. При длительном воздействии высоких температур в бетоне происходят необратимые химические изменения, сопровождающиеся потерей им прочности.

Интересно, например, поведение бетона в условиях пожара. Потеря его прочности происходит под воздействием высокотемпературного пламени (t > 500°C) от внутренних напряжений, возникающих вследствии различных температурных коэффициентов линейного расширения составляющих бетона – цементного камня и крупного заполнителя. Кроме того, в структуре цементного камня при температуре выше 500 °C начинается разложение гидроксида кальция, разрыхляются, увеличиваясь в объеме, зерна кварца в песке и крупном заполнителе.

Для устройства конструкций топок, печей и промышленных труб применяют специальный жаростойкий бетон на глиноземистом цементе и жаростойких заполнителях.

12.3.4. Классификация бетонов

Бетоны классифицируют по назначению, средней плотности, виду вяжущего, виду заполнителей, структуре и условиям твердения.

По назначению различают конструкционные (обычные, гидротехнические, дорожные и др.) и специальные бетоны (жаростойкие, коррозионностойкие, декоративные, теплоизоляционные, радиационно-защитные, бетонополимеры, полимербетоны и др.).

Конструкционные – это бетоны несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, определяющими требованиями к качеству которых являются требования по физико-механическим характеристикам.

Обычным называют бетон, к которому не предъявляются особые требования.

К *гидротехническим* относят бетоны, применяемые для возведения гидротехнических сооружений (плотин, водорегулирующих, водозаборных и других сооружений), постоянно или периодически омываемых водой. Должны отличаться высокой прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью. В конструкциях, воспринимающих напор воды, марка бетона (в возрасте 180 дней) должна быть не ниже М400. Водонепроницаемость гидротехнических бетонов должна составлять W2 … W8. Бетон, укладываемый в подводной части и в зоне переменного уровня, должен быть стоек к агрессивному действию данного состава воды.

Дорожным называют бетон, применяемый в покрытиях дорог, аэродромов и других подобных сооружениях. Предел прочности бетона при изгибе должен быть не ниже 2 МПа, а морозостойкость – не менее F 200.

В *жаростойких бетонах* в качестве вяжущего применяют портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент или жидкое стекло. В качестве мелкого и крупного заполнителей используют бой шамотного и обыкновенного глиняного кирпича, базальт, диабаз. По степени огнеупорности жаростойкие бетоны делят на высокоогнеупорные (огнеупорность выше 1770 °С), огнеупорные (до 1770 °С), и жароупорные (до 1580 °С).

Конструкционно-теплоизоляционные бетоны предназначены для железобетонных конструкций, к которым предъявляются требования как по несущей способности, так и по теплоизоляционным свойствам.

Коррозионностойкими называют бетоны, способные в условиях эксплуатации противостоять действию агрессивных сред.

Радиационно-защитные – особо тяжелые бетоны (например, сталебетон, баритобетон), с тяжелыми заполнителями, такими, как магнезит, лимонит, барит, стальная дробь и др. Средняя плотность сталебетона до 5600 кг/м^3. Применяют для защиты от радиоактивного излучения, рентгеновских лучей и для других целей.

Для архитекторов особый интерес представляют специальные светлые, цветные и офактуренные *декоративные бетоны*. В качестве лицевого (декоративного) материала могут использоваться ахроматические бетоны обычного серого цвета, обладающие неисчерпаемыми возможностями пластической обработки поверхности и формы, разнообразием текстуры, ко-

торая по-разному проявляется в зависимости от качества и крупности заполнителей и степени их обнажения. Декоративный эффект достигается фактурной обработкой поверхности серого и цветного бетона.

Рельеф создается как в процессе формования изделий из бетона, так и различной механической обработкой поверхности затвердевшего материала. В монолитных конструкциях фактурная (в том числе глубокая рельефная) поверхность бетона может быть создана также применением опалубки. По свежеуложенному бетону рельефный рисунок можно создать накаткой (тиснением) рельефными валами, а на отвердевшем – фрезерованием (электрофрезой), пневмоинструментом и др.

Цветные бетоны изготавливают как применением цветных цементов, так и введением свето- и щелочестойких пигментов (сурика, мумии, охры и др.) в обычную бетонную смесь. Однако из-за высокой стоимости цветных цементов и пигментов, как правило, окрашивают не всю массу, а только лицевой слой бетонных изделий и конструкций. Цвет бетона могут изменять цветные и специально окрашенные природные и искусственные заполнители. Цветные декоративные заполнители обнажают смыванием струей воды пленки цементного теста с поверхности незатвердевшего бетона, механическим способом (шлифованием) и др. Декоративный эффект лицевой поверхности бетона может создаваться посыпками на свежеотформованные изделия (или укладкой на дно формы при изготовлении панелей «лицом вниз») дробленого природного камня (мраморная или гранитная крошка и др.), стеклянного боя, керамической крошки и т.п.

По виду вяжущего их делят на *цементные* бетоны, изготавливаемые на клинкерных цементах (портландцементе и его разновидностях, глиноземистом цементе и др.); *силикатные* – на известково-песчаном вяжущем (автоклавного твердения); *гипсовые* (гипсобетоны) – на гипсовом и гипсоцементно-пуццолановом вяжущих; *шлаковые* – на шлаковых бесклинкерных вяжущих; на *специальных вяжущих*, например, кислотостойкий – на кислотостойком цементе, затворяемом жидким стеклом или водным раствором силиката натрия (или калия).

В зависимости от **средней плотности** различают бетоны особо тяжелые (более 2500 кг/м^3), тяжелые (2000 … 2500 кг/м^3), легкие (500 … 1800 кг/м^3) и особо легкие (500 кг/м^3 и менее).

Особо тяжелые бетоны изготовляют на особо тяжелых заполнителях (магнетит, лимонит, барит, чугунная дробь, обрезки стали). Эти бетоны применяют для изготовления специальных конструкций, например при

сооружении зданий атомных электростанций для защиты от радиоактивного излучения.

Тяжелые бетоны изготовляют на плотном песке и крупном заполнителе из плотных горных пород и используют во всех несущих конструкциях.

Легкие бетоны, отличающиеся высокой пористостью (до 45 %), являются перспективными материалами для несущих и ограждающих конструкций зданий. По способу создания пористой структуры легких бетонов различают: бетоны на легких пористых искусственных (керамзит, аглопорит, шлаки и др.) и естественных (туф, пемза и др.) заполнителях; крупнопористые (беспесчаные) бетоны с применением однофракционного крупного (плотного или пористого) заполнителя.

В зависимости от назначения различают легкие бетоны конструкционные средней плотностью 1400 … 1800 кг/м^3 и конструкционно-теплоизоляционные – средней плотностью 500 … 1400 кг/м^3. Конструкционные легкие бетоны применяют в несущих конструкциях зданий и сооружений, конструкционно-теплоизоляционные – в ограждающих конструкциях.

По виду вяжущего различают легкие бетоны цементные, известковые, гипсовые, на смешанном вяжущем и на жидком стекле. Марка вяжущего выбирается в 3 … 6 раз выше проектируемой марки бетона. Названия легких бетонов на пористых заполнителях (аглопоритобетон, туфобетон и т.д.) соответствуют применяемому для их изготовления искусственному или природному пористому материалу. Применяют пористые заполнители крупностью 5 … 40 мм средней плотностью до 1000 кг/м^3. Природные заполнители получают дроблением легких горных пород – пемзы, вулканических шлаков и туфов, известковых туфов, пористых известняков; искусственные – из отходов промышленности (гранулированный или вспученный металлургический шлак) и путем термообработки минерального сырья (аглопорит, керамзит, вспученный перлит и др.). Прочность на сжатие пористых заполнителей изменяется в широких пределах (0,4 … 20 МПа).

Средняя плотность и прочность наиболее распространенных легких бетонов на пористых заполнителях определяются видом и качеством (насыпной массой, зерновым составом и др.) заполнителей, активностью и расходом вяжущего, водоцементным отношением, способом уплотнения бетонной смеси, условиями и сроком ее твердения. Пористые заполнители, поглощая и отдавая влагу, интенсивно влияют на твердение смеси, повышают прочность цементного камня. Прочность на растяжение легких бетонов может быть выше и ниже равнопрочного тяжелого. При одинаковой с

тяжелым бетоном прочности легкий бетон вследствие повышенной деформативности пористых заполнителей имеет меньший модуль упругости. Усадка легкого бетона плотного строения больше, чем тяжелого (на 15 … 25 %), и может достигать 1,5 мм/м.

Водопоглощение легких бетонов изменяется в широких пределах: плотного керамзитобетона 14 … 17 %; перлитобетона 25 … 30 %; водопроницаемость примерно такая же, как у тяжелого. Легкие бетоны могут иметь высокую морозостойкость, хорошо сопротивляться сульфатной коррозии, отличаться стойкостью против выщелачивания, высокой огнестойкостью (на 30% выше, чем тяжелого).

Основные преимущества легких бетонов по сравнению с тяжелыми: малая средняя плотность и низкая теплопроводность, что дает возможность снизить затраты на транспортировку (в среднем на 25 %) и монтаж конструкций, экономить материалы (особенно при возведении многоэтажных зданий) вследствие уменьшения массы конструкций (до 30 … 35 %). Для снижения средней плотности бетона без потери прочности целесообразно применять высокоактивные вяжущие. Наибольший эффект достигается при комплексном применении легких бетонов несущих и ограждающих каркасов зданий, панелей стен, покрытий и перекрытий. Легкие бетоны используют также в производстве преднапряженных элементов конструкций – пролетных строений мостов ферм, балок и плит большепролетных покрытий и др.

Особо легкие бетоны (ячеистые) получают в результате твердения предварительно вспученной смеси минерального вяжущего, тонкодисперсного кремнеземистого компонента, порообразователя и воды.

По способу получения ячеистого строения различают: пенобетоны, получаемые смешением цементного теста или растворной смеси с устойчивой (клееканифольной или др.) пеной; газобетоны, получаемые введением в смесь газообразователя (например, алюминиевой пудры), а также микропориты, изготавливаемые из шлама (смесь глины, извести, песка и жидкого стекла) с введением избыточного количества воды (до 300 % от массы сухих компонентов).

Для уменьшения усадки в ячеистые бетоны могут вводиться легкие пористые крупные заполнители.

Различают ячеистые бетоны, твердеющие при пропаривании и автоклавного твердения. По видам применяемых вяжущих различают цементные пено- и газобетоны, пено- и газошлакобетоны, пено- и газосиликаты

(на известковых вяжущих), пено- и газогипсы, а также ячеистые бетоны на смешанных вяжущих, называемые по виду основного вяжущего.

Свойства ячеистых бетонов определяются составом и структурой материала и, прежде всего, общей пористостью (она колеблется от 54 до 90 %), строением, размерами и однородностью пор. Общая пористость особо легких ячеистых бетонов составляет 78 … 90 %; их прочность не менее 2,5 МПа. Коэффициент теплопроводности особо легкого бетона влажностью 15 … 20 % не выше 0,25 Вт/(м·°С), а влажностью 3 … 8 % не выше 0,15 Вт/(м·°С); огнестойкость 4 ч при 800 °С. Эти свойства позволяют использовать особо легкие ячеистые бетоны в виде крупных и мелких блоков, как эффективный теплоизоляционный материал.

Эффективно применение теплоизоляционного бетона в трехслойных ограждающих конструкциях отапливаемых зданий, в заводской монолитной изоляции на трубах. Особо легкие ячеистые бетоны используют также для изготовления звукопоглощающих плит для акустической отделки потолков и стен. Изделия из ячеистого бетона легко поддаются механической обработке (пилению, фрезерованию, сверлению и др.). Их цвет (от белого до серо-синего) может быть изменен в процессе производства введением пигментов или поверхностным окрашиванием.

Окрашивают и офактуривают только такие изделия из ячеистых бетонов, которые имеют в конструкции открытую лицевую поверхность (например, акустические плитки).

По структуре различают бетоны: *плотной структуры* (в них пространство между зернами заполнителя занято затвердевшим вяжущим при межзерновых пустотах в уплотненной бетонной смеси не выше 6 %), *крупнопористые* (беспесчаные и малопесчаные бетоны, в которых значительная часть объема межзерновых пустот остается не занятой мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим), *поризованные* (пространство между зернами заполнителей занято вяжущим веществом, поризованным пено- или газообразующими добавками) и *ячеистые* (состоят только из смеси вяжущего, тонкодисперсного кремнеземистого компонента – молотого песка или золы и порообразующей добавки).

По виду заполнителей различают бетоны: на плотных, пористых и специальных заполнителях.

В зависимости **от крупности заполнителя** различают *крупно-* и *мелкозернистые* бетоны. Верхний предел крупности определяется не только технологическими требованиями, но и сечением элементов, наличием и

расположением арматуры, соображениями декоративности (для отделочных бетонов). В крупнозернистом бетоне используют заполнитель крупностью 10 … 150 мм, а в мелкозернистом – заполнителем является песок и щебень крупностью до 10 мм. Мелкозернистые бетоны отличаются повышенной прочностью на изгиб, растяжение и вибродинамические нагрузки. Его применяют в конструкциях, высоко насыщенных арматурой, в тонкостенных и криволинейных конструкциях.

По условиям твердения бетоны подразделяются на: бетоны *естественного твердения*, твердеющие при температуре 15 … 20 °С и атмосферном давлении; бетоны, подвергнутые с целью ускорения твердения *тепловой обработке* (50 … 90 °С) при атмосферном давлении; бетоны, твердеющие в *автоклавах* при температуре 175 … 200 °С и давлении пара 0,9 … 1,6 МПа.

12.4. Железобетонные изделия

Железобетон получают на строительной площадке или в заводских условиях, соединяя в единое целое бетон и стальную арматуру.

Армирование предполагает установку стальной арматуры в тех местах материала (бетона), которые подвержены при эксплуатации растягивающим нагрузкам. Их воспринимает рабочая несущая арматура. Монтажную арматуру устанавливают в сжатых или ненапряженных участках материала. Применяют также закладные детали, петли и крюки.

Непосредственно на месте строительства возводятся монолитные железобетонные конструкции. Для этого устанавливают опалубку из металла, древесины или других материалов, которая соответствует будущей форме сооружения. Затем ставят арматуру, производят подачу и укладку бетонной смеси. Распалубливание железобетонной конструкции производят после достижения бетоном необходимой прочности. Архитектурные формы зданий и сооружений из монолитного железобетона очень разнообразны и отличаются своеобразной пластикой (рис. 12.4).

По виду армирования различают сборные железобетонные материалы с обычным армированием и предварительно напряженным. В последнем случае арматуру предварительно растягивают, а после формования и затвердения бетона ее освобождают от натяжения. Происходит сжатие массы бетона, увеличиваются предельная растяжимость материала при нагрузках, трещиностойкость и долговечность.



Рис. 12.4. Возведение здания из монолитного железобетона

Применение железобетонных материалов с предварительным напряжением постоянно расширяется.

В настоящее время изготовляют сборные бетонные и железобетонные элементы для всех основных частей современных зданий и сооружений – фундаментов и каркасов, стен, перегородок, перекрытий, покрытий, лестниц, а также для специальных видов строительства (подземного, дорожного, гидротехнического, мостостроения). С учетом возможностей транспортного и грузоподъемного оборудования длина таких изделий, как правило, не превышает 25 м, ширина 3 м и масса 25 т.

Ниже приведены краткие характеристики некоторых широко применяемые в строительстве железобетонных изделий.

Фундаментные блоки выполняют из тяжелого бетона прямоугольного или трапециевидного сечения, например, длиной 0,78 … 2,38 м, высотой 0,3 … 0,5 м и массой 0,5 … 4 т (рис. 12.5, *а*).

Фундаментные элементы под железобетонные колонны изготовляют из тяжелого бетона, нижнюю поверхность делают плоской, а в верхней части устраивают специальное гнездо (стакан) для крепления колонны.

Колонны – железобетонные линейные элементы прямоугольного сечения, например, размером 30×30 или 40×40 см. Длина колонн в многоэтажных зданиях до 8,4 м (рис. 12.5, *б*).

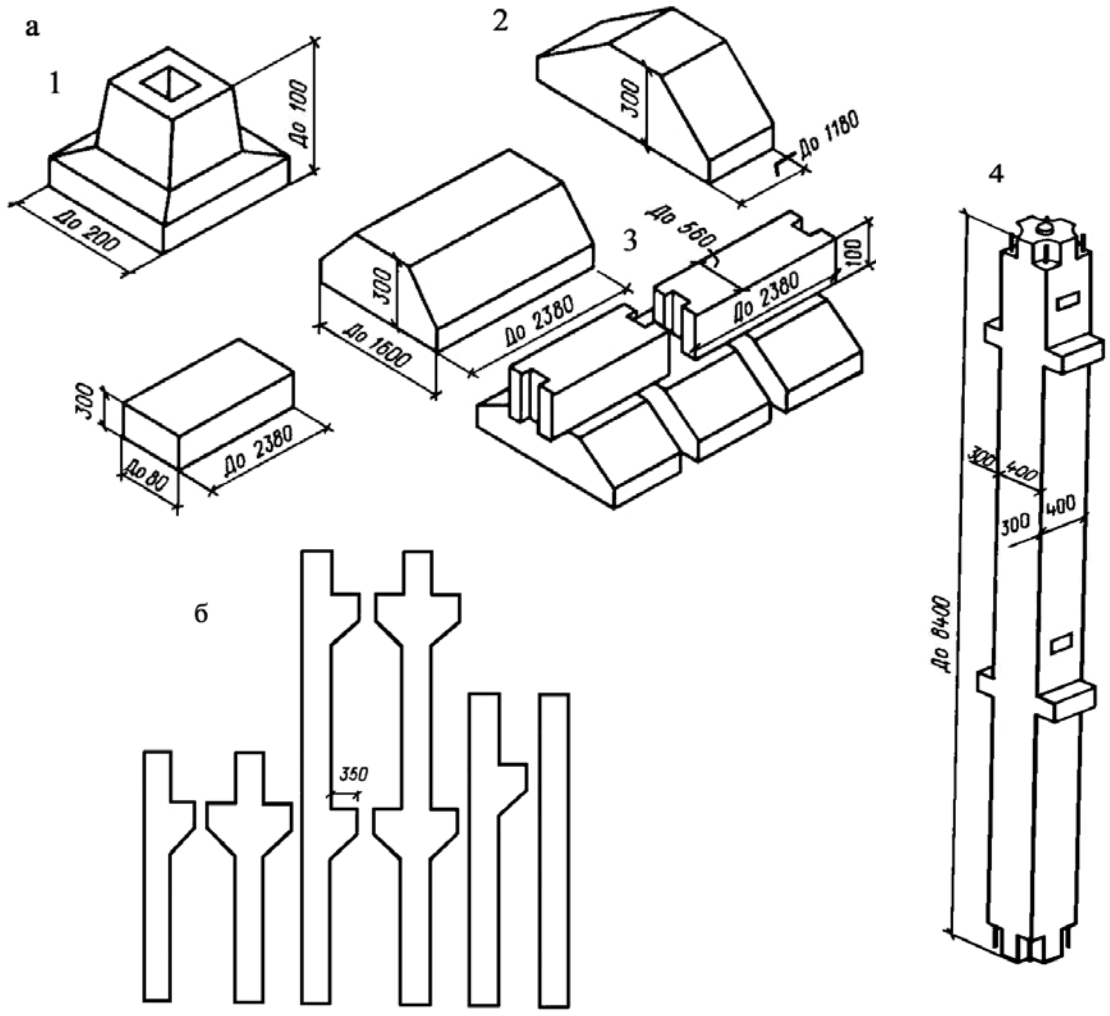


Рис. 12.5. Виды фундаментных блоков (а) и колонн (б) многоэтажных промышленных зданий: 1 – блоки под колонны; 2 – блоки ленточного фундамента; 3 – блоки фундаментные и стен подвалов; 4 – железобетонная колонна каркаса

Ригели каркасов выпускают обычно таврового сечения с полкой по боковым граням для опирания плит перекрытий. Например, ригели для пролета 6 м изготовляют длиной 5,5 м, высотой сечения 45 см с обычной или предварительно напряженной арматурой. Для пролета 9 м длина ригеля 8,5 м, высота сечения 60 см, арматуру обязательно предварительно напрягают.

Панели наружных стен изготовляют из легкого бетона на пористом заполнителе или из ячеистого бетона с арматурой из сварных сеток, размером на жилую комнату, массой до 8 т (рис. 12.6, *а*). Рядом преимуществ обладают трехслойные панели толщиной до 25 … 30 см. Для строительства промышленных зданий выпускают панели толщиной 16 … 30 см и других размеров.

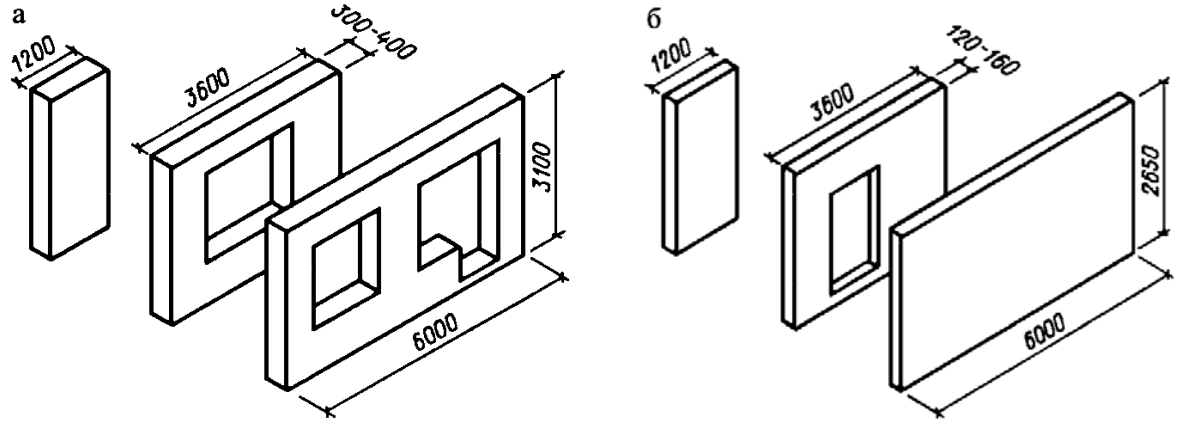


Рис. 12.6. Виды железобетонных панелей
для наружных (а) и внутренних (б) стен жилых зданий

Панели внутренних стен производят из тяжелого или легкого бетона сплошными или с дверными проемами. Их длина до 6 м, высота до 2,9 м, толщина до 20 см (рис. 12.6, *б*).

Панели и плиты для перегородок могут быть сплошными, пустотелыми, с проемами для дверей.

Толщина панелей и плит обычно 8 … 10 см. Для их изготовления применяют легкие и особо легкие бетоны, часто на гипсовом вяжущем (гипсобетон).

Стеновые блоки изготовляют обычно сплошными или пустотелыми из легкого бетона с размерами, соответствующими конструктивной разрезке стен. Виды стеновых блоков: простеночные, перемычечные, карнизные, цокольные, угловые, подоконные.

Плиты перекрытий также отличаются сплошным или пустотелым строением, могут быть ребристыми. Пустотелые плиты перекрытий для жилых и общественных зданий выпускают длиной до 6 м, шириной до 2,4 м и толщиной 22 см. При длине 9 или 12 м толщина плит 40 см. Выпускают также ребристые плиты длиной до 15 м, шириной до 3 м и высотой 40 и 60 см (рис. 12.7). Арматуру часто предварительно напрягают.

Плиты покрытий обычно состоят из плоской полки толщиной 3 см, которая монолитно связана с системой продольных и поперечных ребер высотой 15 или 30 см. Размеры плит 3×6, 3×12, 3×18 и 3×24 м. Оболочки покрытий – армированные криволинейные плиты размером 10×10 м, толщиной 3 … 4 см, по периметру оболочки имеют ребра жесткости.

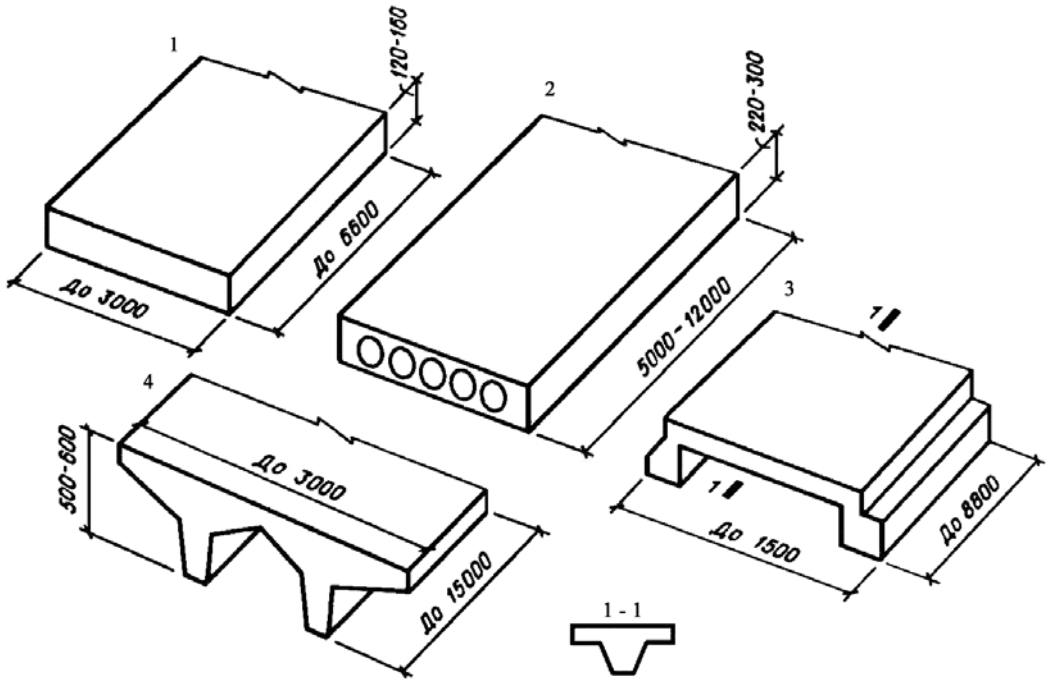


Рис. 12.7. Виды железобетонных плит перекрытий:
1 – сплошного сечения; 2 – многопустотная; 3 – ребристая; 4 – типа 2Т

Фермы и *балки* изготовляют обычно из предварительно напряженного железобетона для зданий с пролетом соответственно 18, 24 м и 6, 12, 18 м (рис. 12.8).

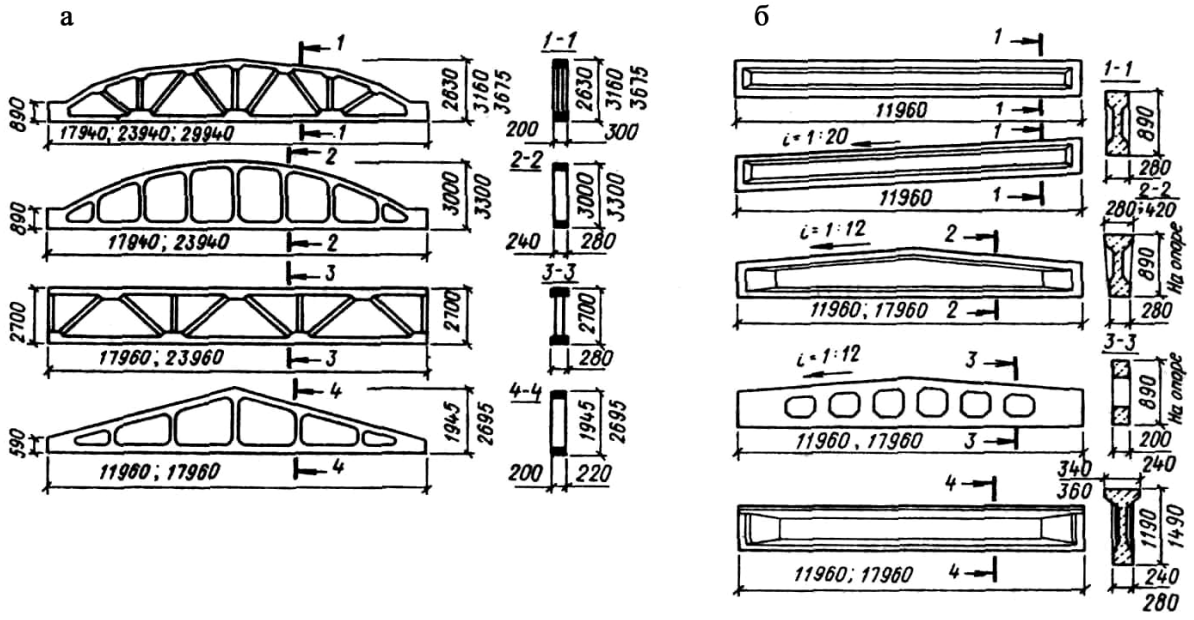


Рис. 12.8. Виды железобетонных ферм (а) и балок (б)

Лестничные марши из железобетона отличаются ступенчатым профилем, часто имеют плоские концевые участки, образующие лестничные площадки.

Плиты для строительства дорог и аэродромов изготовляют на основе тяжелого предварительно напряженного бетона. Размер таких плит до 1,75×3 м, толщина 13 … 17 см и др.

Монолитный железобетон, изготавливаемый непосредственно на строительных площадках, применяют в зданиях и сооружениях, трудно поддающихся членению на отдельные стандартные элементы, при большом количестве типоразмеров и малой повторяемости изделий и элементов конструкций, при необходимости создания монолитной конструкции и особенно больших нагрузках (например, в гидротехнических, мелиоративных, транспортных и тому подобных сооружениях), а также в тех случаях, когда поблизости отсутствует предприятие по производству сборных железобетонных изделий.

Применение монолитного железобетона целесообразно при выполнении работ индустриальными методами, в частности, при использовании инвентарных опалубок – скользящей, переставной и передвижной (возведение башен, промышленных труб, градирен, силосов, некоторых многоэтажных зданий и тонкостенных оболочек покрытий).

Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона технически хорошо отработано не только на уникальных объектах (телебашни, в том числе Останкинская в Москве, реакторы атомных электростанций и др.), но и в многоэтажном жилищном строительстве (рис. 12.9 и 12.10).

Преимущественно монолитными являются конструкции тонкостенных армоцементных оболочек покрытий общественных и производственных зданий – таким способом достигаются при минимальной толщине (до 1,5 … 2 см) высокая прочность, жесткость, полная водонепроницаемость конструкций (армоцемент – армированный сетками из стальной проволоки мелкозернистый бетон).

Дальнейший прогресс в области совершенствования производства железобетона и повышения эффективности его использования в архитектурно-строительной практике идет по пути существенного снижения его массы за счет применения легких и ячеистых бетонов, а также высокопрочных тяжелых бетонов (для несущих конструкций); увеличения доли выпуска предварительно-напряженного железобетона; широкого внедрения эффективных тонкостенных железобетонных и армоцементных конструкций; повышения качества основных исходных материалов (вяжущих, заполнителей и арматурных сталей) и других компонентов (добавок, отделочных покрытий и пр.); совершенствования технологии заводского производства изделий и методов возведения сборных и монолитных конструкций.

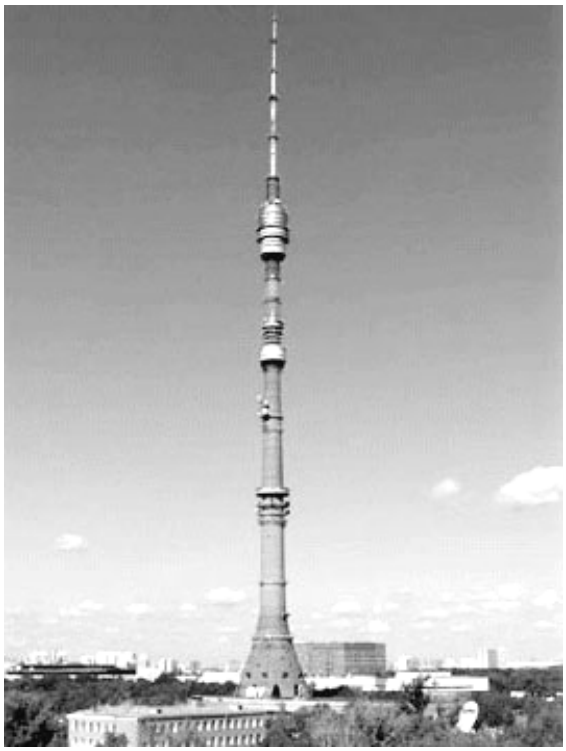


Рис. 12.9. Останкинская телебашня, г. Москва



Рис. 12.10. Монолитный 16-ти этажный жилой дом башенного типа

Еще далеко не полностью раскрыты большие эстетические возможности железобетона с использованием разнообразных решений по цвету, фактуре и текстуре материала. Архитектору принадлежит ведущая роль в решении не только этих проблем, но также и в дальнейшем развитии новых архитектурных форм, которые он может создать только на основе глубокого понимания свойств материала и новаторского отношения к конструкции.

12.5. Асбестоцементные и другие материалы и изделия

12.5.1. Асбестоцементные материалы

Основное сырье для производства **асбестоцемента** – портландцемент (марок 400 и 500) и волокна асбеста (10 … 20 % от массы цемента), которые значительно упрочняют структуру цементного камня). Производство асбестоцемента возникло в конце XIX в. в Австрии. В 1908 г. под Брянском был построен первый завод по производству асбестоцементного кровельного материала – шифера. На сегодняшний день промышленностью выпускается более 40 видов асбестоцементных материалов.

Листы асбестоцементные профилированные (волнистые, двоякой кривизны, фигурные) и плоские (прессованные и непрессованные) предназначены для стен, кровли, наружной и внутренней отделки элементов кон-

струкций. В отечественной практике в зависимости от разновидности профиля (унифицированный, обыкновенный, усиленный) волнистые асбестоцементные листы (рис. 12.11) различны по высоте волны 28, 32, 40, 45 и 50 мм, их толщина 5,5 … 8 мм, длина до 2,5 м и ширина до 1,13 м. Толщина плоских листов 4 … 12 мм, длина до 3,6, ширина до 1,5 м. Предел прочности при изгибе 16 … 25 МПа. Волнистые и плоские листы могут быть окрашены в массе, иметь различную отделку лицевой поверхности.

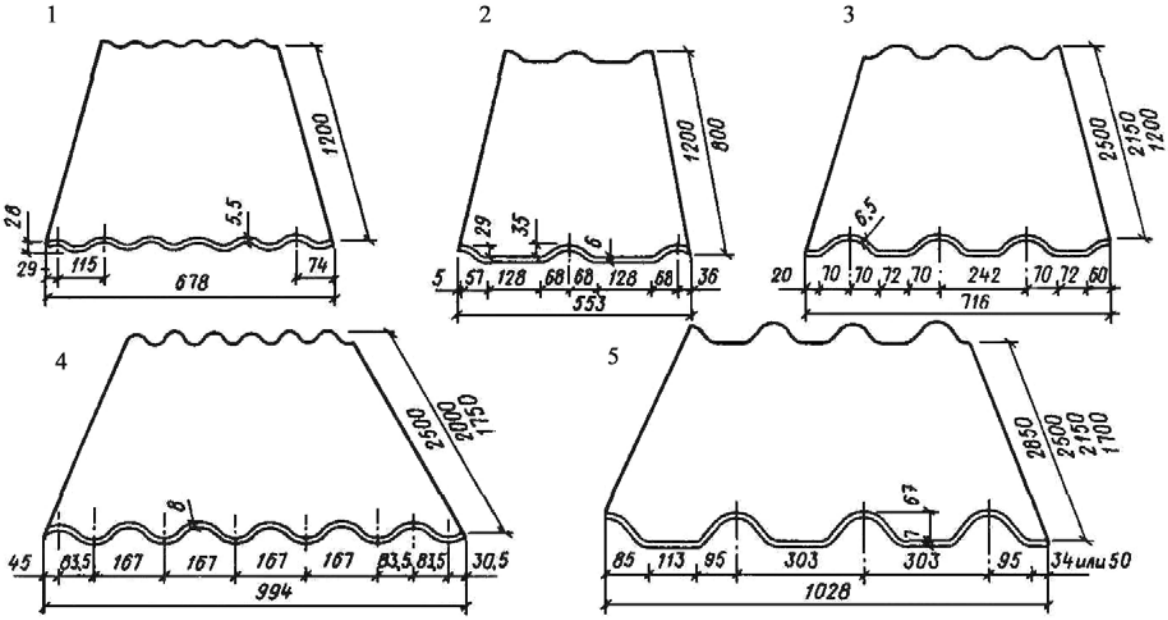


Рис. 12.11. Асбестоцементные волнистые (1, 4) и полуволнистые (2, 3, 5) листы обыкновенного (1, 2, 3) и усиленного (4, 5) профиля

Асбестоцементные акустические плиты изготовляют из перфорированных асбестоцементных листов и слоя пористо-волокнистого материала (минеральной или стеклянной ваты). Размеры плит 600×600, 1200×800 мм при толщине 4 … 7 мм.

Асбестоперлитоцементные листы получают из белого или цветного цемента, асбеста и перлитового песка. Длина листов 500, 600 и 1200, ширина 500 и 600, толщина 4,6 и 8 мм. Область применения таких листов, лицевая поверхность которых имеет различную декоративную отделку, – облицовка потолков, внутренних стен, перегородок. Листы огнестойки и применяются также для защиты ограждающих конструкций.

Асбестоцементные панели представляют собой каркасную или бескаркасную конструкцию, где между асбестоцементными плоскими листами помещается теплоизоляционный материал. Панели применяются для стеновых и кровельных ограждающих конструкций.

Асбестоцементные трубы изготавливают напорными и безнапорными. Первые применяют для сетей водопровода, теплофикации, нефте- и газопровода; вторые – для канализации, дренажа и других целей. Диаметр напорных труб 100 … 500 мм, длина 3, 4, 6 м. Для повышения химической стойкости и газонепроницаемости их выпускают с полимерными покрытиями. Безнапорные трубы имеют диаметр 100 … 370 мм и длину 3 и 4 м. Выпускаются также короба для вентиляции помещений и цехов промышленных предприятий.

Асбестоцементные материалы отличаются достаточно высокими морозостойкостью (не менее 25 … 100 циклов при снижении прочности на 10 %) и коррозионной стойкостью.

В современной архитектурно-строительной практике некоторых стран, например в Германии, запрещено использование асбестоцементных материалов в связи с распространяющимися сведениями о канцерогенности асбеста. Для упрочнения цементного камня используют другие минеральные волокна. Однако следует учитывать, что в искусственных каменных материалах волокна асбеста находятся в связанном состоянии, поэтому эксплуатация асбестоцементных материалов при отсутствии постоянных интенсивных механических воздействий не должна вызывать опасений с экологической точки зрения.

12.5.2 Применение извести

Материалы и изделия на основе извести относятся к группе каменных необожженных материалов и изделий автоклавного твердения. Еще в 1880 г. было установлено свойство известково-песчаных смесей при автоклавной обработке затвердевать и превращаться в прочный и водостойкий материал. Это объясняется тем, что инертный по отношению к извести в обычных условиях кремнезем в автоклавных условиях (в среде насыщенного пара и высокой температуры) приобретает химическую активность.

В настоящее время из известково-песчаных смесей изготавливают получившие широкое применение силикатные кирпичи, камни, блоки для стен, ячеистые (газо- и пеносиликатные) теплоизоляционные и акустические материалы.

Силикатный кирпич – это безобжиговый кирпич, получаемый методом полусухого прессования жесткой смеси извести (6 … 8 %), кварцевого песка (92 … 94 %) и воды (7 … 9 %). После перемешивания и формования (прессования) материал твердеет в автоклаве. Водопоглощение силикатного кирпича по массе не менее 6 %, обычно 8 … 16 %, морозостойкость

составляет 15 … 50 циклов, средняя плотность – 1700 … 2000 кг/м^3. В зависимости от прочностных показателей при сжатии и изгибе (кгс/см^2) марки силикатного кирпича 100, 125, 150, 200, 250. Масса модульного (250×120×88 мм) пустотелого силикатного кирпича – 4,3 кг.

Выпускают сплошные и пустотелые кирпичи, размеры которых аналогичны керамическим. Для лицевой кладки силикатный кирпич изготавливают неокрашенным (различных оттенков светлосерого цвета) и окрашенным в разные цвета минеральными пигментами.

Вследствие сравнительно низкой водостойкости силикатные кирпичи в отличие от керамических нельзя применять для кладки фундаментов и цоколей зданий ниже гидроизоляционного слоя. Если материал применяется для стен зданий с влажным и мокрым режимом эксплуатации, то необходима специальная защита. Силикатный кирпич также не выдерживает длительного воздействия высоких температур и не используется для кладки печей, труб промышленных предприятий и др.

Силикатный кирпич уступает керамическому по эксплуатационно-техническим характеристикам, но его себестоимость ниже.

Крупноразмерные силикатобетонные изделия – крупные стеновые блоки и панели несущих внутренних стен и перегородок, панели и плиты перекрытий, лестничные марши, площадки, балки и т.п. – изготавливают в автоклаве из уплотненной смеси кварцевого песка (70 … 80 %), молотого песка (8 … 15 %) и молотой негашеной извести (6 … 10 %). Формуют изделия, в основном, на виброплощадках. Несущие элементы, работающие на изгиб, армируют. Преимущественное применение получили мелкозернистые плотные (тяжелые) и облегченные силикатные бетоны средней плотностью 1800 … 2300 кг/м^3. Марки плотных бетонов М100 … М400. Однако, повышая активность вяжущего и плотность бетона, можно получить высокопрочный бетон (М500 … М800 и выше). Морозостойкость мелкозернистого бетона F50 … F200, крупнозернистого – F300 … F400.

Облицовочные силикатные плиты изготавливают из молотой негашеной извести и кварцевого песка. Добавка в смесь тонкомолотого песка повышает прочность и долговечность материала. Характеристики облицовочных материалов: средняя плотность около 1900 кг/м^3, прочность на сжатие 20 МПа и выше, морозостойкость не менее F25. Плиты разных размеров и цветов применяют для облицовки фасадов кирпичных зданий, а плиты с водонепроницаемым покрытием для выступающих частей зданий.

Ячеистые силикатные изделия изготавливают из пено- и газо–силикатных бетонных смесей. В зависимости от средней плотности и проч-

прочности их делят на конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные. Эффективными теплоизоляционными материалами являются плиты из ячеистого силикатобетона средней плотностью до 500 кг/м^3 и прочностью на сжатие до 25 МПа. Из легковесного газобетона специальной структуры изготавливают звукопоглощающие плиты и плитки, имеющие коэффициент звукопоглощения на средних и высоких частотах 0,6 … 0,8. Хорошими акустическими свойствами отличаются и звукопоглощающие плиты из макропористого газосиликата средней плотностью около 500 кг/м^3.

12.5.3. Гипсовые материалы

Гипсовые и гипсобетонные материалы и изделия находят широкое применение в различных областях строительства. К ним относят необожженные искусственные каменные материалы и изделия, в которых используются рассмотренные ранее гипсовые вяжущие. В гипсобетоне помимо гипса и воды используют заполнители – песок, пемзу, туф, металлургические и топливные шлаки, легкие пористые заполнители (шлаковую пемзу, керамзит и др.), органические наполнители (древесные опилки, бумажную макулатуру).

Материалы и изделия из указанного сырья характеризуются сравнительно невысокой плотностью, несгораемы, обладают хорошими изоляционными свойствами, легко формуются. Предел прочности при сжатии гипсовых материалов обычно 0,5 … 8 МПа. Гипсовые материалы неводостойки (насыщение водой в количестве 2 … 8 % приводит к резкому снижению прочности и разрушению), отличаются хрупкостью (особенно это относится к листовым тонкостенным материалам). Гипсовые и гипсобетонные материалы и изделия могут быть плотными и пористыми, сплошными и пустотелыми, неармированными и армированными.

Гипсокартонные листы прямоугольной формы имеют длину 2,5 … 3,3 м, ширину 1,2 … 1,3 м, толщину 10 … 12 мм. Гипсовый сердечник листов оклеивается с двух сторон картоном. Материал применяют для отделки стен и устройства перегородок. Наряду с обычными, подлежащими отделке, выпускают гипсокартонные листы с декоративным покрытием на лицевой поверхности.

Определенными преимуществами обладают *гипсоволокнистые листы,* в которых армирующими компонентами являются волокна из древесины, бумажной макулатуры и др. По прочности они не уступают гипсокартонным, а стоимость их ниже.

Гипсобетон используют при изготовлении плит и панелей для перегородок, перекрытий. Гипсобетонные панели могут иметь толщину 80 … 120 мм, длину на комнату, ширину на высоту этажа. Более эффективными крупноразмерными изделиями считают *гипсоволокнистые панели* размерами 0,6 … 2,5 м и 1,2 … 3,3 м при толщине 50 мм. Такие изделия более технологичны – легко пилятся, сверлятся.

Из гипсобетона на легких заполнителях выполняют также огнезащитные материалы, применяемые для облицовки металлических и других конструкций и оборудования.

Теплоизоляционные гипсовые материалы (плиты, блоки-вкладыши и др.) изготавливают из ячеистых бетонов на гипсовом вяжущем. В зависимости от состава и структуры пористых материалов их свойства изменяются в широких пределах: средняя плотность 400 … 800 кг/м^3, коэффициент теплопроводности 0,12 … 0,27 Вт/(м·°С), предел прочности при сжатии 0,5 … 2,5 МПа. Ячеистая структура материалов образуется за счет введения газообразующих добавок (газогипс), смешения гипсового теста с устойчивой пеной (пеногипс и пенобетон), смешивания гипса с повышенным количеством воды затворения (микропористый гипс).

12.5.4. Краски

Краски на основе минеральных вяжущих содержат щелочестойкие пигменты и небольшое количество добавок, улучшающих эксплуатационно-технические свойства.

В *известковых* красках пленкообразующим (связующим) веществом является гашеная известь необходимой жидкой консистенции. Кроме щелочестойких пигментов (охра и др.), в состав краски вводят водоудерживающие добавки (хлористый кальций, поваренную соль и др.). Эти краски – одни из самых дешевых, но менее долговечны.

Цементные краски образуют пленку на отделываемой поверхности с помощью белого портландцемента. Кроме него и щелочестойкого пигмента, красочный состав содержит водоудерживающую и гидрофобизующую добавки. Эти краски применяют для наружной и внутренней отделки, причем окрашивают преимущественно производственные помещения с влажным режимом эксплуатации.

Краски *силикатные,* где связующим служит силикат калия в виде водного коллоидного раствора, используют для наружных и внутренних малярных работ, для огнезащитных покрытий на деревянных конструкциях.

Эксплуатационно-технические *свойства красок* в большей мере зависят от вида минерального вяжущего. При расходе красочного состава (укрывистости) в пределах 400 … 700 г/м^2 наименее долговечны известковые краски. Срок их службы обычно не более 3 лет в сельской местности и 1 года в городских условиях. Гораздо долговечнее цементные и силикатные краски. Срок службы последних превышает 10 лет.

12.6. Эстетические характеристики материалов на основе минеральных вяжущих

Эстетические характеристики материалов на основе минеральных вяжущих весьма разнообразны и должны назначаться с учетом комплекса факторов, в том числе необходимой архитектурной выразительности, условий эксплуатации и технологических особенностей производства.

Эстетические характеристики *бетонных* и *железобетонных* материалов следует связывать с их массовым применением при комплексно-механизированной сборке зданий и сооружений. Современные способы индустриальной отделки позволяют получать элементы зданий с декоративной и долговечной внешней фактурой при невысоких затратах труда и стоимости. В заводских условиях можно более четко управлять процессом отделочных работ, чем в построечных. Повышение архитектурной выразительности отдельных сооружений и застройки в целом достигается при умелом использовании возможностей заводской технологии.

Оценивая различные способы заводской отделки бетонных и же–лезобетонных элементов сборного строительства, следует отметить, в частности, отделку поверхности дробленными природными или искусственными материалами, декоративными бетонами и растворами, плитами и плитками, долговечными красящими составами.

Весьма разнообразна фактура и цветовая гамма дробленых каменных материалов (как природных, так и искусственных) и соответствующих лицевых поверхностей бетонных изделий (рис. 12.12).

Природные дробленые каменные материалы – гранит, габбро, сиенит, диорит, доломит, плотные известняки, песчаник, кварцит, мрамор – могут применяться без дополнительной обработки. Кроме того, декоративная окраска таких материалов может быть получена путем термической обработки или нанесением на поверхность щебня цветных силикатных пленок, глазурей или эмалей.

К искусственным дробленым материалам относятся прежде всего отходы промышленности: шлаки, керамический или стекольный бой и т.д., а также специально изготовленные искусственные камни, например на основе цементно-песчаной смеси.

Дробленые материалы активно участвуют в цветообразовании лицевой поверхности изделий в сочетании с цветными цементами. Но и при использовании ахроматических цементов возможно достижение интенсивной окраски поверхности.

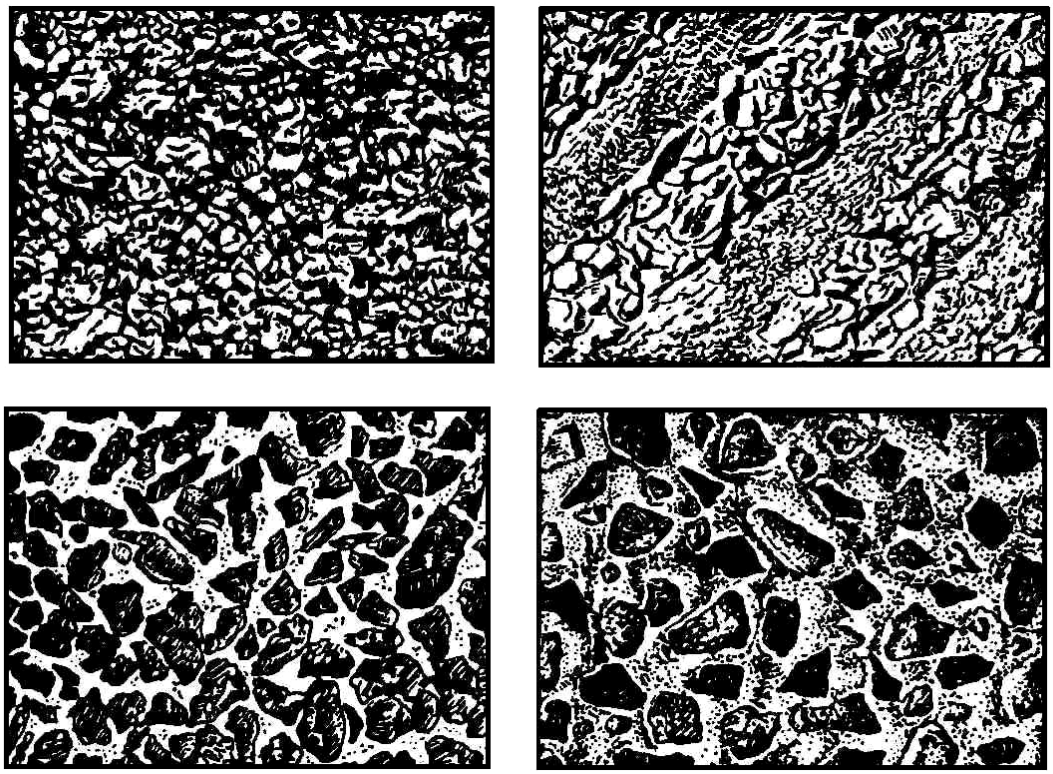


Рис. 12.12. Лицевые поверхности бетона после отделки дробленными материалами

В зависимости от технологии изготовления индустриальных элементов применяются различные способы нанесения дробленых материалов на лицевую поверхность бетона. При формовании панелей «лицом вверх» дробленый материал наносится на свежесформованную и выровненную поверхность бетона. После термовлажностной обработки лицевую поверхность изделия промывают водой и очищают металлической щеткой или воздушной струей. При формовании изделий «лицом вниз» на дно формы насыпают слой песка, в который вдавливаются зерна дробленого материала. Дробленый материал может также укладываться на предварительно смазанное дно формы в виде подстилающего слоя или вдавливаться на оп-

ределенную глубину в слой специального быстротвердеющего состава. Через некоторое время этот состав теряет прочность (не оказывая вредного влияния на цементный камень), и поверхность дробленого материала обнажается. Сравнительно ровная и гладкая декоративная поверхность получается при использовании ковриков из крафт-бумаги, на которые предварительно с помощью жидкого стекла накладываются зерна дробленого материала (цветная крошка).

Отделка поверхности декоративным бетоном эффективна при использовании для его изготовления цветных цементов или заполнителей различного цвета.

Технико-экономические расчеты показывают возможность применения декоративного бетона и как конструкционного материала, но при средней толщине изделий до 5 см. В других случаях декоративный бетон наносят слоем толщиной 2 … 3 см, обеспечивая достаточно прочное сцепление с основной массой.

Одна из характерных операций при изготовлении декоративного бетона – обнажение поверхности заполнителя химическим или механическим способом. При этом использование цветных заполнителей позволяет получить поверхность определенного цветового тона без применения цветных цементов.

В зависимости от требуемых эстетических свойств лицевой поверхности реализуются различные цветовые сочетания компонентов бетона. При сочетании цветного заполнителя и ахроматического цемента (белого или обычного серого) обычно стремятся к достижению максимального «выхода» зерен заполнителя на поверхность, что может быть обеспечено соответствующим подбором состава бетона. При сочетании цветного цемента с ахроматическим заполнителем (белым, серым, черным) большое значение имеет цвет цемента. При сочетании цветного цемента с цветным крупным заполнителем открываются более широкие возможности для достижения заданного цвета бетона.

Определить требуемые соотношения площадей цветных компонентов, выходящих на лицевую поверхность бетона, можно с помощью специальных таблиц, составленных на основании экспериментальных данных.

Наряду с декоративными бетонами в отделке стеновых панелей, главным образом из легких бетонов, часто применяются цементно-песчаные растворы. Если их физико-механические свойства характеризуются пределом прочности при сжатии не менее 10 МПа, морозостойкостью

не менее 50 циклов и водопоглощением менее 10 %, то такие растворы достаточно долговечны.

Вместе с тем следует учитывать склонность растворов к образованию высолов. Один из эффективных способов борьбы с этим недостатком – введение с водой затворения в растворную смесь гидрофобно-пластифицирующих поверхностно-активных добавок.

Лицевой поверхности цементно-песчаного раствора придается декоративный рельеф различных глубины и характера рисунка. При оценке качества лицевой поверхности учитывают, что в зависимости от формования панелей «лицом вниз» или «лицом вверх» получают следующие виды декоративного рельефа: рельеф различной глубины при формовании на специально профилированных матрицах из пластмасс, резины или металла; рисунчатый рельеф, наносимый путем прикатки поверхности свежесформованной панели рельефообразующим валом по слою эластичной полимерной пленки или гладким валом через резиновый коврик с рисунком; рельеф свободного рисунка путем обработки лицевой поверхности различными приспособлениями (воздушной струей, капроновой или металлической щеткой и др.); мелкошероховатая или мелкобугристая фактуры, получаемые присыпкой свежеуложенного раствора сухим или влажным песком.

Различные фактуры лицевой поверхности монолитного железобетона получают, в частности, применяя оригинальные виды опалубки.

При получении эстетических характеристик лицевой поверхности *декоративных растворов:* искусственного мрамора, сграффито, известково-песчаных и известково-мраморных растворов, терразитовых, каменных штукатурок и других – также учитывают особенности технологии их изготовления. Эти декоративные штукатурки весьма выразительны с архитектурной точки зрения, но такая отделка не относится к индустриальной.

Эстетические характеристики *искусственного мрамора* регулируют с помощью пигментов, шлифования и полирования поверхности.

При изготовлении *сграффито* после нанесения растворных слоев различного цвета сравнительно сложный рельефный рисунок получают способом выцарапывания с помощью ножей, скальпелей, набора резцов. Более производителен и менее трудоемок способ получения рельефного рисунка при использовании шаблонов или трафаретов. Шаблоны изготовляют из картона, жести или фанеры двух видов для выпуклых (формы) и заглубленных (лекала) рисунков, а трафареты – из плотного картона толщиной 1 мм. Контуры рисунка переводят через копировальную бумагу или рисуют и вырезают острым концом ножа так, чтобы нужные узоры не вы-

валивались. На каждый цвет многоцветного сграффито делают самостоятельный шаблон или трафарет.

Различную фактуру цветных *известково-песчаных растворов* получают обработкой в пластично-вязком состоянии или набрызгиванием на отделываемую поверхность.

Фактурная обработка *терразитовых растворов* производится обычно в полузатвердевшем состоянии с помощью цикли, реже бучарды, зубила, а также пескоструйного аппарата.

Сравнительно дороги и трудоемки *каменные штукатурки,* имитирующие фактуру природного камня: гранита, мрамора, известняка, туфа. Вместе с тем такие декоративные растворы, которые изготовляют из цемента с добавкой до 5 % известкового теста и дробленых (в виде крошки) горных пород, весьма прочны. Разнообразные фактуры получают, обрабатывая раствор в пластично-вязком состоянии циклеванием, но чаще в затвердевшем виде – оттиркой брусками или ударными инструментами, применяющимися при обработке природного камня. Через 3 … 4 дня лицевую поверхность каменной штукатурки, полученную с помощью штампа, можно обработать 10 %-ным раствором соляной кислоты (ее наносят кистью или распылителем). Обработка считается законченной, когда кислота перестает кипеть. После травления лицевую поверхность каменной штукатурки промывают водой. В результате обнажения поверхность дробленого материала становится чистой и блестящей.

Силикатный кирпич имеет сравнительно гладкую фактуру, но его цвет, как и цвет бетона, можно регулировать путем объемного или, что менее долговечно, поверхностного окрашивания.

На лицевую поверхность *асбестоцементных материалов* наносят различные декоративные слои, используя метод напрессовывания специальной текстурированной бумаги, пропитанной термореактивными смолами, или декоративные составы на минеральных и полимерных связующих, краски (эмалевые, силикатные и др.), пастовые составы.

Отделка *гипсовых строительных материалов* связана с объемным или поверхностным окрашиванием, созданием разнообразных декоративных слоев.

При объемном или поверхностном окрашивании в гипсовую массу соответственно вводят пигменты, пропитывают изделия лакокрасочными материалами или окрашивают поверхность водоэмульсионной краской. При создании оригинальных декоративных поверхностей используют специальные составы. Например, при имитации коры древесины поверхность

плит обрабатывают смесью пигмента со скипидаром и затем покрывают масляным лаком. При имитации текстуры древесины применяют смесь битумного лака и скипидара в соотношении 1:10 … 1:6, получая светлые или темные тона.

Гипсокартонные листы отделывают также полимерной пленкой или обоями с различными цветами и рисунками на лицевой поверхности, а также специальной декоративной бумагой с последующим покрытием ее прозрачным лаком.

При изучении эстетических характеристик материалов и изделий на основе минеральных вяжущих учитывают возможные дефекты их внешнего вида: искривление лицевой поверхности, трещины, отбитости, посторонние включения, выцветы, пятна и др. Например, при оценке внешнего вида бетонных и железобетонных материалов на их лицевой поверхности устанавливают размеры (диаметр, глубину) раковин, местных наплывов (высоту) и впадин (глубину), сколов (глубину и длину на 1 м ребра), ширину раскрытия усадочных и других поверхностных трещин. Для материалов с отделанной поверхностью определяют соответствие отделки утвержденному эталону. Оценку внешнего вида облицовочных плит, ступеней, накладных проступей, плит для полов и подоконников, лестничных маршей и площадок проводят с учетом количества раковин допустимых размеров на лицевых поверхностях. На основе результатов оценки, а также вида и способа возможной последующей отделки материалов были установлены восемь категорий бетонных поверхностей, условно обозначенных индексами от А1 до А8.

При оценке эстетических характеристик декоративных бетонов и растворов учитывают, что на лицевой поверхности не допускаются выцветы и высолы, пятна (в том числе масляные), полосы от цементного молока и местные наплывы, видимые с расстояния 10 м, трещины около ребер по периметру глубиной более 10 мм и общей длиной более 20 см на 1 м. На гладкой лицевой поверхности не допускаются раковины с линейными размерами более 10 мм и глубиной более 3 мм. Допускается не более трех раковин меньших размеров на 1 м лицевой поверхности. Отклонение выступающих граней декоративного заполнителя по отношению к грани соседних зерен не должно превышать 5 мм на базовой длине замера 200 мм.

На лицевой поверхности силикатного кирпича не допускаются трещины, дефекты от непогашеной извести, ограничиваются другие возможные дефекты. Для оценки цвета и интенсивности окраски образцы силикатного кирпича и образцы-эталоны укладывают на щит из древесины

размером 1×1 м, установленный вертикально. Щит должен прямо освещаться дневным светом на открытом воздухе.

Внешний вид материалов на основе минеральных вяжущих оценивают визуально и с помощью микроскопов, увеличительных стекол, металлических измерительных инструментов, приспособлений, шаблонов и трафаретов.

С эстетической точки зрения восприятие искусственных каменных материалов, и прежде всего бетона и железобетона, связано, как правило, с визуальным ощущением «каменности», тяжести.

Перед применением заполнители из горных пород проходят исследование на содержание природных радионуклидов. Если содержание в норме, то экологическая чистота бетонов и растворов не будет вызывать сомнений.

Вопросы для самопроверки

1. Какие требования предъявляются к воде используемой для приготовления бетонных и растворных смесей?
2. С какой целью в растворные и бетонные смеси вводят химические добавки? Как их классифицируют по основному эффекту действия?
3. Для чего в растворные и бетонные смеси вводят заполнители?
4. По каким признакам классифицируют заполнители?
5. Чем щебень отличается от гравия?
6. Что такое зерновой состав заполнителя?
7. Назовите вредные примеси для песка и щебня? Почему эти примеси считаются вредными?
8. По какому показателю определяется марка щебня и гравия по прочности?
9. Что такое строительный раствор?
10. Как растворы классифицируют по назначению и по виду вяжущего?
11. По каким показателям оценивают качество строительных растворов?
12. На какие группы разделяют отделочные растворы? Приведите примеры по группам?
13. Чем сграффито отличается от терразитовой штукатурки?
14. Что такое сухие растворные смеси? Какими бывают по назначению сухие смеси?
15. Что такое бетон и бетонная смесь?
16. По каким показателям оценивается удобоукладываемость бетонной смеси?

17. В чем отличие между подвижностью и жесткостью бетонной смеси?

18. Какова технология приготовления бетонов?

19. Какие основные показатели качества бетона вы знаете?

20. Что такое марка и класс бетона? Назовите марки и классы бетона по прочности на сжатие.

21. Как определяют морозостойкость бетона? От каких факторов зависит этот показатель?

22. По каким признакам классифицируют бетоны?

23. Как получают декоративные бетоны?

24. Для чего армируют бетонные конструкции?

25. Как получают предварительно напряженные железобетонные изделия?

26. Какие железобетонных изделия изготавливаются промышленностью для сборного строительства?

27. Что вы понимаете под монолитным железобетоном? Назовите область его применения.

28. Из чего получают асбестоцемент? Приведите примеры асбестоцементных материалов и изделий.

29. Для получения каких материалов и изделий применяют известь? Приведите примеры.

30. Какими положительными и отрицательными свойствами обладают материалы и изделия из гипса?

31. Какие виды красок на основе минеральных вяжущих вы знаете?

32. Какие требования предъявляются к лицевой поверхности материалов и изделий на основе минеральных вяжущих при оценке эстетических характеристик?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Долговечность строящихся зданий и сооружений во многом определяется качеством применяемых при строительстве материалов, т.е. суммой важнейших свойств, которые обеспечивают их надежную работу в процессе эксплуатации объекта.

Свойства материалов и изделий оценивают путем проведения испытаний по соответствующим стандартным методикам (СТБ и ГОСТам). Отступление от этих методик может привести не только к большому разбросу полученных при испытании значений, но, что особенно опасно, неправильным выводам по применению материалов, и как следствие, их разрушению.

Свойства материалов зависят от их состава и структуры. При одинаковом вещественном составе макроструктура оказывает существенное влияние на их свойства и применение.

В зависимости от происхождения природных материалов (древесина, горные породы) и технологии получения искусственных материалов и изделий (стеклянных, керамических и др.), макроструктура может быть плотной, мелкопористой, ячеистой и волокнистой. Абсолютно плотные материалы такие как стекло, металлы имеют $p = p_{ср}$. Они обладают высокой прочностью, морозостойкостью, хорошо пропускают тепло и звук. Для пористых материалов (цементный камень, кирпич и др.) истинная плотность всегда больше средней. Чем больше эта разность, тем больший объем занимают поры. Это обеспечивает материалу хорошие акустические и теплоизоляционные свойства, легкость.

Цель работы:

Студент должен приобрести:

1. Навыки:

– определения основных физических свойств строительных материалов;

– работы с используемыми приборами и оборудованием;

– обработки результатов испытаний.

2. Умения:

– устанавливать общую зависимость между характеристиками физических свойств материалов;

– анализировать полученные результаты, оценивать влияние структуры исследуемых материалов на их эксплутационные свойства;

– делать выводы о рациональном применении материалов.

Используемые приборы и оборудование:

1. Лабораторные и настольные циферблатные весы.
2. Пикнометры.
3. Гидростатические весы.
4. Воронка и мерные металлические цилиндры емкостью 1; 5; 10 л.
5. Мерный стеклянный цилиндр.
6. Емкость для кипячения образцов.
7. Баня песчаная или водяная.
8. Шкаф сушильный.

Для изучения влияния макроструктуры материалов на их свойства в работе использованы неорганические материалы с разной структурой: плотной, мелкопористой, ячеистой, рыхлозернистой.

Для этих материалов определяют показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Основные физические свойства строительных материалов

Наименование показателей	Единица измерения	Материалы			
		кирпич керамический	ячеистой структуры	щебень плотных горных пород	гравий керамзитовый
Истинная плотность	г/см^3				
Средняя плотность	г/см^3				
Насыпная плотность	кг/м^3	–	–		
Общая пористость	%				
Пустотность	%	–	–		
Водопоглощение по массе	%				
Открытая пористость	%		–		
Коэффициент теплопроводности	Вт/м°С		–		

Примечание. Прочерк здесь и в следующих таблицах лабораторного практикума означает, что для материала данные испытания не проводят.

1. Определение истинной плотности

Истинная плотность численно равна массе единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии без пор, пустот и трещин. Следовательно, истинная плотность – это плотность вещества, из которого состоит материал. Для материалов и изделий, имеющих одинаковый вещественный состав, истинная плотность одинакова (кирпич, керамзит).

Для определения этого показателя используют предварительно высушенную и измельченную пробу материала. Чем больше степень измель-

чения, тем плотнее расположение частиц в объеме и, следовательно, меньше ошибка опыта.

Навеску порошкообразного материала – 30 г с помощью воронки переносят в пикнометр, вместимостью 100 см^3. Порошок заливают водой, примерно на 1,5 см выше уровня материала и ставят пикнометр на водяную или песчаную баню в наклонном положении. Для удаления пузырьков воздуха и уплотнения порошка, смесь кипятят 15 – 20 мин. После этого колбу охлаждают до комнатной температуры, доливают водой до метки (по нижнему мениску) и взвешивают с точностью до 0,1 г. Затем содержимое выливают, пикнометр ополаскивают и, заполнив водой до метки, взвешивают.

Истинную плотность ρ, г/см^3, рассчитывают по формуле:

$$\rho = \frac{m\rho_B}{m + m_1 - m_2}, \qquad (1)$$

где m – масса навески порошка, г;

$\rho_в$ – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3;

m_1 – масса пикнометра с водой, г;

m_2 – масса пикнометра с навеской порошка и водой, г.

2. Определение средней плотности

Средняя плотность численно равна массе единицы объема материала в естественном состоянии (с пустотами и порами) с точностью до 1 г (при массе более 500 г).

Объем образца **правильной формы** (пеносиликат, кирпич, зерна керамзита) рассчитывают, замеряя геометрические размеры при помощи штангенциркуля или металлической линейки. При размерах образца до 100 мм, точность замера составляет 0,1 мм; свыше 100 мм – 1 мм. Массу образца определяют с точностью до 0,1 г (при массе до 500 г) и с точностью до 1 г (при массе более 500 г). На основании полученных данных среднюю плотность $\rho_{ср}$, г/см^3, вычисляют по формуле:

$$\rho_{ср} = \frac{m}{V}, \qquad (2)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, см^3.

Объем образцов **неправильной формы** (зерна щебня) определяют при помощи гидростатического взвешивания. Согласно закону Архимеда на тело, находящееся в жидкости, действует выталкивающая сила равная весу вытесненной жидкости.

Так как в работе в качестве жидкости использована вода, плотность которой равна 1 г/см^3, то, следовательно, объем образца численно равен выталкивающей силе, рассчитанной как разность массы образца на воздухе и в воде.

Для определения объема, предварительно взвешенный высушенный образец покрывают тонким слоем расплавленного парафина с целью гидроизоляции открытых пор, проникновение воды в которые может повлиять на достоверность полученных результатов.

После парафинирования производят взвешивания образца сначала на воздухе, подвесив его на нити к левому коромыслу гидротехнических весов, а затем в воде, исключая соприкосновение с воздухом, стенками и дном емкости.

Расчет средней плотности проводят в следующей последовательности.

Объем парафина V_n, см^3, затраченного на покрытие образца:

$$V_n = \frac{m_1 - m}{\rho_n}, \tag{3}$$

где m – масса высушенного образца, г;

m_1 – масса образца, покрытого парафином на воздухе, г;

ρ_n – плотность парафина, принимаемая 0,93 г/см^3.

Объем образца с парафином V_1, см^3:

$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{\rho_B}, \tag{4}$$

где m_1 – масса образца, покрытого парафином, на воздухе, г;

m_2 – масса образца в воде, г;

$\rho_в$ – плотность воды, равная 1 г/см^3.

На основании полученных результатов (формулы (3), (4)) рассчитывают среднюю плотность образца $\rho_{ср}$, г/см^3:

$$\rho_{ср} = \frac{m}{V_1 - V_n}, \tag{5}$$

Песок, щебень, гравий используют в строительстве в виде рыхлозернистых смесей. Поэтому для таких материалов определяют не только среднюю плотность зерен, но и насыпную плотность их совокупности.

Насыпная плотность – это масса рыхлозернистых материалов в единицы объема в свободном, неуплотненном состоянии.

Для определения насыпной плотности в цилиндр известного объема засыпают с высоты 10 см высушенный материал с горкой. При этом песок, который представляет песчано-гравийную смесь, пропускают через воронку с ситом диаметром 5 мм.

Объем цилиндра выбирают в зависимости от размера зерен: до 5 мм – 1 … 2 л; от 5 до 10 мм – 5 л; свыше 10 до 20 мм – 10 л; свыше 20 до 40 м – 20 л; свыше 40 мм – 50 л.

Излишки материала снимают линейкой вровень с краями (без уплотнения) движением от себя, взвешивают цилиндр с материалом.

Насыпанную плотность $p_н$, кг/м^3, определяют по формуле:

$$\rho_к = \frac{m_1 - m}{V}, \qquad (6)$$

где m – масса мерного цилиндра, кг;

m_1 – масса мерного цилиндра с материалом, кг;

V – объем мерного цилиндра, м^3.

Для оценки достоверности полученных результатов, их сравнивают с табличными данными (табл. 2).

Таблица 2

Плотность некоторых строительных материалов

Материалы	Плотность, кг/м^3		
	истинная	средняя	насыпная
Щебень гранитный	2600 – 2800	2500 – 2700	1450 – 1650
известняковый	2400 – 2600	1800 – 2400	1200 – 1300
доломитовый	2400 – 2600	1800 – 2400	1200 – 1300
Гравий керамзитовый	2600 – 2700	650 – 800	200 – 1300
Песок кварцевый	2500 – 2650	–	1450 – 1700
Кирпич керамический одинарный	2600 – 2700	1600 – 1900	–
Бетон тяжелый	2600 – 2900	1800 – 2500	–
Сталь строительная	7850 – 7900	7800 – 7850	–
Стекло строительное	2500 – 2600	2400 – 2500	–

3. Определение водопоглощения

Водопоглощение материалов – важный показатель с точки зрения его эксплуатации. При насыщении материала водой снижается его прочность, увеличиваются средняя плотность, теплопроводность, наблюдаются коррозионные процессы.

Для определения водопоглощения высушенные до постоянной массы образцы взвешивают, помещают в емкость, наполненную водой комнатной температуры, так чтобы уровень воды был выше верха образца не менее чем на 20 мм. В таком положении образцы выдерживают в течение 48 часов. Затем их вынимают, обтирают влажной тканью и взвешивают. При этом масса воды, вытекающей из образца на чашку весов, должна включаться в массу образца.

Водопоглощение по массе $W_м$, %, по объему $W_о$, %, определяют по формулам:

$$W_м = \frac{m_1 - m}{m} 100, \tag{7}$$

$$W_о = \frac{m_1 - m}{V} 100, \tag{8}$$

где m – масса высушенного образца, г;

m_1 – масса насыщенного водой образца, г;

V – объем образца, см^3.

4. Определение пористости и пустотности

Пористость – один из важнейших показателей структуры любого материала. Общая пористость материала состоит из объема замкнутых пор, изолированных от внешней среды, и открытых (капиллярных) – доступных проникновению воды, газов. В зависимости от характера пор эксплутационные свойства материалов: морозостойкость, теплопроводность, звукопоглощение, водонепроницаемость, коррозионная стойкость различны. Так при одинаковой общей пористости свойства материалов будут зависеть от объема открытых пор.

Общая пористость $П_п$, %, зависит от плотности вещества, из которого состоит материал – ρ, его плотности в естественном состоянии – $\rho_{ср}$, и рассчитывается по формуле:

$$П_п = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho}\right)100, \qquad (9)$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность, г/см^3;

ρ – истинная плотность, г/см^3.

Открытая пористость $П_о$ соответствует водопоглощению по объему $W_о$, %. Зная водопоглощение по массе $W_м$, водопоглощение по объему рассчитывают по формуле:

$$W_0 = W_м \cdot \rho_{ср}, \qquad (10)$$

Пустотность – объем пустот между зернами, заполненный воздухом, выраженный в процентах от общего объема, занимаемого материалом. Это важный показатель для рыхлозернистых материалов. Например, увеличение пустотности заполнителей для бетонов и растворов приводит к перерасходу вяжущего.

Пустотность щебня и гравия $V_п$, %, определяют по формуле:

$$V_п = \left(1 - \frac{\rho_н}{\rho_{ср} \cdot 1000}\right)100, \qquad (11)$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность материала, кг/м^3;

$\rho_{ср}$ – средняя плотность зерен материала, г/см^3.

Полученные значения сравнивают с данными табл. 3.

Таблица 3

Общая пористость и пустотность строительных материалов

Показатель	Материал							
	бетон тяжелый	стекло	сталь	гранит	кирпич керамический	гравий керамзитовый	щебень плотный	песок кварцевый
Общая пористость	5 – 15	0	0	2	25 – 35	72	3 – 4	–
Пустотность	–	–	–	–	–	40 – 45	35 – 50	25 – 40

5. Определение теплопроводности

Теплопроводность зависит от многих факторов, но при равных условиях эксплуатации на теплопроводность влияет структура материала.

Косвенно теплопроводность можно оценить по формуле Некрасова, определив коэффициент теплопроводности λ, Вт/м°К:

$$\lambda = 1{,}16\sqrt{0{,}0196 + 0{,}22\rho_{ср}{}^2} - 0{,}16, \qquad (12)$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность материала в высушенном состоянии, г/см^3.

Используя данные табл. 1, построить зависимость средней плотности от общей пористости материалов.

Используя данные табл. 2, 3, проверить полученную зависимость для тяжелого бетона, стали, стекла.

На основании полученных результатов, обосновать рациональную область применения кирпича, природного каменного материала, керамзита, материала ячеистой структуры.

Оценить влияние структуры материалов на гидрофизические, теплофизические, механические свойства материалов.

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какие экспериментальные данные надо иметь, чтобы рассчитать истинную плотность материала?
2. От чего зависит истинная плотность материала?
3. Какие экспериментальные данные надо иметь, чтобы рассчитать среднюю плотность материала?
4. Как рассчитать среднюю плотность образца правильной и неправильной формы?
5. От чего зависит средняя плотность материала?
6. Истинная и средняя плотность материала. Что в этих показателях общее и что разное?
7. Что такое насыпная плотность? Как определить этот показатель?
8. С какой целью определяют пустотность рыхлозернистых материалов?
9. Какое влияние оказывает открытая и замкнутая пористость на морозостойкость материала?
10. Какое влияние оказывает открытая и замкнутая пористость на тепло- и звукопроводность материалов?

11.Какая существует зависимость между водопоглощением по объему и общей пористостью материала? Всегда ли эта зависимость справедлива?

12.Можно ли ориентировочно определить область применения материала (изделия), если известно его водопоглощение?

13.Какие сравнительные выводы по структуре, механическим, тепло- и гидрофизическим свойствам можно сделать для нескольких материалов (изделий), если известна их средняя плотность, при условии идентичности вещественного состава.

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. СТБ 4.201-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы и изделия теплоизоляционные. Номенклатура показателей.
2. СТБ 4.211-80. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы строительные нерудные и заполнители для бетона пористые. Номенклатура показателей.
3. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
4. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
5. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия теплоизоляционные. Методы испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ И ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Древесина представляет собой природный органический материал волокнистого строения.

Многовековое применение ее в качестве строительного материала обусловлено высокой прочностью в сочетании с низкой средней плотностью, хорошими акустическими и теплоизоляционными свойствами, легкостью обработки, декоративностью и дешевизной.

Однако при использовании древесины в строительстве необходимо учитывать недостатки этого материала, зависящие от его строения и состава, такие как неоднородность свойств по разным направлениям (анизотропия), наличие природных пороков, гигроскопичность, приводящие к изменению размеров древесины, короблению и растрескиванию, загниванию при эксплуатации во влажных условиях и возгоранию при действии огня.

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– проведения испытаний по определению влажности, плотности, прочности древесины стандартными и ускоренными методами;

– определения прочности древесины расчетными методами.

2. Умения:

– устанавливать зависимости между влажностью древесины и ее плотностью, прочностью, теплопроводностью;

– анализировать влияние строения древесины на ее механические свойства;

– оценивать прочность ускоренных и расчетных методов определения свойств древесины по отношению к стандартным.

Используемые приборы и оборудование:

1. Психрометр.
2. Эксикатор.
3. Сушильный шкаф.
4. Лабораторные весы.
5. Гидравлический пресс.
6. Металлические линейки.
7. Штангенциркуль.

Для выявления влияния влажности и строения древесины на ее физико-механические свойства в работе используют образцы одной породы в виде прямоугольных призм с основанием 20×20 мм и длиной 30 мм.

Результаты всех испытаний заносят в табл. 1, 2, 3, 4 тетради лабораторных работ.

Таблица 1

Физические свойства древесины

№ образца	Условия хранения образцов	Влажность W, %	Средняя плотность, кг/м^3			Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·К
			ρ_{cpW}	ρ_{cp12}	ρ'_{cp12}	
1	Высушивание до постоянной массы при температуре (103±2)°С	0				
2	Длительное хранение в комнатных условиях до равновесной влажности					
3	Содержание в эксикаторе при влажности воздуха 95%					
4	Длительное выдерживание в воде					

Таблица 2

Предел прочности древесины на сжатие вдоль волокон при разной влажности

Предел прочности при сжатии, МПа	Номер образца, влажность, %			
	1 W_1 =	2 W_2 =	3 W_3 =	4 W_4 =
σ_W				
σ_{12}				
σ_{cp12}				

Таблица 3

Определение физико-механических свойств древесины различными методами

Средняя плотность, кг/м^3			Предел прочности на сжатие, МПа, определенный		
ρ_{cpW2}	по погружению стержня	по погружению диска	по средней плотности	по содержанию поздней древесины	экспериментально, σ_{cp12}

Таблица 4

Предел прочности древесины при сжатии вдоль и поперек волокон

Предел прочности при сжатии, МПа при равновесной влажности древесины, σ_{w2}	
вдоль волокон	поперек волокон

1. Определение влажности древесины

Вода, содержащаяся в древесине, может находиться в свободном состоянии (капиллярная), располагаясь между волокнами; физически связанном, адсорбируясь на стенках пор и капилляров из воздуха (гигроскопическая) и химически связанном, входя в состав целлюлозы. Древесина относится к гидрофильным материалам, легко впитывающим и отдающим воду при изменении температуры и влажности окружающей среды. Изменение влажностного состояния влияет на ее физико-механические свойства.

Насыщение древесины водой вызывает увеличение плотности, повышение электро- и теплопроводности, снижение прочности. Поэтому оценку качества древесины в строительстве проводят только по показателям, пересчитанным на стандартную влажность 12 %.

Наибольший интерес для строителей представляет равновесная влажность, приобретенная древесиной в результате длительного нахождения на открытом воздухе или в помещении.

Равновесную влажность можно определить двумя способами: по стандартной методике, используя психрометр и номограмму, и ориентировочно по диаметру расплыва капли окрашенного ацетона, нанесенного на торец стандартного образца.

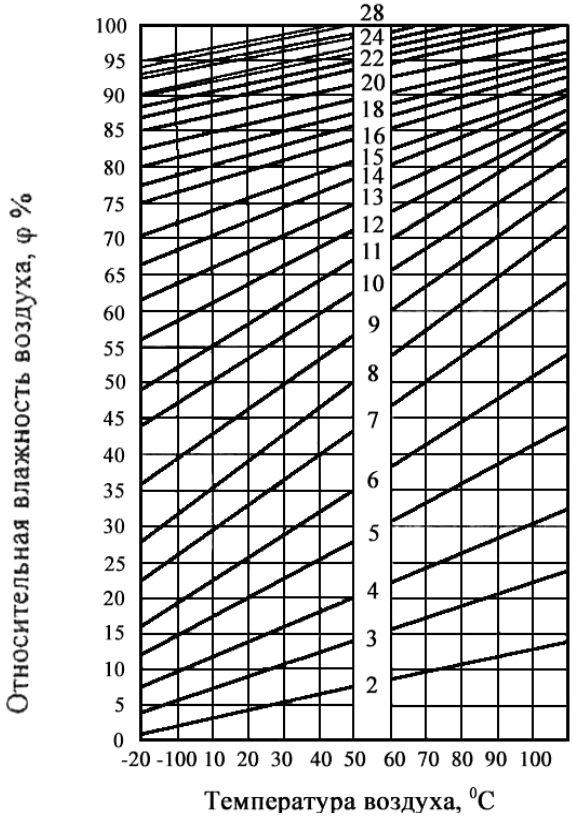


Рис.1. Номограмма равновесной влажности древесины (2 … 28 – равновесная влажность древесины, %)

По первому методу на номограмме (рис. 1) находят точку пересечения координат относительной влажности и температуры воздуха в лаборатории, которые были определены при помощи психрометра. Ближайшая к точке пересечения наклонная линия и будет определять равновесную влажность образца.

По второму методу на центр поперечного сечения стандартного образца № 2 с помощью пипетки наносят каплю окрашенного ацетона. Полученный диаметр расплыва замеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью до 1 мм.

Используя табл. 5, определяют равновесную влажность древесины W_2.

Таблица 5

Определение равновесной влажности древесины при помощи окрашенного ацетона

Средний диаметр следа, мм	Равновесная влажность, %	Средний диаметр следа, мм	Равновесная влажность, %
12 – 13	10	21 – 22	30
14 – 15	15	22 – 23	35
15	20	23 – 24	40
16	25	24 – 26	50

Образцы № 3, 4, до содержания их в соответствующих условиях хранения (табл. 1), должны быть высушены до постоянной массы.

Влажность образцов W_3, W_4 в процентах определяют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \qquad (1)$$

где m_1 – масса образца, г;

m_2 – масса образца, предварительно высушенного до постоянной массы, г.

2. Определение средней плотности и коэффициента теплопроводности древесины

Для определения средней плотности, каждый из четырех образцов взвешивают с точностью не менее 0,01 г. Среднюю плотность древесины при определенной влажности ρ_{cpw}, г/см^3, рассчитывают по формуле:

$$\rho_{cpw} = \frac{m}{V}, \qquad (2)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, см^3

Средняя плотность исследуемой древесины $\rho_{ср12}$, г/см^3 при стандартной влажности равна

$$\rho_{ср12} = \rho_{срw} + 2{,}5(12 - W), \qquad (3)$$

где $\rho_{срw}$ – средняя плотность древесины при влажности W, г/см^3;

W – влажность древесины, %;

12 – стандартная влажность, %;

2,5 – поправочный коэффициент.

По результатам испытаний четырех образцов определяют среднее значение средней плотности древесины при стандартной влажности – $\rho^{1}_{ср12}$.

Влияние влажности древесины на теплопроводность косвенно оценивают по коэффициенту теплопроводности λ, Вт/м ^{0}С, который рассчитывают для каждого образца по формуле Некрасова:

$$\lambda = 1{,}16\sqrt{0{,}0196 + 0{,}22\rho^2_{срw}} \qquad (4)$$

где $\rho_{срw}$ – средняя плотность древесины при влажности W, г/см^3.

Полученные данные заносят в табл. 1.

На строительной площадке, при отсутствии приборов и оборудования, среднюю плотность древесины можно ориентировочно определить по погружению в воду образца в виде стержня или диска.

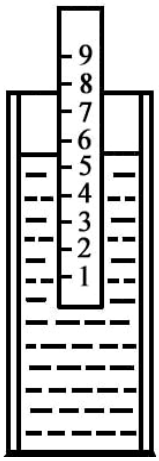


Рис. 2. Определение средней плотности древесины по погружению в воду образца-стержня

В первом случае на плоскость образца прямоугольного сечения, длиной не менее 12 см при помощи линейки наносят через сантиметр десять делений. Подготовленный образец-стержень подвешивают на нити и погружают в цилиндр с водой (рис. 2). По уровню свободного погружения образца определяют его среднюю плотность. Так на рис. 2 средняя плотность равна 0,58 г/см^3 или 580 кг/м^3.

При погружении в воду диска используют образец-диск диаметром 5 – 10 см, длиной 3 – 6 см. Диск крепят на нити и свободно погружают в цилиндр с водой (рис. 3). Замеряют диаметр диска (d), глубину погружения (t) с точностью до 0,1 см.

Рассчитывают отношение t / d и по графику (рис. 4) определяют среднюю плотность древесины.

Результаты определения средней плотности различными способами заносят в табл. 3 и сравнивают с данными табл. 6.

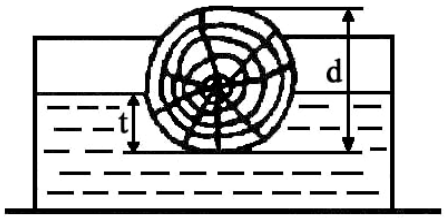


Рис. 3. Определение средней плотности древесиныпо погружению в воду образца-диска

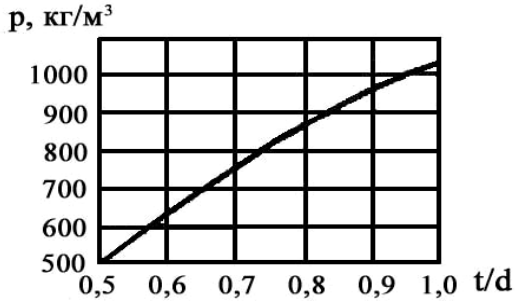


Рис. 4. График определения средней плотности древесины по погружению образца-диска

Таблица 6

Физико-механические свойства основных пород древесины при стандартной влажности

Порода дерева	Средняя плотность, кг/м^3, при влажности 12 – 15 %	Предел прочности, МПа	
		при сжатии вдоль волокон	при статическом изгибе поперек волокон
Сосна	470 – 540	48	35
Ель	440 – 500	44	80
Осина	420 – 500	42	78
Береза	630 – 650	35	110
Дуб	700 – 720	58	108

3. Определение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон

Предел прочности определяют на образцах сечением 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Образцы замеряют с точностью до 0,1 мм. С целью исследования влияния влажности древесины на ее механические свойства, предел прочности при сжатии вдоль волокон определяют на четырех образцах с различной влажностью (табл. 1).

Испытуемый образец устанавливают торцевой поверхностью на плиту гидравлического пресса, зажимают и равномерно подают нагрузку со скоростью 2500 – 5000 Н/мин до разрушения образца. Предел прочности σ_w, Н/мм^2, МПа, при сжатии вдоль волокон образцов с различной влажностью вычисляют по формуле:

$$\sigma_w = \frac{P}{ab}, \qquad (5)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

a, b – размеры поперечного сечения, мм.

Значение σ_{w2}, для образца № 2 с равновесной влажностью заносят в табл. 4.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон σ_{12}, МПа, пересчитывают на стандартную влажность 12 % по формуле:

$$\sigma_{12} = \sigma_w / K_{12}^{W}, \quad (6)$$

где σ_w – предел прочности образца с влажностью W, МПа;

K_{12}^{W} – коэффициент пересчета, определяемый по табл. 7.

Таблица 7

Влажность, %	Коэффициент пересчета K_{12}^{W} при плотности ρ_{12}, кг/м^3										
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
5	1,485	1,480	1,475	1,463	1,450	1,430	1,403	1,380	1,348	1,310	1,270
6	1,393	1,386	1,380	1,375	1,363	1,345	1,330	1,308	1,280	1,250	1,220
7	1,321	1,315	1,308	1,300	1,290	1,275	1,262	1,245	1,221	1,200	1,176
8	1,240	1,235	1,230	1,228	1,221	1,210	1,200	1,188	1,170	1,150	1,135
9	1,172	1,170	1,168	1,163	1,160	1,151	1,142	1,132	1,120	1,110	1,098
10	1,108	1,105	1,103	1,102	1,100	1,095	1 ,090	1,083	1,078	1,070	1,061
11	1,048	1,046	1,045	1,044	1,042	1,041	1,040	1 ,038	1,032	1,030	1,028
12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
13	0,945	0,947	0,948	0,949	0,950	0,951	0,955	0,960	0,063	0,968	0,970
14	0,898	0.899	0,900	0,901	0,903	0,910	0,915	0,920	0,925	0,935	0,941
15	0,849	0,850	0,852	0,855	0,860	0,868	0,873	0,892	0,892	0,902	0,915
16	0,803	0,808	0,810	0,815	0,820	0,833	0,850	0,855	0,865	0,880	0,890
17	0,768	0,770	0,775	0,780	0,783	0,798	0,806	0,818	0,848	0,855	0,870
18	0,725	0,730	0,735	0,741	0,751	0,764	0,780	0,790	0,808	0,830	0,850
19	0,690	0,695	0,700	0,708	0,720	0,730	0,740	0,760	0,785	0,810	0,830
20	0,655	0,660	0,670	0,680	0,685	0,700	0,720	0,740	0,760	0,788	0,810
21	0,625	0,630	0,638	0,645	0,655	0,672	0,693	0,710	0,738	0,765	0,795
22	0,600	0,605	0,611	0,620	0,631	0,650	0,670	0,690	0,716	0,746	0,780
23	0,570	0,580	0,582	0,595	0,608	0,625	0,647	0,668	0,695	0,730	0,765
24	0,550	0,556	0,561	0,570	0,595	0,608	0,628	0,650	0,676	0,714	0,750
25	0,525	0,533	0,540	0,550	0,560	0,585	0,610	0,630	0,660	0,700	0,736
26	0,503	0,512	0,520	0,530	0,542	0,567	0,590	0,612	0,645	0,686	0,723
27	0,480	0,490	0,500	0,510	0,525	0,548	0,570	0,600	0,632	0,672	0,710
28	0,460	0,470	0,480	0,490	0,508	0,530	0,552	0,580	0,620	0,660	0,698
29	0,444	0,452	0,464	0,475	С, 492	0,515	0,536	0,570	0,607	0,650	0,688
≥30	0,428	0,432	0,446	0,460	0,476	0,502	0,525	0,555	0,596	0,640	0,680

Примечание. Коэффициенты пересчета K_{12}^{W} для промежуточных значений плотности определяют линейным интерполированием коэффициентов K_{12}^{W} для смежных значений плотности.

Полученные результаты испытаний заносят в табл. 2, сравнивают с данными табл. 6 и используют для построения графика зависимости прочности древесины от влажности.

4. Определение прочности древесины неразрушающими методами

Древесина представляет собой растущий природный материал, вещественно состоящий в основном из целлюлозы. Строение древесины зависит от температурно-влажностных условий роста и объема поступающих питательных веществ и оказывает существенное влияние на ее свойства. Так средняя плотность зависит от породы дерева, его пористости, содержания ранней и поздней древесины. С увеличением плотности прочность древесины возрастает.

Именно эти зависимости положены в основу эмпирических формул расчета прочности древесины при сжатии, которые были получены в результате анализа большого объема экспериментальных данных.

На поперечном срезе ствола изучают годичные кольца, каждое из которых состоит из слоя ранней древесины (весна – лето), светлоокрашенной, пористой, малопрочной и недолговечной, и слоя поздней древесины (лето – осень), темного, плотного, прочного и водостойкого за счет насыщения смолой. Чем больше в породе дерева поздней древесины, тем она плотнее и прочнее.

Для определения процентного содержания поздней древесины на поперечном сечении образца № 2 наносят линию, перпендикулярную годовым кольцам, на ней выбирают отрезок не менее 20 мм, на котором с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм измеряют ширину поздней древесины (темные участки) в каждом годичном слое (рис.5). Все полученные величины суммируют и вычисляют по формуле содержание поздней древесины m, %:

$$m = \frac{(a_1 + a_2 + ... + a_n)100}{l} = \frac{\sum a_n}{l}100, \qquad (7)$$

где a_1, a_2, a_n – ширина поздней древесины в каждом годичном слое, мм;

l – расстояние между границами определения содержания поздней древесины, мм.

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон σ_{12}, кгс/см^2, в зависимости от содержания поздней древесины, при стандартной влажности, рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{12} = Am + B, \qquad (8)$$

где m – содержание поздней древесины, % ;

A, B – коэффициенты, принимаемые по табл. 8.

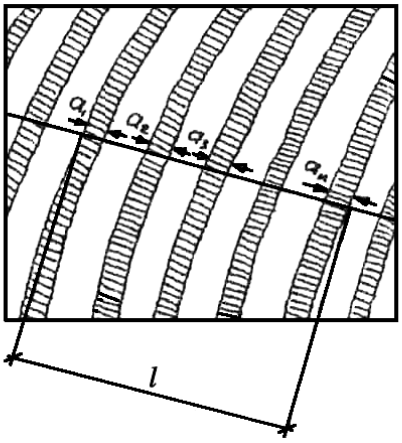


Рис. 5. Определение процентного содержания поздней древесины

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон σ_{12}, МПа, в зависимости от средней плотности при стандартной влажности рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{12} = C\rho^{1}_{ср12} + D, \qquad (9)$$

где $\rho^{1}_{ср12}$ – среднее значение средней плотности древесины при стандартной влажности, г/см^3;

C, D – коэффициенты, принимаемые по табл. 8.

Таблица 8

Значение коэффициентов для определения прочности древесины по процентному содержанию поздней древесины и средней плотности

Вид испытания	Коэффициенты			
	A		*B*	
	лиственные породы	хвойные породы	лиственные породы	хвойные породы
Сжатие вдоль волокон	3,2	6	300	300
	C		D	
	68	61	–	10

Полученные значения записывают в табл. 3 и сравнивают с результатами испытания древесины разрушающим методом.

5. Определение влияния строения древесины на ее прочность

Анизотропия древесины неодинаковость свойств по разным направлениям, связана с ее строением, а именно с ориентацией волокон вдоль ствола.

В зависимости от направления приложения усилия (вдоль или поперек волокон), прочность древесины будет различна.

Для исследования влияния строения древесины на ее прочность при сжатии три образца с равновесной влажностью сечением 20×20 мм и длиной поперек волокон 30 мм испытывают на сжатие по методике изложенной в п. 3. Определяют среднее значение предела прочности при сжатии и записывают значение в табл. 4.

По данным табл. 1, 2 строят зависимости плотности, теплопроводности и прочности древесины на сжатие вдоль волокон от влажности.

Анализируя полученные данные, делают выводы по работе в соответствии с поставленными целями.

Вопросы к защите выполненной лабораторной работы

1. Как определить среднюю плотность древесины?
2. От чего зависит средняя плотность древесины?
3. Как определить влажность древесины?
4. Как определить равновесную влажность древесины?
5. С какой целью, при оценке свойств древесины, введен показатель стандартной влажности?
6. Какое влияние оказывает влажность древесины на ее плотность, теплопроводность, прочность?
7. Какое влияние оказывает строение древесины на ее свойства?
8. Как содержание поздней древесины влияет на свойства древесины?
9. Как анизотропность древесины влияет на ее свойства?
10. Что такое эмпирические формулы? На основании каких данных их выводят?
11. Какие данные необходимо иметь для расчета прочности древесины неразрушающими методами?

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям.
2. ГОСТ 16483.1-84. Древесина. Методы определения плотности.
3. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. С изменением № 3 от 19.02.88.
4. ГОСТ 16483.10-73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. С изменением № 3 от 11.10.88.
5. ГОСТ 16483.18-72. Древесина. Методы определения числа годичных слоев в 1 см и содержание поздней древесины в годичном слое.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ

Битумные вяжущие материалы представляют собой сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных. Различают природные и искусственные нефтяные битумы. Битумы обладают аморфным строением, гидрофобны, водостойки, пористость их практически равна нулю. Качество битума и мастик оценивают по трем показателям: температуре размягчения, твердости и растяжимости. Эти показатели зависят, прежде всего, от состава битума, в который входят асфальтены, масла и смолы.

Все показатели качества битума взаимосвязаны и, зная, например, температуру размягчения нескольких битумов, можно ориентировочно оценить их растяжимость, твердость и, следовательно, определить рациональную область использования каждого.

Цель работы:

Студент должен приобрести:

1. Навыки:

– определения основных показателей качества битумов;

– определения марки битумов;

– использования номограммам;

– работы с используемыми приборами и оборудованием.

2. Умения:

– установить зависимость твердости и растяжимости битумов от температуры размягчения;

– определять рациональную область использования вяжущего в зависимости от свойств.

Используемые приборы и оборудование:

1. Прибор для определения твердости – пенетрометр.
2. Прибор для определения растяжимости – дуктилометр.
3. Аппарат для определения температуры размягчения.

С целью установления зависимости между физико-механическими свойствами битумов в работе используют битумы разных марок.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства битумов

Температура размягчения, °С	Растяжимость, см	Глубина проникания иглы, мм	Марка битума	Рациональная область применения

1. Определение температуры размягчения

Температура размягчения является важным показателем, который необходимо учитывать при использовании битумов для мастичных покрытий верхнего слоя кровель, при изготовлении и эксплуатации рулонных кровельных материалов.

Определение температуры размягчения проводят на аппарате «кольцо и шар». Сам показатель представляет собой условную характеристику перехода битума из упруговязкопластического состояния в текучее и характеризует его **теплостойкость.**

При проведении испытания латунные кольца, заполненные застывшим битумом, устанавливают горизонтально в отверстия на верхней пластинке аппарата. Термометр вставляют в среднее отверстие верхней пластинки точно по оси так, чтобы ртутный шарик был на нижнем уровне битума в кольцах.

Аппарат с кольцами и термометром помещают в термостойкий стеклянный стакан, который наполняют водой с температурой (5 ± 1) °С при предполагаемой температуре размягчения битума до 80 °С, глицерином с водой (2:1) при температуре размягчения битума от 80 до 110 °С или глицерином при температуре свыше 110 °С. Температура жидкостей при этом должна быть (34 ± 1) °С. Уровень жидкости над поверхностью колец должен быть не менее 50 мм.

Выдерживают аппарат в стакане 15 минут, вынимают из стакана, в центр каждого кольца укладывают стальной шарик, снова опускают аппарат в стакан и помещают на нагревательный прибор. Скорость подъема температуры должна составлять 5 °С/мин. При нагревании битум размягчается, и стальной шарик вместе с битумом проходит сквозь отверстие кольца. Температуру, при которой шарик коснется нижней пластинки прибора, принимают за температуру размягчения. Испытание проводят два раза, и температуру размягчения вычисляют как среднее арифметическое двух определений.

Ориентировочную температуру размягчения битумов можно определить упрощенным методом. Для этого кусочки битума разминают пальцами. Легкоплавкие битумы, с температурой размягчения ниже 50 °С быстро разминаются в руке, размягчаются и прилипают к пальцам. Тугоплавкие битумы (температура размягчения выше 50 °С) размягчаются медленно и при длительном разминании не прилипают к пальцам, а только оставляют темные следы.

2. Определение растяжимости

Растяжимость способность битумов под влиянием растягивающей силы удлиняться без нарушения сплошности. Показатель растяжимости – абсолютное удлинение образца до момента разрыва в сантиметрах. Это свойство имеет большое значение в тех случаях, когда битум используют для создания непроницаемых мастичных монолитных покрытий (гидроизоляционных, кровельных). Растяжимость битума определяют на приборе – дуктилометре. Так как битум относится к термопластичным материалам, то для обеспечения постоянных условий проведения опыта, в дуктилометр наливают воду с фиксированной температурой 25 °С, слой воды над образцом не менее 25 мм.

Заранее подготовленные образцы-восьмерки устанавливают одним концом на неподвижной опоре, а другой – на подвижных салазках, закрепленных на червячном винте, расположенном по центру. При включении электродвигателя, винт начинает вращаться и образцы растягиваться. По линейке, установленной на приборе, измеряют удлинение образца в сантиметрах в момент разрыва. При растяжимости до 10 см результат округляют до 0,1 см, при большем значении – до целого числа. За растяжимость битума принимают среднее арифметическое значение трех определений.

3. Определение пенетрации

Вязкость (твердость) битума зависит от температуры. При пониженных температурах вязкость битума велика, и он приобретает свойства твердого тела, с увеличением температуры вязкость уменьшается и битум переходит в жидкое состояние. Для характеристики вязкости используют условный показатель – глубина проникания иглы (пенетрация), которую определяют на пенетрометре, при температуре 25 °С.

Чашку с битумом помещают в кристаллизатор с водой, температура которой 25 °С, установленный на столике пенетрометра. Иглу пенетрометра доводят до соприкосновения с поверхностью битума, одновременно устанавливая стрелку циферблата на нуль или фиксируя ее положение. В течение 5 с дают игле возможность свободно входить в битум, используя для этого стопорную кнопку. Перемещают контактную рейку до соприкосновения со стержнем иглы и по перемещению стрелки определяют глубину проникновения в градусах (1 градус соответствует 0,1 мм). Определение повторяют три раза в различных точках поверхности битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого испытания иглу обтирают тканью, смоченной растворителем.

За результаты испытания принимают среднее арифметическое не менее трех определений.

Таблица 2

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	Растяжимость при 25 °С, не менее	Температура размягчения, °С, не ниже	Глубина проникания иглы при 0 °С, 0,1 мм
Строительные битумы				
БН-50/50	41 – 60	40	50	–
БН-70/30	21 – 40	3	70	
БН-90/10	6 – 20	1	90	
Кровельные битумы				
БНК-45/180	140 – 220	не нормируется	40 – 50	–
БНК-90/40	35 – 45		85 – 95	
БНК-90/30	25 – 35		85 – 95	
Дорожные битумы				
БНД-200/300	201 – 300	–	35	45
БНД-130/200	131 – 200	65	39	35
БНД-90/130	91 – 130	60	43	28
БНД-60/90	61 – 90	50	47	20
БНД-40/60	40 – 60	40	51	13

На основании полученных результатов строят графическую зависимость твердости и растяжимости битумов от температуры размягчения.

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. По каким показателям определяют марку битума?
2. Почему определение твердости и растяжимости битума необходимо проводить при температуре 25 °С?
3. Как и на каком приборе определяют растяжимость битума?
4. Методика определения температуры размягчения битума. Когда при эксплуатации важен этот показатель?
5. Как и на каком приборе определяют твердость битума?
6. Методика определения твердости битума. От чего зависит этот показатель?
7. Какое влияние оказывает температура размягчения на твердость и растяжимость битума?
8. Что обозначают буквы и цифры в марке материала БН-90/10, БНК-45/180?
9. Для каких материалов на основе битумов важен показатель «растяжимость»?
10. Назовите способы повышения твердости и термостойкости битумов.

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 9548-74. Битумы нефтяные кровельные. Технические условия.
2. ГОСТ 11501-78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.
3. ГОСТ 11505-75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости.
4. ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.
5. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПИГМЕНТОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

Лакокрасочные материалы – это составы, наносимые в жидком виде на защищаемую поверхность. Образовавшаяся в результате твердения пленка – лакокрасочное покрытие – прочно связана с поверхностью (дерева, металла, бетона) силами адгезии. Красочные составы – это многокомпонентные системы, в которые входят в качестве основных составляющих пигменты, наполнители, связующие, а также добавки, улучшающие технологические и эксплуатационные свойства лакокрасочных материалов.

Связующие вещества (смолы, масла, клеи, неорганические вяжущие: цемент, известь, гипс) определяют консистенцию краски, прочность, атмосферостойкость, долговечность покрытия, и прочность сцепления с защищаемой поверхностью.

Наполнителями называют нерастворимые слабоокрашенные тонкомолотые минеральные вещества, используемые для придания лакокрасочным покрытиям таких свойств как повышенная прочность, кислотостойкость, огнестойкость а также для повышения трещиностойкости.

В качестве пигментов применяют цветные тонкоизмельченные минеральные или органические вещества, нерастворимые в воде и органических растворителях. Пигменты обладают такими свойствами, как укрывистость, тонкость помола (дисперсность), маслоемкость, светостойкость и др. Они предназначены для придания цвета малярным составам и улучшения механических свойств пленочного покрытия.

Цель работы:

Студент должен приобрести:

1. Навыки:

– экспериментального определения основных показателей качества пигментов и пленочного покрытия.

2. Умения:

– анализировать влияние тонкости помола пигмента на его укрывистость и маслоемкость.

Используемые приборы и оборудование:

1. Набор сит.
2. Лабораторные технические весы с разновесами.
3. Бюретка со связующим.
4. Стеклянные пластины для определения укрывистости 10×10 см.
5. Шкала гибкости, жестяные пластины.
6. Прибор У-1 (для определения сопротивления удару).
7. Трафарет с тремя контрастными полосами (две черные и одна белая).

Полученные данные опытов и вычислений заносят в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

№	Вид пигмента	Дисперс-ность, %	Укрыви-стость, г/м^2	Маслоем-кость, мл/г	Сопротивление удару, см	Пластичность пленки, мм
1.						
2.						
3.						

1. Определение качества пигмента

1.1. Дисперсность или степень измельчения пигмента определяют просеиванием через сито, номер которого указан в технических условиях на испытываемый пигмент. Для этого навеску пигмента 10 г просеивают до тех пор, пока в течение 0,5 мин через сито не будет проходить порошок. После этого остаток снимают кисточкой и взвешивают. Дисперсность *Д* в % определяют по формуле:

$$Д = \frac{b}{a} \cdot 100, \qquad (1)$$

где a – первоначальная навеска, г;

b – остаток пигмента на сите, г.

1.2. Укрывистость пигмента устанавливают по минимальному расходу пигмента в граммах для получения непрозрачного покрытия на квадратный метр поверхности.

Чем выше укрывистость, тем меньше пигмента расходуется и экономичнее состав.

Определение выполняют в следующей последовательности:

– взвешивают стеклянную пластинку 10×30 см

– навеску пигмента 5 г растирают и доводят до малярной консистенции, обеспечивающей равномерное распределение однородного состава по поверхности. После чего наносят на пластинку кистью до тех пор, пока полосы на используемом трафарете, не перестанут быть заметными (окрашивание сначала производят вдоль, а затем поперек);

– определяют количество израсходованной краски по разности в весе пластинки до и после окрашивания. Укрывистость $У$, г/м^2, определяют по формуле:

$$У = \frac{m}{F} \cdot 1000, \qquad (2)$$

где m – количество краски малярной консистенции, г.

$$m = m_2 - m_1, \qquad (3)$$

где m_2 – масса окрашенной пластинки, г;

m_1 – первоначальная масса пластинки, г;

F – площадь окраски, см^2.

1.3. Маслоемкость пигмента определяет минимальное количество связующего, необходимое для получения лакокрасочного состава малярной консистенции. Этот показатель очень важен, т.к. разрушение лакокрасочного состава происходит в основном из-за старения масляной пленки. Для определения маслоемкости используют бюретку с делением, из которой приливают масло в стакан с отвешенной навеской 5 г сухого пигмента в следующей последовательности: 2 – 3 капли и далее по одной. После каждого приливания следует тщательно перемешивать компоненты стеклянной палочкой. Момент, когда весь пигмент смешивается с маслом, и образует сплошной комок с блестящей масляной поверхностью, является окончанием опыта. Это означает, что точка насыщения пигмента достигнута. Количество масла, израсходованного на пигмент, определяют по разности уровней в бюретке до начала и после конца опыта. Маслоемкость M, мл/г, определяют по формуле:

$$M = \frac{V \cdot \rho}{m} \cdot 100, \qquad (4)$$

где V – количество израсходованного масла, мл;

ρ – плотность масла, 0,93;

m – навеска пигмента, г.

2. Определение качества лакокрасочного покрытия

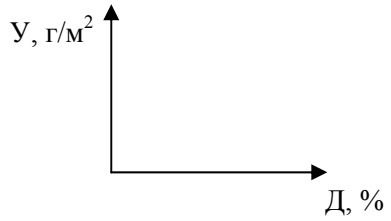
Для определения качества лакокрасочного покрытия рассчитывают необходимое количество краски для окрашивания 200 см^2 поверхности по формуле (2), окрашивают образцы жести размером 2×10 см (для определения пластичности пленки) и 10×10 см (для определения сопротивления пленки удару).

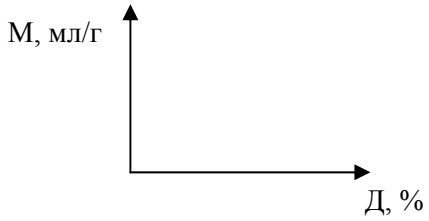
2.1. Сопротивление пленки удару определяют на приборе У-1. После высыхания металлической пластины 10×10 см помещают ее окрашенной стороной вверх на наковальню прибора под боек. Груз устанавливают на заданной высоте, а затем отпускают для свободного падения на боек, передающий удар образцу. Образец осматривают. При отсутствии трещин и отслаивания пленки высоту падения груза увеличивают до тех пор, пока не обнаружится разрушение пленки. Таким образом, сопротивление пленки удару характеризуется максимальной высотой (см), с которой падающий груз весом в 1 кг не вызывает ее механических разрушений.

2.2. Пластичность пленки характеризует ее способность выдерживать изгибающие нагрузки при использовании стержней различного диаметра без разрушения. Это испытание производится после высыхания пленки при помощи шкалы гибкости, представляющей собой набор стальных стержней различного диаметра (20, 15, 10, 5, 3, 1 мм). Начинают испытывать пленку на стержне с большим диаметром и оканчивают изгиб на том стержне, после изгиба, на котором осмотр покажет наличие трещин.

Пластичность пленки, таким образом, выразится минимальным диаметром стержня, на котором лакокрасочное покрытие не имело повреждений.

На основании опытных и расчетных данных студенты делают вывод о влиянии качества пигмента на свойства лакокрасочного состава и пленочного покрытия, строят графические зависимости укрывистости и маслоемкости от дисперсности пигмента.





Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какие компоненты входят в состав красок?
2. С какой целью в состав красочных составов вводят связующие?
3. Какой вид связующего использован в работе?
4. С красочным составом какого класса вы работали?
5. Какие свойства связующего являются основными и почему?
6. С какой целью в состав красочного состава вводят пигмент?
7. Какие свойства пигмента являются основными?
8. Что такое укрывистость пигмента?
9. В каких единицах измеряют укрывистость?
10. Что такое маслоемкость пигмента?
11. В каких единицах измеряют маслоемкость?
12. Что такое дисперсность пигмента (тонкость помола)?
13. В каких единицах измеряют дисперсность?
14. Какое влияние дисперсность пигмента оказывает на его маслоемкость?
15. Какое влияние дисперсность пигмента оказывает на его укрывистость?
16. Какие показатели характеризуют качество лакокрасочного покрытия?
17. Как определить эластичность (гибкость) лакокрасочного покрытия?
18. Как определить ударную прочность пленочного защитного покрытия?
19. От чего зависит ударная прочность красочного покрытия?

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 4765-73. Материалы лакокрасочные. Методы определения прочности пленки при ударе.
2. ГОСТ 6806-73. Материалы лакокрасочные. Методы определения эластичности пленки при изгибе.
3. ГОСТ 19487-74. Пигменты и наполнители неорганические. Термины и определения.
4. ГОСТ 21119.4-75. Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Методы определения остатка на сите.
5. ГОСТ 21119.8-75. Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение маслоемкости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Керамическими называют искусственные каменные материалы, полученные из минерального глинистого сырья путем его добычи, тонкого измельчения, формования изделий с последующей их сушкой и обжигом. Сушка изделий обеспечивает первоначальную прочность, достаточную для сохранения формы, целостности при транспортировке в печь обжига, а также снижает усадочные деформации, возникающие в процессе спекания.

Обжиг проводят при температуре 900 – 1100 °С для придания высокой водостойкости и прочности керамическим материалам.

В зависимости от свойств используемой глины и назначения материалов и изделий их формуют методом полусухого прессования, пластичного формования и литья (шликерный). Влажность массы при этом составляет 8 – 12; 20 – 25; до 60 % соответственно.

Первый метод применяют, используя тощие, малопластичные глины, для получения изделий точного размера с ровной поверхностью (кирпич и камни облицовочные), а также изделий обладающих высокой прочностью и плотностью (плитка половая). Второй метод (при наличии пластичных, жирных глин) используют для изготовления кирпича и камня обыкновенного, труб, черепицы, плитки фасадной. Шликерный способ предусматривает заливку высокоподвижной глинистой массы в специальные высокопористые гипсовые формы сложной конфигурации (ванны, раковины и т.д.) или заполнение ею специальных форм-матриц (тонкие ковровo-мозаичные плитки).

По назначению керамические материалы подразделяют на стеновые: камни пустотелые, кирпич пустотелый и полнотелый; кровельные – черепица; облицовочные: кирпич и камни лицевые, плитки; трубы канализационные и дренажные, а также материалы теплоизоляционные: кирпичи, сегменты, скорлупы, оболочки, гравий керамзитовый, щебень аглопоритовый; кислотостойкие: плитки, кирпичи и огнеупорные – кирпичи.

С целью ознакомления студентов с керамическими материалами различных свойств и применения, в лабораторной работе предусмотрено изучение кирпича керамического, плитки для пола, гравия керамзитового. Последний материал вследствие вспучивания обладает высокой замкнутой

пористостью, поэтому наиболее эффективная область его применения – засыпная теплоизоляция стен, полов и перекрытий, а также легкий заполнитель для бетонов.

Показатели, по которым оценивают качество перечисленных материалов, зависят от условий эксплуатации изделий. Так кирпич должен быть прочным по отношению к сжимающим и изгибающим нагрузкам, а при кладке наружных стен обладать низкой теплопроводностью и определенной морозостойкостью. Для облицовочных половых плиток важны: декоративность, высокая износостойкость, низкое водопоглощение. Керамзитовый гравий должен быть определенной плотности, теплопроводности и прочности.

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– контроля внешнего вида керамических материалов и изделий;

– определения физико-механических свойств керамики, стандартными и ускоренными методами;

– работы с испытательными приборами и оборудованием.

2. Умения:

– анализировать полученные результаты исследований;

– устанавливать зависимости физико-механических свойств керамических материалов от различных факторов: сырья, технологии получения.

Используемые приборы и оборудование:

1. Гидравлический пресс.
2. Круг истирания типа ЛКИ-3.
3. Весы лабораторные и настольные циферблатные.
4. Штангенциркуль, мерные линейки.
5. Угольник поверочный 90°.
6. Шкаф сушильный лабораторный.
7. Емкость для кипячения.

Результаты испытаний записывают в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты контроля размеров и правильности формы изделий

№ п/п	Вид дефекта	Наименование материалов	
		Кирпич	Плитка для полов
1	Отклонения размеров от номинальных, мм по длине по ширине по толщине		
2	Косоугольность, мм	–	
3	Кривизна лицевой поверхности, мм	–	
4	Искривление граней, ребер, мм		
5	Отбитости ребер и углов, мм		
6	Трещины		
7	Щербины и зазубрины: шириной в направлении, перпендикулярном ребру, мм общей длиной, мм	–	
8	Посечка длиной, мм	–	

Таблица 2

Физико-механические свойства керамических материалов

Перечень определяемых показателей	Наименование материалов		
	керамзитовый гравий	кирпич глиняный	плитка для полов
Физические свойства:	+	+	+
средняя плотность, кг/м^3	+	+	+
насыпная плотность, кг/м^3	+	–	–
водопоглощение по массе, $W_м$, %	+	+	+
открытая пористость, $W_о$, %	+	+	+
Механические свойства:			
предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	+	+	–
предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа	–	+	–
износостойкость Q, г/см^2	–	–	+

1. Оценка качества керамических материалов по внешнему осмотру и обмеру

Дефекты формы, отклонения от размеров, наличие трещин, отбитостей не только ухудшают эстетический вид изделий, но и снижают эксплуатационные свойства, их долговечность.

По способу изготовления различают кирпичи пластического формования и полусухого прессования. Они отличаются по внешнему виду. Прессованный кирпич имеет плотную, гладкую поверхность, более ровные грани и ребра. Поверхности кирпича в зависимости от их размера и расположения подразделяют на тычок – наименьшая поверхность изделия, ложок – поверхность изделия средней величины и плашок – поверхность, которой изделие укладывают в конструкцию.

Плитки подразделяют на основные и бордюрные, по форме – на квадратные, прямоугольные, многогранные и фигурные. Они могут быть глазурованные и неглазурованные.

1.1. Контроль внешнего вида

Нормально обожженный кирпич должен быть по всему объему одинакового цвета, при ударе молотком он «звенит». При недожоге цвет кирпича алый, при ударе молотком он издает глухой звук. Пережженный кирпич, как правило, бурого цвета, искривлен, имеет участки оплавления и вспучивания.

Величины искривлений, отбитости ребер и углов кирпича и плиток определяют, прикладывая угольник к плоскостям изделий. Замеры производят штангенциркулем, с точностью до 0,1 мм (рис. 1).

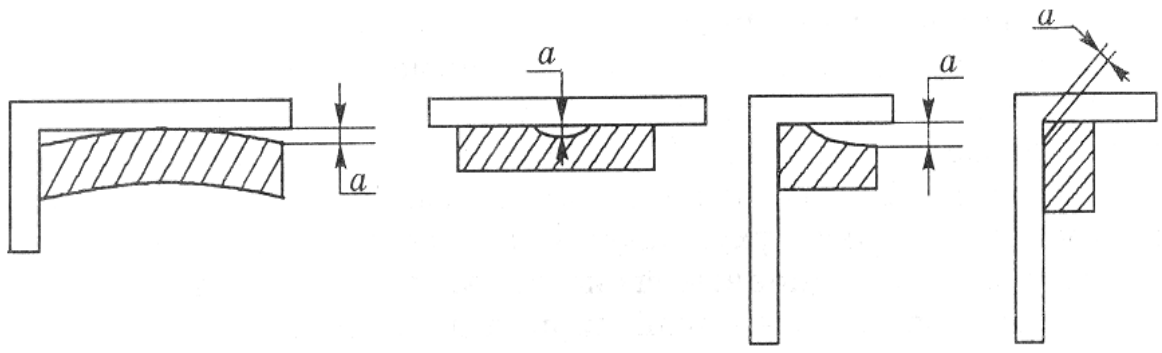


Рис.1. Определение дефектов кирпича и керамической плитки,
a – измеряемая величина, мм

При равномерном обжиге плитки однотонные по цвету. Контроль цвета (оттенка), рисунка и рельефа плиток проводят, раскладывая их на ровной поверхности вперемежку с образцами эталонами и рассматривая с расстояния 1 м. Цвет, рисунок или рельеф должны соответствовать эталону. На лицевой поверхности не допускаются плешины, пятна, воднистость глазури, пузыри, нечеткость рисунка.

Величину зазубрин, щербин, посечек замеряют штангенциркулем или линейкой.

Равномерно обожженный **керамзитовый гравий** не должен содержать зерна с оплавленной поверхностью. Допускается содержание расколотых зерен не более 15 %.

Количество расколотых зерен определяют следующим образом. Пробу гравия помещают в предварительно взвешенный цилиндр объемом 2 л. Определяют массу гравия в цилиндре (m_1). Внешним осмотром выделяют расколотые зерна, к которым относят зерна, расколотые пополам; зерна, имеющие повреждение поверхности (сколы, потертости) более чем на половину. Расколотые зерна взвешивают (m_2).

Содержание расколотых зерен, *Щ*, в пробе с точностью до 1 % вычисляют по формуле:

$$Щ = \frac{m_2}{m_1} 100, \qquad (1)$$

где m_1 – масса пробы, кг;

m_2 – масса расколотых зерен, кг.

1.2. Контроль размеров и правильности формы

Контроль размеров кирпича и плиток производят, штангенциркулем с точностью 0,1 мм. В толщину плитки включают величину рельефа и рифления на монтажной поверхности.

Искривление граней кирпича производят щупом с использованием металлического угольника.

Кривизну лицевой поверхности плитки определяют, используя прибор в соответствии с ГОСТ 27180 приложение Б, либо прикладывая к поверхности ребро металлической линейки и измеряя зазор щупом.

Искривление граней плитки замеряют при помощи прибора согласно ГОСТ 27180 приложение В, или щупом, прикладывая ребро линейки к каждой грани.

Косоугольность ребер плитки измеряют щупом, прикладывая угольник ко всем углам плитки.

Результаты осмотра и обмера материалов сравнивают с данными табл. 3, 4, 5, определяют вид и количество дефектов и записывают в табл. 1.

Делают вывод о качестве испытуемых материалов по внешнему виду и обмерам, соответствии их требованиям ГОСТ. Записывают условные обозначения плиток, например:

– плитка неглазурованная с координационными размерами: длина 300 мм, ширина 200 мм, номинальными размерами: длина 297 мм, ширина 197 мм, толщина 8,5 мм.

Таблица 3

Размеры кирпича

Вид изделий	Номинальные размеры, мм		
	Длина	Ширина	Толщина
Кирпич одинарный	250	120	65
Кирпич утолщенный	250	120	88
Кирпич модульных размеров одинарный	288	138	65
Кирпич модульных размеров утолщенный	250	54	88
Кирпич утолщенный с горизонтальным расположением пустот	250	120	88

Таблица 4

Размеры плиток для полов

Координационные размеры, К, мм		Номинальные размеры, Н, мм	
Длина	Ширина	Длина, ширина	Толщина
Квадратные плитки		Устанавливает предприятие-изготовитель таким образом, чтобы ширина шва составляла от 2 до 5 мм	Устанавливает предприятие-изготовитель, но не менее 7,5 мм
500	500		
400	400		
330	330		
300	300		
250	250		
200	200		
150	150		
Прямоугольные плитки			
500	300		
400	300		
300	200		
250	200		
200	150		

Примечание. Координационный размер соответствует суммарной величине номинального размера плитки и ширины шва.

Таблица 5

Допускаемые отклонения в размерах и дефекты керамических материалов

№ п/п	Вид дефекта	Наименование материалов	
		кирпич	плитка для полов
1	Отклонения размеров от номинальных, мм по длине по ширине по толщине	 ± 5 ± 4 ± 3	 ± 1,5 ± 1,5 ± 0,5
2	Косоугольность, мм	–	не более 1,5
3	Кривизна лицевой поверхности, мм	–	не более 1,5
4	Отклонение от перпенди-кулярности граней, мм	не более 3	не более 1,5
5	Отбитости ребер и углов, мм	длина не более 10 – 15 глубина не более 5, не более 2-х на кирпич	не допускаются
6	Трещины	протяженность до 30 мм по плошку полнотелого кирпича и пустотелого не более чем до первого ряда пустот глубиной на всю толщу кирпича или на 1/2 толщины тычковой или ложковой грани не более одной на ложковой или тычковой грани	не допускаются
7	Щербины и зазубрины: шириной в направлении, перпендикулярном ребру, мм общей длиной, мм	 – –	 значение для одной плитки, не более 1 значение для одной плитки, не более 10
8	Посечка длиной, мм	–	значение для одной плитки, не более 10

2. Определение средней плотности, водопоглощения и открытой пористости

Перечисленные показатели для кирпича, керамзита, плитки для полов определяют по методике изложенной в пп. 2 – 4 лабораторной работы № 1.

Водопоглощение плитки определяют насыщением образцов водой кипячением. Высушенные образцы помещают в емкость для кипячения на

сетчатую подставку, заливают водой выше уровня плитки на 50 мм и кипятят в течение 1 часа. Оставляют плитки в воде для охлаждения на 4 часа. Водопоглощение по массе W, %, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100, \qquad (2)$$

где m_2 – масса насыщенного водой образца, г;

m_1 – масса высушенного образца, г.

Водопоглощение керамических материалов сравнивают с показателями табл. 6.

Таблица 6

Допускаемое водопоглощение некоторых керамических материалов

Наименование материала	Водопоглощение по массе $W_м$, %
Кирпич глиняный:	
полнотелый, рядовой, лицевой	не менее 8
пустотелый рядовой, лицевой	не менее 6
Керамзитовый гравий по насыпной плотности:	
марка 400	25
марка 450 – 600	20
Плитка для полов:	
не глазурованная	не более 3,5
глазурованная	не более 1,5

Ускоренный способ определения водопоглощения состоит в том, что на поверхность материала капают воду или чернила. Водопоглощение оценивают по быстроте впитывания капли. При водопоглощении до 3 % капля практически не впитывается, при 5 – 8 % – впитывается частично, более 10 % – капля быстро впитывается.

3. Определение прочности керамических материалов

Кирпич является стеновым материалом, поэтому при эксплуатации он испытывает сжимающие и изгибающие нагрузки.

3.1. Определение предела прочности кирпича при изгибе

Предел прочности при изгибе определяют на целом кирпиче, используя прессовое оборудование (рис.2).

Для этого в местах опирания и приложения нагрузки поверхность выравнивают цементным или гипсовым раствором с песком состава 1:1, с В/В = 0,4 – 0,42 или применяют прокладки из технического войлока, резинотканых пластин.

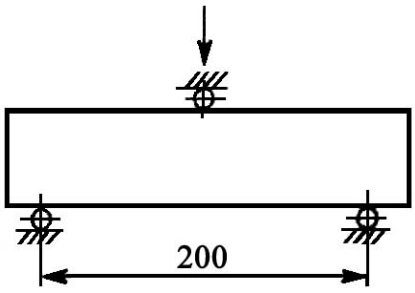


Рис. 2. Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, образца вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2ab^2}, \qquad (3)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

l – расстояние между осями опор, мм (см), l = 0,20 м;

a – ширина образца, мм (см);

b – высота образца по середине пролета, мм (см).

3.2. Определение предела прочности кирпича при сжатии

Предел прочности при сжатии определяют на образцах, состоящих из двух целых кирпичей или из двух его половинок. ГОСТ допускает определять предел прочности при сжатии на половинках кирпича, после его испытания на изгиб. Для определения предела прочности при сжатии кирпича пластического формования из двух кирпичей или двух половинок изготавливают образцы в виде куба (рис. 2).

Для этого приготавливают цементно-песчаный раствор состава 1:1, с В/Ц = 0,4 – 0,42. Кирпич погружают в воду на 1 мин.

На горизонтальную пластину укладывают лист бумаги, слой раствора толщиной 3 – 5 мм и первый кирпич или его половинку, затем слой раствора и вторую часть образца. При этом поверхности излома при использовании половинок кирпича, должны быть направлены в противоположные стороны.

Верхнюю поверхность второго кирпича или половинки выравнивают цементным раствором 3 – 5 мм, укладывают лист бумаги и прижимают стеклом.

Перед испытанием полученный образец выдерживают 3 суток в помещении при температуре (20 ± 5) °С и относительной влажности воздуха 60 – 80 %, для набора прочности цементно-песчаного раствора.

При определении предела прочности при сжатии разрешается для выравнивания поверхностей сухих образцов применять прокладки из технического войлока и резинотканых пластин.

Образцы из кирпича полусухого прессования испытывают насухо, не выравнивая их поверхности.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа определяют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (4)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

A – площадь поперечного сечения образца, как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхности, мм^2 (см^2).

По значениям пределов прочности при сжатии и изгибе определяют марку кирпича по табл. 7.

Таблица 7

Марки кирпича глиняного обыкновенного

Марка изделия	Предел прочности не менее (МПа)							
	при сжатии		при изгибе					
	всех видов изделий		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и одинарного пустотелого кирпича		пустотелого утолщенного кирпича	
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1 J	1,0	1,8	0,9
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,0	0,8
100	10,0	7,5	2,2	1Д	1,6	0,8	1,4	0,7
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7	1,2	0,6

Упрощенный способ определения марки кирпича. Молоток массой 1 кг берут за нижнюю часть рукояти, локоть прижимают к туловищу у пояса, ударником молотка касаясь плеча. Удар наносят по наибольшей грани кирпича, в зависимости от степени разрушения кирпича по табл. 8 определяют его марку.

Таблица 8

Определение марки кирпича по удару молотком

Результаты удара молотком	Примерная марка кирпича
Кирпич разбивается на куски средней величины от одного удара	ниже 75 – брак
Кирпич разрушается от двух–трех ударов	75 – 100
Кирпич искрит, от него отбиваются мелкие осколки	125 и выше

3.3. Определение прочности керамзитового гравия

Прочность керамзитового гравия определяют при сдавливании зерен в стальном цилиндре с внутренним диаметром равным высоте. Цилиндр заполняют керамзитом до краев, закрывают плунжером и помещают на нижнюю плиту пресса. Сдавливают заполнитель при помощи пресса до погружения плунжера в цилиндр на 20 мм, в этот момент отмечают показания стрелки манометра.

Прочность заполнителя при сдавливании в цилиндре $\sigma_{сд.з}$, МПа вычисляют по формуле:

$$\sigma_{сд.з.} = \frac{F}{A}, \qquad (5)$$

где F – усилие сдавливания, Н;

A – площадь поперечного сечения цилиндра, равная 0,0177 м^2 (177 см^2).

По результатам испытаний керамзита, используя табл. 9 определяют марку гравия по прочности и марку бетона, для которого он может быть использован.

Ускоренно оценить прочность керамзита можно по значению насыпной плотности, используя график (рис. 3).

Таблица 9

Определение марки гравия и марки бетона

Прочность гравия при сдавливании в цилиндре, МПа	Марки гравия по прочности	Проектная марка легкого бетона
до 0,5 включ.	П15	Меньше 35
св. 0,5 до 0,7 включ.	П25	35
св. 0,7 до 1,0 включ.	П35	50
св. 1,0 до 1,5 включ.	П50	75
св. 1,5 до 2,0 включ.	П75	100
св. 2,0 до 2,5 включ.	П100	150
св. 2,5 до 3,3 включ.	П125	250
св. 3,3 до 4,5 включ.	П150	300
св. 4,5 до 5,5 включ.	П200	350
св. 5,5 до 6,5 включ.	П250	400
св. 6,5 до 8,0 включ.	П300	400
св. 8,0 до 10,0 включ.	П350	450
св. 10,0	П400	Более 450

Помимо этого прочность гранул керамзита можно ориентировочно определить, сжимая их пальцами. Если при этом зерна легко разрушаются, то их прочность обычно не превышает 1 – 1,2 МПа, если для этого нужно приложить усилие, то прочность составляет 1,5 – 2 МПа. Гранулы с прочностью 2 – 3 МПа и более разбиваются при несильном ударе по ним слесарным молотком.

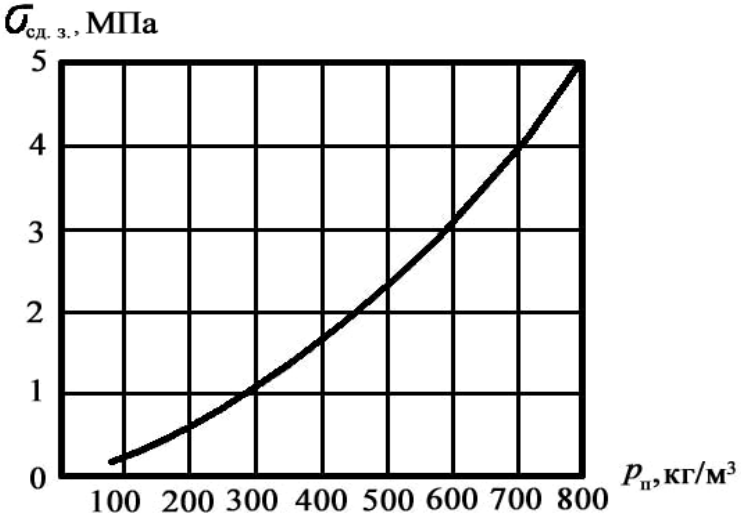


Рис. 3. График приближенной зависимости прочности керамического гравия от насыпной плотности в сухом состоянии

3.4. Определение износостойкости плитки для полов

Износостойкость – это способность материала противостоять действию истирающей нагрузки. Для половой плитки этот показатель связан с трением о поверхность подошв обуви людей, перемещением механизмов. Оценивают износостойкость потерей массы плитки к единице ее площади на круге истирания. Для определения потери массы плитки при истирании выбирают образец 70×70 мм или 50×50 мм, который предварительно взвешивают с точностью до 0,1 г и измеряют длину и ширину с точностью до 0,1 мм. Образец устанавливают в держатель на металлический диск (диск истирания). При вращении диска, на который равномерно подается песок и нагрузке на образец не более 0,06 МПа происходит истирание поверхности образцов, т.е. потеря их массы. После 30 м пути диск останавливают, образец извлекают и взвешивают. Процесс повторяют на образце еще 3 раза, каждый раз поворачивая его на 90° в одном направлении.

Износостойкость Q, г/см^2 вычисляют по формуле:

$$Q = \frac{3m_4}{S}, \qquad (6)$$

где m_4 – суммарная потеря массы после 4 циклов истирания, г;

S – площадь образца, см^2;

3 – коэффициент приведения к 12 циклам испытания.

Результат вычисления округляют до 0,01 г/см^2.

Полученные данные сравнивают с требованиями ГОСТа, согласно которому потери в массе при испытании неглазурованных плиток не должны превышать 0,18 г/см^2.

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. С какой целью применяют в строительстве материалы, используемые в работе?
2. Какие показатели характеризуют качество стенового материала?
3. Какое заключение о качестве кирпича можно сделать по результатам визуального осмотра?
4. Как определить марку кирпича?
5. Что значит выражение – марка кирпича по прочности 75, 100, 300?
6. Какие показатели характеризуют качество материала, применяемого для наружной отделки (облицовки) зданий?
7. Какие показатели характеризуют качество материала, применяемого для отделки пола?
8. Почему согласно ГОСТа к испытуемым материалам предъявляют различные требования по водопоглощению?
9. От чего зависит плотность керамических изделий?
10. За счет каких технологических приемов можно повысить теплоизоляционные свойства стеновых материалов?
11. За счет каких технологических приемов можно повысить марку стенового материала?

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. СТБ 1160-99. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
2. СТБ 1217-2000. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
3. ГОСТ 6787-2001. Плитки керамические для полов. Технические условия.
4. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
5. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
6. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
7. ГОСТ 27180-2001. Плитки керамические. Методы испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА И КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Наибольшее применение в строительстве для изготовления малярных составов, растворов и бетонов различного назначения находят воздушная известь, строительный гипс и общестроительные цементы на основе портландцементного клинкера.

Чтобы правильно оценить рациональную область применения вяжущих необходимо установить их вид и определить основные показатели качества.

Вид вяжущего зависит от минералогического состава и устанавливается путем проведения химического анализа.

В условиях строительной площадки можно определять вид вяжущего по характерным признакам: цвет, скорость схватывания, консистенция теста, используя простые приемы. Характерные признаки цементов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характерные признаки цемента

Определяемые реакции и характеристики	Вид цемента		
	портландцемент	шлакопортланд–цемент	пуццолановый портландцемент
Действие соляной кислоты	без запаха	запах сероводорода	без запаха
Действие магнита	частицы к магниту не притягиваются	частичное притяжение к магниту	частицы к магниту не притягиваются
Адсорбция метилиновой сини	слабое обесцвечивание раствора		интенсивное обесцвечивание раствора

К основным показателям качества молотой негашеной извести относятся: тонкость помола, активность (содержание свободных окисей кальция и магния), скорость гашения, содержание непогасившихся зерен.

Основные свойства строительного гипса: тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, прочность при изгибе и сжатии (марка).

Качество цемента оценивают по следующим показателям: тонкость помола, насыпная плотность, нормальная густота цементного теста, сроки схватывания, равномерность изменения объема в процессе гидратации, активность (марка) цемента.

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– определения вида минерального вяжущего по характерным признакам;

– испытания минеральных вяжущих;

– работы с используемыми приборами и оборудованием.

2. Умения:

– анализировать полученные результаты;

– оценивать качество минеральных вяжущих;

– обосновывать рациональную область их использования.

Результаты испытаний представить в табл. 2 – 5.

Таблица 2

Характерные признаки минеральных вяжущих

№ емкости	Вид вяжущего	Характерные признаки		
		скорость схватывания	консистенция теста	цвет
1				
2				
3				

Таблица 3

Основные показатели негашеной извести

Масса пробы извести, *m*, г	Наименование показателя	
	содержание активных CaO + MgO, %	время гашения, мин

Таблица 4

Физико-механические свойства строительного гипса

Сроки схватывания, мин		Вид вяжущего (индекс сроков твердения)	Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа		Марка гипса
начало	конец		при изгибе	при сжатии	

Таблица 5

Экспериментальные данные для определения
вида и качества цемента

Особые признаки	Вид цемента	Предел прочности в возрасте 28 сут, МПа		Марка цемента
		при изгибе	при сжатии	

Используемые приборы и оборудование:

1. Весы лабораторные.
2. Мерные цилиндры.
3. Стеклянные емкости объемом до 250 мл.
4. Термосный фарфоровый стакан (колба).
5. Термометр на 100 ^{o}C.
6. Сито с размером в свету 02 мм.
7. Металлическая чашка, лопатка.
8. Прибор Вика.
9. Линейки стальные.
10. Стеклянные пластинки 9×12 см.
11. Постоянный магнит.
12. Стальная форма конус.
13. Металлическая штыковка.
14. Встряхивающийся столик.
15. Машина МИИ-100.
16. Гидравлический пресс.
17. Секундомер.

1. Определение вида минерального вяжущего по характерным признакам

1.1. Визуальное распознавание

В пронумерованные емкости объемом до 100 мл засыпают по 10 г каждого минерального вяжущего и добавляют 30 мл воды. Тщательно перемешивают смесь и оставляют в состоянии покоя. Через 10 мин визуально определяют вид вяжущего в каждой емкости по характерным признакам: скорости схватывания, консистенции теста. Результаты испытаний заносят в табл. 2 и делают вывод о виде вяжущего в каждой емкости.

1.2. Адсорбция метиленовой сини

Пуццолановый портландцемент возможно выявить по адсорбции метиленовой сини. Активные минеральные добавки этого цемента, обладая высокой адсорбционной способностью, будут интенсивно обесцвечивать раствор метиленовой сини. Определение произвести следующим образом.

Пробу исследуемого цемента (30 г) высыпают в стеклянную емкость и заливают 50 мл раствора метиленовой сини, который готовят из расчета 100 мл воды – 10 капель красителя. Содержимое интенсивно перемешивают и дают отстояться в течение 10 мин. В другую стеклянную емкость (контрольную) помещают 50 мл приготовленного раствора без цемента. Сравнивают цвет контрольного раствора и раствора с цементом. Интенсивное обесцвечивание жидкости характерно для пуццоланового портландцемента.

1.3. Испытания соляной кислотой

Шлакопортландцемент узнают по характерному запаху сероводорода при действии на пробу цемента соляной кислотой. В этом случае для определения вида цемента на стеклянные пластинки насыпают пробы (5 г) неизвестных цементов и капают на них несколько капель соляной кислоты.

1.4. Действие магнита

В цемент погружают постоянный магнит. При наличии шлакопортландцемента к магниту притягивается значительное количество металлических частиц.

Результаты испытаний вносят в табл. 5 и сравнивают с данными табл. 1. Делают заключение о виде цемента.

2. Определение основных показателей качества минеральных вяжущих

2.1. Определение активности извести

Суммарное содержание в извести окиси кальция и магния, вступающих в реакцию гидратации, определяют титрованием прогидратированной в воде навески извести 1 Н раствором соляной кислоты. Окончание реакции нейтрализации фиксируют при помощи индикатора на щелочные ионы фенолфталеина по изменению (обесцвечиванию) малиновой окраски раствора. Для этого из пробы извести прошедшей через сито № 02 берут навеску в 1 г и помещают ее в коническую колбу емкостью 250 мл, наливают

150 мл дистиллированной воды, туда же вводят несколько стеклянных бус, закрывают воронкой и нагревают до температуры кипения. Затем раствор охлаждают до температуры 20 – 30°С, добавляют 2 – 3 капли 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина и титруют при постоянном взбалтывании раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Титрование считают законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор остается бесцветным.

Содержание активных CaO + MgO, A, в процентах рассчитывают по формуле:

$$A = \frac{V \cdot T}{m} \cdot 100, \qquad (1)$$

где V – объем раствора 1 Н соляной кислоты, пошедшей на титрование, мл;

T – титр 1 Н раствора соляной кислоты, г/мл;

m – масса навески извести, г.

2.2. Определение температуры и времени гашения извести

Скорость гашения извести определяется по температуре, времени гашения и является важной характеристикой ее качества. По этому показателю оценивают интенсивность процесса гидратации этого минерального воздушного вяжущего.

Для проведения испытания берут навеску извести m, г, рассчитанную по формуле:

$$m = \frac{1000}{A}, \qquad (2)$$

где A – содержание активных окисей кальция и магния в извести, %.

Навеску извести помещают в термосной стакан, заливают 25 мл воды, быстро перемешивают и закрывают пробкой со вставленным термометром. При этом ртутный шарик термометра должен быть полностью погружен в реагирующую смесь. Отсчет температуры ведут через каждую минуту, начиная с момента затворения извести водой до тех пор, пока в течение 4 мин, температура не повышается более чем на 1 °С. За время гашения принимают время с момента добавления воды до периода, когда рост температуры составляет не более 0,25 °С в минуту.

Проведя лабораторные испытания строительной извести, определяют ее качество в соответствии с требованиями ГОСТа (табл. 6) и рациональные области применения.

Таблица 6

Технические требования к строительной воздушной негашеной извести

Наименование показателя	Значения показателей извести					
	кальциевой			магнезиальной и доломитовой		
	сорт					
	I	II	III	I	II	III
Содержание активных, % не менее:						
без добавок	90	80	70	85	75	65
с добавками	65	55	–	60	50	–
Количество непогасившихся зерен, %, не более	7	11	14	10	15	20
Тонкость помола – остаток частиц на ситах с сеткой, %						
№ 02	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
№ 008	15	15	15	15	15	15
Время гашения, мин						
– быстрогасящаяся, не более	8	8	8	8	8	8
– среднегасящаяся, не более	25	25	25	25	25	25
– медленногасящаяся, более	25	25	25	25	25	25

2.3. Определение сроков схватывания строительного гипса

Сроки схватывания определяют на приборе Вика. Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое положение подвижной части.

Для определения сроков схватывания используют гипсовое тесто стандартной консистенции (нормальной густоты). Для этого в сферическую чашку заливают воду в количестве, соответствующим нормальной густоте при массе гипсового вяжущего 400 г. В воду засыпают гипс и перемешивают в течении 30 с.

Кольцо, предварительно протертое и смазанное минеральным маслом устанавливают на полированную пластинку и заполняют тестом нормальной густоты. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой встряхивают 4 – 5 раз. После этого излишки теста срезают линейкой и кольцо на пластинке ставят на основание прибора Вика.

Иглу устанавливают так, чтобы ее конец касался поверхности гипсового теста, затем ее свободно опускают в тесто. Погружение производят каждые 30 с, начиная с целого числа минут. После каждого погружения иглу тщательно протирают, а пластину вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другую точку поверхности теста.

Начало и конец схватывания определяют числом минут от момента добавления вяжущего к воде. Начало схватывания – игла после погружения в тесто не доходит до поверхности пластинки, а конец схватывания – игла погружается в тесто на глубину не более 1 мм.

По результатам испытания и данным табл. 7 определяют вид вяжущего в зависимости от сроков схватывания.

Таблица 7

Виды гипсовых вяжущих в зависимости от сроков схватывания

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин.	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	не нормируется

2.4. Определение марки строительного гипса

Марку строительного гипса определяют на стандартных образцах-балочках размером 40×40×160 мм, которые испытывают сначала на изгиб, а образовавшиеся половинки балочек – на сжатие.

Для изготовления трех образцов-балочек берут 1,0 кг гипса и количество воды, соответствующее нормальной густоте гипсового теста. Гипс высыпают в воду и перемешивают в течение 60 с. Образцы формуют в трехгнездных формах, смазанных предварительно минеральным маслом. Все три гнезда формы заполняют одновременно, для чего чашку с тестом равномерно продвигают над формой. Для удаления воздуха, вовлеченного при перемешивании, форму встряхивают 5 – 6 раз. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста срезают линейкой. Через 15 ± 5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении до начала испытаний.

Твердение гипсового теста с образованием кристаллической структуры, завершается по истечении 2 часов после начала перемешивания гипса с водой.

Предел прочности при изгибе определяют на приборе МИИ-100. При испытании образец устанавливают на опоры прибора так, чтобы его грани, расположенные при изготовлении горизонтально, находились в вертикальном положении.

Предел прочности при изгибе образцов-балочек вычисляют как среднее арифметическое результатов трех испытаний.

Полученные после испытаний на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. Образцы помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой гладкой поверхности образца. Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 5 до 30 с, средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть 10 ± 5 кгс/см^2 в секунду.

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, Н/мм^2, кгс/см^2, одного образца определяют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \qquad (3)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н, кгс;

F – рабочая площадь пластин, мм^2, см^2.

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

Полученные результаты заносят в табл. 4, сравнивают с техническими требованиями к строительному гипсу (табл. 8) и делают вывод о марке гипса по прочности.

Таблица 8

Технические требования к строительному гипсу

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 час, не менее, МПа, (кгс/см^2)	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2(20)	1,2(12)
Г-3	3(30)	1,8(18)
Г-4	4(40)	2,0(20)
Г-5	5(50)	2,5(25)
Г-6	6(60)	3,0(30)
Г-7	7(70)	3,5(35)
Г-10	10(100)	4,5(45)
Г-13	13(130)	5,5(55)
Г-16	16(160)	6,0(60)
Г-19	19(190)	6,5(65)
Г-22	22(220)	7,0(70)
Г-25	25(250)	8,0(80)

Таблица 9

Виды гипсовых вяжущих в зависимости от тонкости помола

Вид вяжущего	Индекс тонкости помола	Тонкость помола, остаток на сите 0,2 %
Грубого помола	I	не более 23
Среднего помола	II	до 14
Тонкого помола	III	до 2

Условное обозначение строительного гипса дает информацию о его основных свойствах. Например, Г-5АII обозначает гипсовое вяжущее с прочностью при сжатии 5 МПа (50 кгс/см^2) и при изгибе не менее 2,5 МПа, со сроками схватывания: начало – не ранее 2 мин, конец – не позднее 15 мин и остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм не более 14 %, т.е. вяжущее марки Г-5 быстротвердеющее, среднего помола.

На основании полученных данных записывают условное обозначение исследуемого строительного гипса, делают вывод о рациональной области применения полученной марки строительного гипса, используя табл. 10.

Таблица 10

Области применения гипсовых вяжущих

№ п/п	Области применения гипсовых вяжущих	Рекомендуемые марки и виды
1	Изготовление гипсовых строительных изделий всех видов	Г-2 ÷ Г-7 всех сроков твердения и степеней помола
2	Изготовление тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей	Г-2 ÷ Г-7 тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения
3	Производство штукатурных работ, заделка швов	Г-2 ÷ Г-25 нормального и медленного твердения
4	Изготовление форм и моделей в фарфорофаянсовой, керамической и др. отраслях промышленности, а также медицине	Г-5 ÷ Г-25 тонкого помола с нормальными сроками твердения

2.5. Определение активности цемента

Активность цемента – фактическая прочность на сжатие образцов из стандартного цементного раствора. По прочности на сжатие цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5, но сохраняется подразделение цементов по прочности на сжатие по маркам.

Для определения активности – марки цемента изготавливают стандартный цементно-песчаный раствор, из которого формуют образцы-балочки размером 4×4×16 см.

Стандартный раствор состоит из 1 части цемента и 3 частей песка (состав 1:3). Количество воды зависит от водопотребности цемента.

Водопотребность цемента – водоцементное отношение, при котором достигается нормированная подвижность стандартного цементного раствора.

Нормированную подвижность цементного раствора определяют по его расплыву на встряхивающем столике. Для этого в смесь песка – 1500 г и цемента – 500 г вливают 200 г воды и тщательно перемешивают до получения однородной массы. Полученную смесь укладывают в предварительно увлажненный конус, расположенный на стряхивающемся столике, двумя слоями равной толщины. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой: нижний 15, верхний 10 раз. Излишек раствора срезают ножом и форму медленно поднимают. Затем, вращая рукоятку маховика, встряхивают столик 30 раз в течение 30 с, при этом конус расплывется. С помощью стальной линейки расплыв конуса замеряют по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Нормированную подвижность раствора считают нормальной, если расплыв конуса оказался равным 106 – 115 мм.

Для определения активности цемента формуют 3 образца-балочки состава: цемента – 500 г, песка – 1500 г и воды согласно найденному водоцементному отношению. Готовый тщательно перемешанный раствор послойно укладывают в предварительно смазанную форму толщиной слоя 1 см, включают виброплощадку и в течение 2 мин равномерно заполняют 3 гнезда формы.

Условия твердения образцов следующие: первые сутки образцы выдерживают до распалубки в форме при влажности 95 – 98 % и температуре $20 \pm 2\ ^{o}C$, затем образцы извлекают из формы и хранят в воде при температуре $20 \pm 2\ ^{o}C$ до возраста 28 сут.

Для определения марки цемента образцы-балочки в возрасте 28 сут испытывают на изгиб (машина МИИ-100), а затем каждую из полученных половинок на сжатие, используя металлические стандартные пластинки, площадь которых равна 25 $см^2$.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ ($Н/мм^2$, $кгс/см^2$)

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \qquad (4)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н, кгс;

F – площадь пластинки, $мм^2$ ($см^2$).

Ориентировочно марку цемента можно определить в более ранний срок твердения, но не менее 7 суток, по логарифмической зависимости прочности раствора от времени его твердения

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \qquad (5)$$

где n – время твердения образцов (сут);

R_n – прочность образцов в этом возрасте.

Полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 10178 (табл. 10) и делают заключение о марке цемента.

Таблица 10

Марки и показатели прочности цементов

Вид цемента	Марка	Предел прочности в возрасте 28 суток, МПа	
		при изгибе	при сжатии
Портландцемент	400	5,5	40
	500	6,0	50
	550	6,2	55
	600	6,5	60
Шлакопортландцемент	300	4,5	30
	400	5,5	40
	500	6,0	50
Пуццолановый портландцемент	300	4,5	30
	400	5,5	40

На основании полученных данных делают вывод о качестве цемента. Обосновывают рациональные области его использования.

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Что значит выражение – содержание активных – 80 %?
2. Как Вы понимаете выражение – процесс гашения извести?
3. От чего зависит температура и время гашения?
4. Какое влияние оказывает тонкость помола извести на процесс ее твердения?
5. Какое влияние на скорость гашения оказывает содержание активных в извести?
6. Какое влияние на скорость гашения оказывает содержание воды в системе известь – вода?

7. Почему для получения гипсового теста необходимо воды гораздо больше, чем требуется для гидратации гипса?

8. Почему сроки схватывания являются важными характеристиками гипса?

9. Почему сроки схватывания и марку гипса определяют на тесте нормальной густоты?

10. Какое влияние оказывает содержание воды в гипсовом тесте на сроки схватывания и прочность гипсового камня?

11. Какой режим твердения используют при определении марки цемента?

12. Как Вы понимаете выражение – марка портландцемента 400, 500?

13. С какой целью при определении марки цемента предварительно определяют нормированную подвижность цементного раствора?

14. От чего зависит марка цемента?

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

2. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.

3. ГОСТ 22688-77. Известь строительная. Методы испытаний.

4. ГОСТ 23464-79. Цементы. Классификация.

5. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.

6. ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.

7. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

8. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

9. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Заполнители – основная составная часть бетона. Занимая 80 – 85 % его объема, они образуют жесткий скелет бетона, уменьшая его усадку и образование усадочных трещин. Качество заполнителей влияет на технические свойства тяжелого бетона: среднюю плотность, прочность, морозостойкость. В зависимости от размера зерен заполнители делят на мелкий (песок) и крупный (щебень и гравий).

Песок представляет собой рыхлую смесь зерен крупностью до 5 мм, образовавшуюся в результате разрушения горных пород, или полученную в результате дробления горных пород.

Щебень – рыхлая смесь зерен крупностью свыше 5 мм, полученный дроблением плотных горных пород, гравия и валунов.

Гравий – зернистый, сыпучий материал с округлыми зернами свыше 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– определения основных показателей качества песка и щебня;

– расчета основных показателей качества;

– работы с используемыми приборами, приспособлениями, оборудованием.

2. Умения:

– анализировать полученные экспериментальные данные;

– оценивать качество заполнителей и устанавливать возможность их использования для приготовления тяжелого бетона.

Используемые приборы и оборудование:

1. Технические весы.
2. Мерные емкости.
3. Сушильный шкаф.
4. Комплект сит.
5. Стальной цилиндр со съемным дном и плунжером.
6. Гидравлический пресс.

1. Определение пустотности заполнителей

Пустотностью заполнителя называют выраженное в процентах отношение объема межзерновых пустот ко всему объему, занимаемому заполнителем без его уплотнения. Это важная характеристика заполнителя, так как она влияет на расход цемента в бетоне. Пустотность зависит от формы зерен заполнителя и их размеров и составляет для песка 25 – 40 %, щебня и гравия 35 – 50 %.

Пустотность заполнителя V_n в % можно определить двумя методами:

1. На основании предварительно установленных характеристик заполнителя:

а) для щебня и гравия:

$$V_n = (1 - \frac{\rho_н}{\rho_{ср} \cdot 1000}) \cdot 100, \qquad (1)$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м^3;

$\rho_{ср}$ – средняя плотность зерен щебня (гравия), г/см^3.

б) для песка:

$$V_n = (1 - \frac{\rho_н}{\rho \cdot 1000}) \cdot 100, \qquad (2)$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность песка, кг/м^3;

ρ – истинная плотность песка, г/см^3.

2. Заполнитель засыпают в цилиндр (для щебня 2 л, песка 1 л) до верха и заливают водой. После 30 мин выдержки цилиндр накрывают ситом с диаметром отверстий 0,14 мм и опрокидывают для стекания воды. Цилиндр с водонасыщенным заполнителем взвешивают, не снимая с весов доливают водой до самого верха, и снова взвешивают. Пустотность заполнителя V_n, %:

$$V_n = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100, \qquad (3)$$

где m_1 – масса цилиндра с водонасыщенным заполнителем, кг;

m_2 – масса цилиндра с заполнителем и водой, кг;

V – объем цилиндра, л.

2. Определение зернового состава песка

Зерновой (гранулометрический) состав песка имеет большое значение для получения бетона заданной марки при минимальном расходе цемента. В бетоне песок служит для заполнения пустот между зернами крупного заполнителя, в то время как все пустоты между зернами песка должны быть заполнены цементным тестом. Для уменьшения расхода цементного теста следует применять пески с малой пустотностью и наименьшей суммарной поверхностью частиц. Крупный песок имеет небольшую поверхность зерен, но значительную пустотность. Мелкий же песок наоборот, обладает меньшей пустотностью, но очень большой суммарной поверхностью зерен. Поэтому лучшими являются средние пески, содержащие оптимальное количество крупных и мелких частиц.

Зерновой состав песка определяют его рассевом через набор стандартных сит. Пробу песка массой 2 кг высушивают и просеивают через сита с отверстиями 10 и 5 мм. Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке частиц гравия с крупностью зерен 5 – 10 мм в процентах по массе

$$Гр_{10} = \frac{M_{10}}{M} \cdot 100, \tag{4}$$

$$Гр_5 = \frac{M_5}{M} \cdot 100, \tag{5}$$

где M_{10}, M_5 – остатки на ситах с диаметрами 10 и 5 мм соответственно, г;

M – масса пробы, г.

Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску 1000 г, просеивают через набор сит с диаметрами отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16. Просеивание считают законченным, если при встряхивании каждого сита над листом бумаги не наблюдается падение зерен песка.

Остатки на каждом сите и поддоне взвешивают и вычисляют:

– частный остаток a_i, % на каждом сите и поддоне:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \tag{6}$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса пробы песка, г.

– полный остаток на каждом сите A_i в процентах:

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + ...a_i, \quad (7)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$ – частные остатки на ситах с большим диаметром отверстий (вышележащих);

a_i – частный остаток на данном сите.

– модуль крупности песка $M_к$:

$$M_к = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (8)$$

где $A_{2,5}, A_{1,25}, A_{0,63}, A_{0,315}, A_{0,16}$ – полные остатки на ситах.

Результаты определения зернового состава песка заносят в табл. 1, 2.

Таблица 1

Содержание в процентах по массе зерен крупностью		
Свыше 10 мм ($Гр_{10}$)	Свыше 5 мм ($Гр_5$)	Менее 0,16 мм (поддон)

Таблица 2

Наименование остатка	Размеры отверстий сит, мм				
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Остаток, г					
Частный остаток, %					
Полный остаток, %					

Пригодность песка для производства растворов и бетонов определяют по ГОСТ 8736-93.

В зависимости от зернового состава песок делят на группы и классы. Для определения класса песка полученные значения (см. табл. 1) сравнивают с данными табл. 3.

Группу песка определяют по модулю крупности по табл. 4, а также по табл. 5.

Таблица 3

Содержание зерен крупностью в процентах по массе, не более			Класс и группа песка
Св. 10 мм	Св. 5 мм	Менее 0,16 мм	
0,5	5	5	I класс Повышенной крупности, крупный и средний
0,5	5	10	Мелкий
5	20	10	II класс Очень крупный и повышенной крупности
5	15	15	Крупный и средний
0,5	10	20	Мелкий и очень мелкий
Не допускается	Не допускается	Не допускается	Тонкий и очень тонкий

Таблица 4

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

Таблица 5

Группа песка	Полный остаток на сите № 063
Очень крупный	Св. 75
Повышенной крупности	Св. 65 до 75
Крупный	Св. 45 – 65
Средний	Св. 30 – 45
Мелкий	Св. 10 – 30
Очень мелкий	До 10
Тонкий	Не нормируется
Очень тонкий	Не нормируется

Примечание. По согласованию предприятия–изготовителя с потребителем в песке кл. II допускается отклонение полного состава на сите № 063 от вышеуказанных, но не более чем ± 5%.

3. Определение в песке содержания пылевидных и глинистых частиц

Содержание в песке пылевидных частиц увеличивает водопотребность бетонной смеси, глинистые частицы снижают прочность сцепления заполнителя с цементным камнем.

Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по изменению массы песка после отмучивания частиц крупностью до 0,05 мм.

Песок массой 1,5 кг просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм, высушивают и берут навеску массой 1000 г. Навеску помещают в цилиндрический сосуд, заливают водой до высоты слоя 30 мм, энергично перемешивают и оставляют в покое на 2 мин. Полученную при промывке суспензию сливают. Промывку песка в той же последовательности проводят до тех пор, пока вода не будет прозрачной. После отмучивания навеску высушивают до постоянной массы m_1.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц $П_{отм}$ в процентах по массе

$$П_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \qquad (9)$$

где m – масса высушенной навески до отмучивания, г;

m_1 – масса высушенной навески после отмучивания, г.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц не должно превышать значений указанных в табл. 6.

Таблица 6

Класс и группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	
	в песке природном	в песке из отсевов дробления
I класс		
Очень крупный	–	3
Повышенной крупности, крупный и средний	2	3
Мелкий	3	5
II класс		
Очень крупный		10
Повышенной крупности, крупный и средний	– 3	10
Мелкий и очень мелкий	5	10
Тонкий и очень тонкий	10	не нормируется

Проведя сравнительный анализ полученных характеристик песка со стандартными требованиями, делают вывод о его соответствии требованиям стандарта и пригодности для изготовления бетона.

4. Определение зернового состава щебня

Зерновой состав крупного заполнителя (щебня или гравия) в значительной степени влияет на качество бетона. При подборе зернового состава крупного заполнителя необходимо исходить из основного требования: получить наименьший объем пустот в заполнителе, а, следовательно, наименьший расход цемента в бетоне заданной марки.

В зависимости от размера зерен, щебень выпускают следующих фракций: от 5 до 10 мм; свыше 10 до 20 мм; свыше 20 до 40 мм; свыше 40 до 70 мм и смеси фракций от 5 до 20 мм.

Начальное и конечное значения в обозначении фракций принимают за d и Д – наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен щебня или гравия.

Для определение зернового состава щебня отбирают пробу, масса которой зависит от наибольшего номинального размера зерен Д, мм (табл. 7).

Таблица 7

Наибольший номинальный размер зерен Д, мм	Масса пробы, кг
10	5,0
20	10,0
40	20,0
Свыше 40	40,0

Пробу просеивают ручным способом через сита с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен: 1,25Д; Д; 0,5(Д + d); d, а также 2,5 и 1,25 мм. Так для смеси фракций заполнителя от 5 до 20 мм необходимо рассеять пробу через набор сит с диаметрами отверстий: 1,25×20; 20; 0,5(20 + 5); 5; 2,5; 1,25 мм, т.е. 25; 20; 12,5; 5; 2,5; 1,25 мм.

При определении зернового состава нефракционированного заполнителя рассев производят с применением полного набора стандартных сит с отверстиями 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70 мм.

После просеивания щебня остатки на каждом сите взвешивают и определяют частные остатки a_i в процентах по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \qquad (10)$$

где m_i – масса остатка на каждом сите, г;

m – масса пробы, г.

По найденным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки на каждом сите A_i, равные сумме частных остатков на ситах с большими размерами отверстий и частному остатку на данном сите. Полученные данные заносят в табл. 8.

Таблица 8

Наименование остатка	Диаметры отверстий контрольных сит, мм					
	d	0,5(d + Д)	Д	1,25Д	2,5	1,25
Частный, г						
Частный, %						
Полный, %						

Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня должны соответствовать указанным в табл. 9.

Таблица 9

Диаметры отверстий контрольных сит, мм	d	0,5(d + Д)	Д	1,25Д	2,5 + 1,25
Полные остатки на ситах, % по массе	от 90 до 100	от 30 до80	до 10	до 0,5	от 95 до 100

По данным табл. 8, 9 делают вывод о соответствии щебня (гравия) стандартным требованиям по зерновому составу и его пригодности для изготовления бетона.

Для проведения дальнейших испытаний по определению дробимости щебня и содержания пластинчатых и игловатых частиц необходимо использовать остатки на ситах, полученные при определении зернового состава.

5. Определение содержания в щебне пластинчатых и игловатых зерен

Пластинчатыми и игловатыми считают зерна, толщина которых менее длины в три раза и более.

Содержание игловатых и пластинчатых зерен в заполнителе значительно повышает его пустотность, ухудшает удобоукладываемость бетонной смеси и снижает прочность бетона.

Для определения содержания в крупном заполнителе пластинчатых и игловатых зерен от каждой фракции (остаток на сите) испытуемого щебня берут пробы массой, кг, не менее:

– 0,25 для щебня размером фракции, мм от 5 до 10;

– 1,0 для щебня размером фракции, мм свыше 10 – 20;

– 5,0 для щебня размером фракции, мм свыше 20 – 40;

Например, при испытании смеси фракций от 5 до 20 мм, отбирают 0,25 кг щебня от остатка на сите диаметром 5 мм (фракция от 5 до 10), а также 1 кг от остатка на сите с диаметром 10 мм (фракция свыше 10 – 20). Проба с сита, где частный остаток не превышает 5 % (см. табл. 8) не берется.

Навески от каждой фракции рассыпают на листе бумаги, визуально выбирают зерна пластинчатой и игловатой формы и взвешивают.

Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы для каждой фракции $П_i$, в процентах определяют по формуле:

$$П_i = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \qquad (11)$$

где m – масса пробы, г;

m_1 – масса зерен пластинчатой и игловатой формы для данной пробы, г.

Определяют средний показатель содержания пластинчатых и игловатых зерен П, %, по формуле:

$$П = \frac{П_1 \cdot a_1 + П_2 \cdot a_2 + ... + П_i \cdot a_i}{a_1 + a_2 + ... + a_i}, \qquad (12)$$

где $П_1$, $П_2$, …, $П_i$ – содержание пластинчатых и игловатых зерен в каждой фракции;

a_1, a_2, ..., a_i – частные остатки на ситах (процентное содержание фракций в заполнителе).

Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на четыре группы (табл. 10).

Таблица 10

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, в %, по массе
1	До 15 включ.
2	Свыше 15 до 25
3	Свыше 25 до 35
4	Свыше 35 до 50

Щебень для бетонов не должен содержать зерен пластинчатой и игловатой формы более 35 % по массе.

По данным табл. 10 и результатам испытаний определяют группу щебня по содержанию пластинчатых и игловатых зерен.

6. Определение дробимости щебня

Прочность щебня оценивают маркой, определяемой по дробимости. Для определения дробимости от каждой фракции (от 5 до 10, свыше 10 до 20; свыше 20 до 40) необходимо взять навеску 0,5 кг. Щебень каждой фракции высыпают в цилиндр со съемным дном, так чтобы после разравнивания верхний уровень материала не доходил до верхнего края цилиндра примерно на 15 мм. Затем в цилиндр вставляют плунжер, так чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Устанавливают цилиндр на нижнюю плитку гидравлического пресса и сжимают щебень с максимальной силой нажатия 5000 кгс.

После сжатия испытываемую пробу высыпают в цилиндр и взвешивают. Затем просеивают ее через сито, размер которого зависит от размера испытываемой фракции (табл. 11).

Таблица 11

Размер фракции щебня	От 5 до 10	Свыше 10 до 20	Свыше 20 до 40
Размер отверстия сита, мм	1,25	2,5	5

Остаток щебня на сите после просеивания взвешивают и определяют показатель дробимости $Др_i$ %, для каждой фракции с точностью до 1 % по формуле:

$$Др_i = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \qquad (13)$$

где m – масса пробы щебня, г;

m_1 – масса остатка на сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня, г.

Для определения дробимости смеси фракций определяют средневзвешенное значение дробимости в соответствии со значениями, полученными для каждой фракции по формуле

$$Др = \frac{Др_{5-10} \cdot a_{5-10} + Др_{10-20} \cdot a_{10-20} + Др_{20-40} \cdot a_{20-40}}{a_{5-10} + a_{10-20} + a_{20-40}}, \qquad (14)$$

где $Др_{5-10} \ldots Др_{20-40}$ – показатель дробимости для отдельных фракций щебня, %;

$a_{5-10} \ldots a_{20-40}$ – частные остатки на ситах 5 … 20, %.

По показателю дробимости щебня определяют по табл. 12, 13 марку по дробимости.

Таблица 12

Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород	Потеря массы при испытании щебня, %, в сухом состоянии
1200	до 11 включ.
1000	св.11 до 13
800	св. 13 до 15
600	св. 15 до 19
400	св. 19 до 24
300	св. 24 до 28
200	св. 28 до 35

Таблица 13

Марка по дробимости щебня из изверженных пород	Потеря массы при испытании щебня, %, из интрузивных пород
1400	до 12 включ.
1200	св. 12 до 16
1000	св. 16 до 20
800	св. 20 до 25
600	св. 25 до 34

При проектировании бетона определенной марки необходимо, чтобы прочность заполнителя составляла не менее 1,5 предела прочности бетона для марок 300 и ниже, и в 2 раза превышала прочность для высокомарочных бетонов.

Определить для какой максимальной марки бетона можно использовать исследуемый заполнитель.

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какие экспериментальные данные нужно иметь для оценки пригодности песка для бетона.
2. По каким показателям оценивают качество щебня.
3. Как установить модуль крупности песка? С какой целью его определяют?
4. Как определить марку крупного заполнителя по прочности. С какой целью его определяют?
5. Как влияет прочность заполнителя на прочность бетона.
6. Как содержание игловатых и пластинчатых частиц в щебне влияет на качество бетонной смеси и бетона.

7. Ваши предложения по улучшению качества заполнителя при:

а) наличии в песке значительного количества примесей;

б) наличии большого содержания в щебне зерен пластинчатой и игловатой формы;

в) присутствии в заполнителе большого количества крупных или очень мелких зерен;

г) высокой влажности заполнителей.

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

2. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.

3. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.

4. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА

Свойства бетонной смеси и бетона можно целенаправленно регулировать путем применения добавок, которые по своей природе могут быть органическими и неорганическими.

В зависимости от назначения и ожидаемого эффекта действия добавки классифицируют следующим образом (СТБ 1112):

1) регулирующие свойства бетонной смеси. К ним относятся пластифицирующие, повышающие однородность и обеспечивающие стабильность свойств бетонной смеси, а также повышающие содержание в ней воздуха или газа (поризующие);

2) регулирующие твердение бетона: ускоряющие или замедляющие процесс гидратации, а также добавки, обеспечивающие твердение на морозе (противоморозные);

3) регулирующие свойства бетона: водонепроницаемость, водопоглощение, морозостойкость, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре (ингибиторы коррозии стали).

По своему составу добавки подразделяют на однокомпонентные – ОД и комплексные – ДК. Добавки поступают на строительные площадки и заводы по производству железобетонных изделий в разных агрегатных состояниях: жидкие (Ж), пастообразные (П), твердые (Т). Поэтому их количество назначают в процентах от расхода минерального вяжущего в пересчете на сухое вещество добавки.

Из добавок первого класса наиболее широкое применение нашли пластифицирующие (гидрофильные) добавки в количестве от 0,3 до 1,2 % от массы цемента (СДБ, СПС, С-3 и др.). Их применяют для облегчения транспортировки бетонной смеси, укладки ее в форму и уплотнения.

По создаваемому пластифицирующему эффекту с учетом заданной прочности бетона и изменения подвижности бетонной смеси, добавки этого класса подразделяют на группы:

I группа (суперпластификаторы) – увеличение подвижности с П 1 до П 5 без снижения класса бетона;

II группа (сильнопластифицирующие) – увеличение подвижности с П 1 до П 4 со снижением класса бетона до 5 %;

III группа (среднепластифицирующие) – увеличение подвижности с П 1 до П 3 со снижением класса бетона до 10 %;

IV группа (слабопластифицирующие) – увеличение подвижности с П 1 до П 2 со снижением класса бетона до 10 %.

Удобоукладываемость бетонной смеси оценивают по трем показателям: подвижности, измеряемой в сантиметрах по величине осадки (ОК) отформованного из бетонной смеси усеченного конуса; расплыву конуса, измеряемого в сантиметрах по величине расплыва (РК) отформованного из бетонной смеси усеченного конуса; жесткости (Ж), характеризующейся временем вибрации в секундах, за которое отформованный конус бетонной смеси в металлической форме осядет и образует горизонтальную поверхность.

Группы и марки бетонной смеси по удобоукладываемости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Марки бетонной смеси по удобоукладываемости (СТБ 1035)

Группа по удобоукладываемости	Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю:		
		жесткости, с	подвижности (осадка конуса), см	расплыва конуса, см
Сверхжесткие	СЖ3	более 100	–	–
	СЖ2	51 – 100	–	–
	СЖ1	41 – 50	–	–
Жесткие смеси	Ж4	31 – 40	–	–
	Ж3	21 – 30	–	–
	Ж2	11 – 20	–	–
	Ж1	5 – 10	–	–
Низкопластичные смеси	П1	4 и менее	1 – 4	–
	П2	–	5 – 9	–
Пластичные смеси	П3	–	10 – 15	–
	П4	–	16 – 20	–
Литые смеси	П5, РК-1	–	21 и более	до 34
	РК-2	–	–	35 – 41
	РК-3	–	–	42 – 48
	РК-4	–	–	49 – 55
	РК-5	–	–	56 – 62
	РК-6	–	–	более 62

Бетонная смесь на строительную площадку может подаваться как в готовом, пластичном состоянии (Г), так и в виде сухой смеси подобранных компонентов (С).

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– расчета расхода составляющих бетонной смеси по номинальному составу бетона по массе;

– определения показателей качества бетонной смеси и бетона;

– определения группы пластифицирующей добавки.

2. Умения:

– анализировать влияние пластифицирующей добавки на свойства бетонной смеси и бетона;

Результаты испытаний бетонной смеси и бетона занести в табл. 2.

Таблица 2.

№ состава	Вид и кол-во добавки, % от Ц	Средняя плотность, кг/м^3		Удобоукладываемость		Прочность на осевое сжатие в возрасте 28 суток, МПа	Класс бетона, МПа
		бетонной смеси	бетона	подвижность, см	жесткость, с		
1	2	3	4	5	6	7	8

Используемые приборы и оборудование:

1. Весы лабораторные.
2. Мерные стеклянные цилиндры.
3. Металлический цилиндр емкостью 1 л.
4. Металлический противень для приготовления бетонной смеси.
5. Металлическая штыковка Ø16 мм, длиной 600 мм.
6. Металлическая форма – куб размером 200×200×200 мм.
7. Металлическая форма – куб трехгнездовая размером 100×100 × ×100 мм – 4 шт.
8. Стандартная металлическая форма – конус.
9. Стальная линейка длиной 400 мм.
10. Лабораторная виброплощадка.
11. Секундомер.
12. Камера естественного режима твердения: температура 18 – 20 $^\circ$C, влажность 95 – 98 %.
13. Гидравлический пресс.

1. Расчет расхода составляющих бетонной смеси

Расход составляющих бетонной смеси рассчитывают на объем 1 м^3 и пересчитывают на лабораторный замес – 7 л (0,007 м^3) без добавки – 1-й состав (эталон) и с добавкой пластификатора – 2-й состав, из условий:

– номинальный состав по массе Ц:П:Щ = 1:2:3, В/Ц = 0,55;

– расход цемента 350 кг на 1 м^3 бетонной смеси;

– крупный заполнитель – щебень плотных горных пород марки по прочности не ниже 1000,фракции 10 – 20;

– мелкий заполнитель – кварцевый песок средней крупности;

– добавка (Д) представляет водный раствор, с содержанием сухого вещества *т* в 100 мл раствора. Количество добавки принимают от 0,6 до 1,2 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество, в зависимости от уровня ее эффективности.

Расход составляющих бетонной смеси песка (*П*), щебня (*Щ*), воды (*В*) на объем 1 м^3 в кг рассчитывают по формулам:

$$П = Ц \cdot 2;\ \ Щ = Ц \cdot 3;\quad B = Ц \cdot 0{,}55\ , \tag{1}$$

где *Ц* – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг.

Количество добавки ($Д_1$) г, в пересчете на сухое вещество рассчитывают по формуле:

$$Д_1 = \frac{Ц \cdot (0{,}6 \div 1{,}2)}{100}, \tag{2}$$

где *Ц* – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг;

$(0{,}6 \div 1{,}2)$ – количество добавки от массы цемента в пересчете на сухое вещество.

Количество раствора добавки ($Д_2$) мл, определяют по формуле:

$$Д_2 = \frac{Д_1 \cdot 100}{m}, \tag{3}$$

где *т* – содержание сухого вещества добавки в 100 мл раствора, г.

Раствор добавки содержит в своем составе воду в количестве

$$B_1 = (Д_2 - Д_1),$$

следовательно для сохранения заданного В/Ц необходимо откорректировать количество воды затворения ($В_2$) л для состава с добавкой

$$B_2 = B\ - B_1$$

Рассчитанные составы бетонных смесей на объемы 1 м^3 и 0,007 м^3 (7 л) без добавки и с добавкой пластификатора заносятся в табл. 3.

Таблица 3

Составы бетонной смеси

Объем бетонной смеси, м^3	Номер состава	Расход компонентов				
		цемент, кг	песок, кг	щебень, кг	вода, л	добавка, мл
1	1 (эталон)					–
	2					
0,007	1 (эталон)					
	2					

2. Определение средней плотности бетонной смеси

Бетонную смесь двух составов приготавливают в следующей последовательности: взвешенные рассчитанные количества песка, щебня, цемента помещают на предварительно увлажненный противень и перемешивают в течение двух минут до получения однородной массы. Затем полученную смесь затворяют водой (1 состав) или водой с раствором добавки (2 состав) и тщательно перемешивают три минуты.

По стандартной методике определяют плотность бетонной смеси (СТБ 1545). Для этого предварительно взвешенный мерный цилиндр объемом 1 л заполняют бетонной смесью и вибрируют до появления цементного молока. Поверхность заглаживают вровень с краями, цилиндр с бетонной смесью взвешивают. Среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{см}$, кг/м^3, рассчитывают по формуле:

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V} \quad , \tag{5}$$

где m – масса мерного цилиндра с бетонной смесью, г;

m_1 – масса мерного цилиндра без смеси, г;

V – объем мерного сосуда, дм^3.

3. Определение показателей удобоукладываемости бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси (СТБ 1035) определяют по жесткости, подвижности или расплыву конуса. Подвижность и расплыв конуса являются статическими характеристиками, так как оседание и расплыв отформованного из бетонной смеси конуса происходит под действием собст-

венной массы. Жесткость – динамическая характеристика, в связи с тем, что расплыв смеси обусловлен механическими колебаниями составляющих компонентов под действием вибрации. Определение удобоукладываемости начинают через 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

а) Подвижность бетонной смеси – ОК.

Увлажненную изнутри металлическую форму в виде усеченного конуса, высотой 300 мм, верхним и нижним диаметром 10 и 20 см соответственно заполняют в три приема бетонной смесью, примерно равными объемами. Каждый слой уплотняют 25 кратным штыкованием металлической штыковкой. После уплотнения бетонной смеси ее поверхность выравнивают кельмой, конус поднимают вертикально вверх и устанавливают рядом с бетонным. Осадку смеси по отношению к верху конуса замеряют с точностью до 0,5 см.

б) Расплыв конуса – РК.

Усеченный конус, высотой 300 мм, верхним и нижним диаметром 10 и 20 см соответственно заполняют бетонной смесью. Затем конус поднимают вертикально вверх и замеряют диаметр расплыва бетонной смеси с помощью линейки по двум взаимоперпендикулярным плоскостям с точностью до 0,5 см.

в) Жесткость бетонной смеси – Ж.

Этот показатель определяют по методу Скрамтаева. Металлическую форму размером 200×200×200 мм со вставленным внутрь усеченным конусом устанавливают на виброплощадку. Заполняют конус бетонной смесью как в предыдущем опыте. Конус снимают, включают виброплощадку и секундомер. Вибрирование проводят до заполнения бетонной смесью углов формы и образования ее горизонтальной поверхности. Время вибрирования в секундах служит показателем жесткости бетонной смеси.

4. Определение плотности и класса бетона

Из бетонной смеси каждого состава формуют по 6 образцов размером 100×100×100 мм. Через двадцать восемь суток твердения в естественных условиях (t = 18 ± 2 ºС, W = 95 – 98 %) определяют по трем образцам плотность и класс бетона.

Плотность бетона определяют по (ГОСТ 12730.1). Измеряют размеры образцов с погрешностью до 1 мм. Массу образцов определяют с по-

грешностью не более 0,1 %. Среднюю плотность бетона $\rho_{ср}$ в кг/м^3 рассчитывают по формуле:

$$\rho_{ср} = \frac{m \cdot 1000}{V}, \quad (6)$$

где m – масса образца в г;

V – объем образца в см^3.

Определяют среднее арифметическое значение плотности по трем результатам.

Механические свойства бетона оценивают значением прочности на осевое сжатие в проектном возрасте – классом бетона. Класс бетона обозначают $C^{f_{ск}}/_{f^G_{c,cube}}$, Н/мм^2, МПа, где f_{ck} – нормативное сопротивление бетона осевому сжатию призм или цилиндров при обеспечении 0,95, f_{ck} допускается принимать $0{,}8\, f^G_{c,cube}$; $f^G_{c,cube}$ – гарантированная производителем прочность на осевое сжатие кубов 150×150×150 мм в проектном возрасте.

Приняты следующие классы конструкционных бетонов:

– тяжелые с $C^8/_{10}$ с до $C^{100}/_{115}$;

– мелкозернистые $C^8/_{10}$ до $C^{35}/_{45}$.

Для определения класса бетона находят $f^G_{c,cube}$.

На образцах-кубах выбирают опорные грани, так чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в форме. Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1 %. Устанавливают образец на нижнюю плиту гидравлического пресса и нагружают до его полного разрушения.

Гарантированную прочность бетона на осевое сжатие $f^G_{c,\,cube}$, Н/мм^2, кгс/см^2 рассчитывают по формуле:

$$f^G_{c,\,cube} = \alpha \frac{F}{A}, \quad (7)$$

где α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базового размера и формы, α=0,95;

F – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

A – площадь образца, мм^2 (см^2).

Определяют среднеарифметическое значение трех экспериментально полученных результатов R, имеющих допустимые отклонения от среднего показателя (не более 10 %). Прочность бетона на осевое сжатие используют при расчете состава бетона. Нормативное сопротивление бетона $f_{ск}$, Н/мм^2, МПа определяют по зависимости:

$$f_{ск} = 0{,}8\, f^G_{c,\,cube}, \quad (8)$$

По полученным значениям $f_{ск}$ и $f^G_{c,\,cube}$ определяют класс бетона (табл. 4).

Таблица 4

Прочностные характеристики тяжелых и мелкозернистых бетонов

Прочностные характеристики	Класс бетона							
	$C^{8}/_{10}$	$C^{12}/_{15}$	$C^{16}/_{20}$	$C^{20}/_{25}$	$C^{25}/_{30}$	$C^{30}/_{37}$	$C^{35}/_{45}$	$C^{40}/_{50}$
f_{ck}, МПа	8	12	16	20	25	30	35	40
$f^{G}_{c,cube}$, МПа	10	15	20	25	30	37	45	50

Прочностные характеристики	Класс бетона							
	$C^{45}/_{55}$	$C^{50}/_{60}$	$C^{55}/_{67}$	$C^{60}/_{75}$	$C^{70}/_{85}$	$C^{80}/_{95}$	$C^{90}/_{105}$	$C^{100}/_{115}$
f_{ck}, МПа	45	50	55	60	70	80	90	100
$f^{G}_{c,cube}$, МПа	55	60	67	75	85	95	105	115

Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. От каких факторов зависит удобоукладываемость бетонной смеси?
2. Каким образом можно повысить удобоукладываемость бетонной смеси?
3. Классификация пластифицирующих добавок по вызываемому эффекту. Группа добавки, используемой в работе.
4. Как рассчитать расход раствора добавки на 1 м^3 бетонной смеси?
5. Механизм действия пластифицирующей добавки на цементные композиции: бетонные смеси, бетоны.
6. С какой целью добавку вводят в бетонную смесь при условии постоянного водоцементного отношения?
7. От чего зависит плотность бетонной смеси?
8. По каким показателям определяют марку и группу бетонной смеси по удобоукладываемости?
9. Какие показатели вводят в условное обозначение бетонной смеси. Приведите примеры.
10. Каков класс испытанного вами бетона? Рациональная область его использования.

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. СТБ 1035-96. Смеси бетонные. Технические условия.
2. СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава.
3. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
4. СТБ 1545-2005. Смеси бетонные. Методы испытаний.
5. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Метод определения плотности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ВЛИЯНИЕ ВИДА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЛЕГКОГО БЕТОНА

Бетон плотностью менее 2000 кг/м^3 называют легким бетоном. Этот вид конструкционного материала можно получить за счет:

– применения легкого крупного и (или) мелкого заполнителя, плотностью менее 1100 и 1200 соответственно (бетон легкий, плотный);

– поризации межзернового пространства путем введения газо- и пенообразующих добавок с общим объемом пор более 7 % (поризованный бетон);

– отсутствия мелкого заполнителя и минимального, ограниченного расхода минерального вяжущего (крупнопористый бетон);

– поризации состава по всему объему с содержанием пор до 85 %, при условии отсутствия крупного заполнителя.

В зависимости от применяемого пористого заполнителя бетон получает название керамзитобетон, аглопоритобетон и т.д.

В качестве минеральных вяжущих при получении бетонов низкой плотности используют цементные, известковые, шлаковые, гипсовые. В зависимости от применяемого вяжущего выбирают режим твердения: естественные условия, термовлажностная обработка при атмосферном или повышенном давлении.

При использовании известково-кремнеземистого вяжущего бетоны твердеют в автоклавах и их называют силикатными (пеносиликат, газосиликат). По назначению легкие бетоны подразделяют на конструкционные (плотность от 1400 до 2000 кг/м^3, прочность на сжатие от 15 до 50 МПа), конструкционно-теплоизоляционные (плотность от 600 до 1400 кг/м^3, прочность на сжатие от 2,5 до 15 МПа) и теплоизоляционные (плотность менее 600 кг/м^3, прочность на сжатие менее 2,5 МПа).

Цель работы:

Студент должен приобрести

1. Навыки:

– изготовления легких бетонных смесей;

– определения показателей качества легких бетонов.

2. Умения:

– анализировать влияние легких заполнителей на свойства бетона;

– оценивать по определенным показателям вид и назначение легких бетонов.

Результаты испытаний бетонов занести в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

№ состава	Вид легкого заполнителя	Насыпная плотность заполнителей, кг/м^3	Плотность бетона, кг/м^3		Общая пористость бетона, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	Предел прочности на сжатие, кгс/см^2	Вид бетона по назначению
			истинная	средняя				
1	Опилки		2000					
2	Пенополистирол		1500					
3	Керамзит		2400					

Используемые приборы и оборудование:

1. Весы лабораторные.
2. Мерные стеклянные цилиндры.
3. Металлический противень для приготовления бетонной смеси.
4. Металлическая форма-куб трехгнездовая с размером гнезда 100×100×100 мм – 3 шт.
5. Лабораторная виброплощадка.
6. Камера естественного режима твердения: температура 18 – 20 $^\circ$C, влажность 95 – 98 %.
7. Гидравлический пресс.

1. Определение насыпной плотности заполнителей

Для определения насыпной плотности используемых в работе заполнителей: керамзита, древесных опилок и гранулированного пенополистирола вначале взвешивают пустую мерную емкость объемом 2 л, затем с высоты 10 см ее наполняют одним из заполнителей. Излишек срезают стальной линейкой вровень с краями и взвешивают.

Насыпную плотность $\rho_н$ рассчитывают по формуле:

$$\rho_н = \frac{m - m_1}{V}, \qquad (1)$$

где m_1 – масса мерного цилиндра с материалом, кг(г);

m_2 – масса пустого цилиндра, кг (г);

V – объем цилиндра, м^3 (л)

Полученные результаты занести в табл. 1.

При получении конструкций из опилкобетона хвойные опилки предварительно обрабатывают антисептиками и антипиренами.

2. Приготовление бетонной смеси

Составы бетонной смеси приведены в табл. 2.

Таблица 2

Составы бетонной смеси

№ состава	Расход компонентов на 4 л бетонной смеси, кг/л						
	цемент, кг	песок, кг	вода, кг	известь, кг	керамзит, фр. 5 – 20, л	опилки, л	пенополистирол, л
1	0,8	2,0	подобрать	0,2	–	3,2	–
2	0,72	–	0,3	–	–	–	4
3	0,8	3,7	0,8	–	3,6	–	–

При изготовлении опилкобетонной смеси (состав 1) вначале перемешивают опилки и цемент с песком до получения однородной массы, в которую постепенно добавляют воду малыми порциями, каждый раз тщательно перемешивая смесь до тех пор, пока она не наберет оптимальную пластичность. Ее устанавливают путем сжатия в кулак. Смесь должна образовать не рассыпающийся комок с вмятинами от пальцев.

При получении полистиролбетонной смеси (состав 2) вначале смешивают цемент с расчетным количеством воды, затем в полученное цементное тесто вводят порционно при постоянном перемешивании пенополистирол.

Легкобетонную смесь на керамзите получают путем тщательного перемешивания сухих компонентов с последующим затворением их водой и образования однородной пластичной смеси.

Для ускорения набора прочности бетон состава 2, 3 твердеет в пропарочной камере по режиму, зависящему от вида применяемого цемента, представленному в табл. 3.

Таблица 3

Режим температурно-влажностной обработки

Вид цемента	Температура экзотермии, °С	Режим ТВО (ч)			
		выдержка	подъем температуры	изотермия	охлаждение, не менее
Портландцемент	75 – 80	2	3	6	2
Шлакопортландцемент	90 – 95	3	5	8	2

Опилкобетон твердеет в условиях горячей сушки при температуре 50 °С в течение трех суток. Поверхность образцов составов 1 – 3 должна быть изолирована пленочным материалом.

3. Определение свойств легкого бетона

Для каждого состава бетона определить среднюю плотность, рассчитать коэффициент теплопроводности, общую пористость и предел прочности на сжатие.

Среднюю плотность $\rho_{ср}$ кг/м^3 рассчитать по формуле:

$$\rho_{ср} = \frac{m}{V}, \tag{2}$$

где m – масса изделия в естественном состоянии, кг;

V – объем изделия, м^3.

Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·°С рассчитать по формуле:

$$\lambda = 1{,}16\sqrt{0{,}0196 - 0{,}22\rho^2_{ср}} - 0{,}16, \tag{3}$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность бетона, г/см^3

Общую пористость $П_п$, в % рассчитать по формуле:

$$П_п = (1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho}) \cdot 100, \tag{4}$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность бетона, кг/м^3;

ρ – истинная плотность бетона, кг/м^3 табл. 1.

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, Н/мм^2, кгс/см^2 рассчитать по формуле:

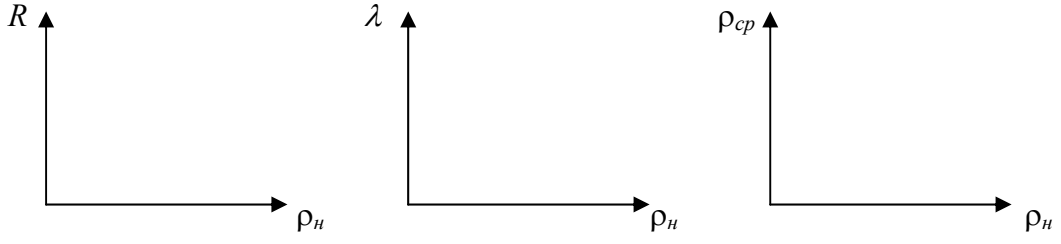
$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \tag{5}$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс);

F – площадь образца, мм^2 (см^2).

Полученные результаты занести в табл. 1.

На основании полученных результатов делают выводы по работе и строят графики зависимости: прочности бетона – насыпная плотность заполнителя, насыпная плотность заполнителя – средней плотности бетона.



Вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Охарактеризуйте заполнители, применяемые в работе (состав, структура).
2. От чего зависит прочность легкого бетона?
3. Как рассчитать коэффициент теплопроводности бетона?
4. К какому классу по назначению относятся исследуемые бетоны?
5. На примере экспериментальных данных покажите, как насыпная плотность заполнителя влияет на прочность бетона?
6. На примере экспериментальных данных покажите, как насыпная плотность заполнителей влияет на коэффициент теплопроводности бетона?
7. Какое влияние на свойства бетонной смеси и процесс твердения бетона оказывает пористый заполнитель?
8. Какое влияние оказывает пористый заполнитель на величину и свойства контактного слоя в бетоне?
9. Технология получения заполнителей, используемых в работе.
10. На основании, каких данных выбирают режим твердения бетонов?
11. Обосновать особенность приготовления полистиролбетонной смеси.
12. Почему для получения опилкобетона применяют отходы определенного вида древесины, с какой целью проводят их обработку?
13. Определите рациональную область использования каждого из исследуемых составов бетона.

Перечень стандартов, используемых при выполнении лабораторной работы

1. ГОСТ 9758-86. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
2. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
3. ГОСТ 25820-83. Бетоны легкие. Технические условия.
4. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности.

ВОПРОСЫ КОЛЛОКВИУМОВ

КОЛЛОКВИУМ № 1
Основные свойства строительных материалов. Органические материалы и изделия

1. Структурные части зданий.
2. Контроль качества строительных материалов.
3. Общая классификация строительных материалов.
4. Состав и структура материалов.
5. Показатели структуры, их влияние на свойства строительных материалов.
6. Какими положительными свойствами должны обладать материалы для устройства фундаментов и кровель?
7. Какими положительными свойствами должны обладать материалы для устройства печей и дымовых труб?
8. Какими положительными свойствами должны обладать материалы для возведения стен зданий и сооружений?
9. Какими положительными свойствами должны обладать материалы для устройства полов химических предприятий?
10. Какими положительными свойствами должны обладать материалы для устройства полов в жилых помещениях?
11. По каким архитектурно-художественным свойствам оценивают строительные материалы и изделия?
12. Структура и пороки древесины.
13. Влияние влажности древесины на ее свойства.
14. Отрицательные и положительные свойства древесины.
15. Способы улучшения древесины.
16. Конструкционные материалы на основе древесины.
17. Теплоизоляционные и акустические материалы на основе древесины.
18. Отделочные материалы на основе древесины.
19. Чем определяются эстетические характеристики древесных материалов?
20. Способы формовки материалов из пластмасс.
21. Основные свойства полимеров.
22. Отрицательные свойства полимеров.

23. Конструкционные материалы на основе полимеров.

24. Теплоизоляционные материалы на основе полимеров.

25. Отделочные материалы на основе полимеров.

26. Каким образом эстетические характеристики отделочных полимерных материалов учитываются при устройстве интерьеров зданий?

27. Какие компоненты входят в состав масляных красок?

28. Какие компоненты входят в состав эмалевых красок?

29. Какими показателями характеризуются пигменты и красочные составы?

30. Положительные и отрицательные свойства битумов.

31. Способы улучшения свойств битумов.

32. Гидроизоляционные материалы на основе битумов для горизонтальной изоляции.

33. Кровельные материалы на основе битумов.

34. Материалы на основе битумов для дорожных покрытий.

КОЛЛОКВИУМ № 2
Неорганические материалы и изделия

1. Классификация природных каменных материалов.
2. Магматические горные породы.
3. Осадочные горные породы.
4. Метаморфические горные породы.
5. Основные свойства природных каменных материалов.
6. Разновидности фактур и их влияние на эстетическое восприятие материалов из горных пород.
7. Конструкционные материалы из горных пород.
8. Облицовочные материалы на основе горных пород.
9. Теплоизоляционные материалы на основе горных пород.
10. Технология получения керамических материалов.
11. Способы регулирования свойств глин и готовых керамических материалов.
12. Стеновые керамические материалы.
13. Отделочные и кровельные керамические материалы.
14. Материалы и изделия из керамики специального назначения (санитарно-технические, кислотоупорные, огнеупорные, трубы).

15. Способы придания поверхности стеновой керамики эстетической выразительности.

16. Сырье и способы получения материалов из минеральных расплавов.

17. Свойства стекол и способы их регулирования.

18. Ситаллы и шлакоситаллы.

19. Каменное литье.

20. Светопрозрачные материалы из минеральных расплавов.

21. Светонепрозрачные материалы из минеральных расплавов.

22. Способы получения чугуна и стали.

23. Цветные металлы и сплавы.

24. Применение материалов и изделий из металлов в архитектурно-строительной практике.

25. Способы защиты металлов от коррозии и огня.

26. Эстетические свойства металлических материалов и изделий.

КОЛЛОКВИУМ № 3
Искусственные каменные материалы

1. Воздушная известь: получение, разновидности, свойства.
2. Гипсовые вяжущие: получение, разновидности, свойства.
3. Магнезиальные вяжущие: получение, разновидности, свойства.
4. Жидкое стекло: получение, свойства, применение.
5. В чем отличие гидравлической извести от воздушной?
6. Сырье и минералогический состав портландцемента.
7. Показатели качества цемента.
8. Виды коррозии цементного камня.
9. Разновидности портландцемента.
10. Какие требования предъявляются к воде затворения?
11. Виды и назначение добавок для регулирования свойств бетонных смесей и бетона.
12. С какой целью в бетон вводят заполнители? Классификация заполнителей.
13. Влияние вредных примесей в заполнителе на свойства бетонных смесей и бетонов.
14. Классификация растворов. Основные свойства растворных смесей и растворов.

15. Отделочные растворы.

16. Сухие растворные смеси.

17. Технологические свойства бетонной смеси. От чего они зависят?

18. Физико-механические свойства бетона. От каких факторов они зависят?

19. Влияние водоцементного отношения на свойства бетонной смеси и бетона.

20. Классификация бетонов.

21. Что такое железобетон? Виды сборных железобетонных изделий.

22. Монолитный железобетон.

23. Асбестоцементные материалы: получение, применение.

24. Строительные материалы на основе извести.

25. Строительные материалы на основе гипса.

26. Краски на основе минеральных вяжущих.

27. Способы декоративной отделки поверхности железобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байер В.Е. Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2004. – 244 с.
2. Айрапетов Д.П. Архитектурное материаловедение. – М.: Стройиздат, 1983. – 310 с.
3. Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Строительные материалы и изделия. – Мн.: «Технопринт», 2004. – 476 с.
4. Гришук Т.В. Строительные материалы и изделия. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004.– 311 с.
5. Гинзбург В.П. Керамика в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1983. – 200 с.
6. Мардер А.П. Металл в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1980. – 232 с.
7. Лисенко Л.М. Дерево в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1984. – 195 с.
8. Соловьев С.П., Динеева Ю.М. Стекло в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 210 с.
9. Айрапетов Д.П., Заварихин С.П., Макотинский М.П. Пластмассы в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 187 с.
10. Киреева Ю.И. Строительные материалы и изделия. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998.– 123 с.
11. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986. – 687 с.
12. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высш. шк., 1988. – 527с.
13. Викторова А.М., Викторова Л.А. Природный камень в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1983. – 188с.
14. Справочник по бетонам и растворам / Чехов А.П., Сергеев А.М., Дибров Г.Д. – Киев: Будівельнік, 1983. – 216 с.
15. Справочник по строительным материалам и изделиям: Цемент. Заполнители. Бетон. Силикаты. Гипс / Ю.Д. Нациевский, В.П. Хоненко, В.В. Беглецов. – Киев: Будівельнік, 1989. – 136 с.

Учебное издание

АРХИТЕКТУРНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 1-69 01 01 «Архитектура»

Составители
БАКАТОВИЧ Александр Александрович,
ПАРФЕНОВА Людмила Михайловна,
ИВАНЕНКО Александр Михайлович

Редактор Ю.В. Мацук

Подписано в печать 26.08.05. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 18,09. Уч.-изд. л. 19,03. Тираж 60. Заказ 814.

Издатель и полиграфическое исполнение
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04
211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29