

Е. Н. Петров О. А. Москалюк

**АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
СОВРЕМЕННЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА И
ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Конспект лекций

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна»

**АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
СОВРЕМЕННЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА И
ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Конспект лекций

Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве
учебного пособия

Санкт-Петербург

2016

УДК 72.023(075.8)

ББК 85.11:38.3я73

ПЗ0

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры механики деформируемого твердого тела
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова *Н. Р. Туркина*

кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой дизайна пространственной среды
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна», *Л. К. Фешина*

Петров Е. Н.

Архитектурно-дизайнерское материаловедение: конспект лекций.
/ Е. Н. Петров, О. А. Москалюк. – СПб.: ФГБОУВО «СПГУПТД»,
2016. – 133 с.

ISBN ____-__-____-____-__

В конспекте лекций рассмотрены основные свойства материалов, используемых в строительстве и архитектуре, их классификация по областям использования, методу производства и использования материалов в различных условиях эксплуатации.

Для студентов, магистрантов, аспирантов, обучающихся по направлению «Дизайн» – специальность 54.03.01, «Отделочные материалы в объектах пространственной среды» – специальность 54.04.01 и «Товароведение» – специальность 38.03.07. Пособие может быть полезно архитекторам, специалистам в области строительных материалов, инженерно-техническим работникам строительных и проектных организаций. Разработано на основе рабочей программы и ГОСТ для данных специальностей.

УДК 72.023(075.8)

ББК 85.11:38.3я73

ISBN ____-__-____-____-__

© ФГБОУВО «СПГУПТД», 2016

© Петров Е. Н., 2016

© Москалюк О. А., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЛЕКЦИЯ 1. Классификация, разновидности и оценка качества конструктивных и декоративных материалов в средовом проектировании. Взаимосвязь свойств и областей применения конструктивных и декоративных материалов в средовом проектировании	5
ЛЕКЦИЯ 2. Состав, строение, свойства и структура материалов	12
ЛЕКЦИЯ 3. Древесные материалы и изделия.....	52
ЛЕКЦИЯ 4. Природные каменные материалы.....	61
ЛЕКЦИЯ 5. Керамические материалы и изделия	63
ЛЕКЦИЯ 6. Изделия из минеральных расплавов	66
ЛЕКЦИЯ 7. Минеральные вяжущие материалы.....	69
ЛЕКЦИЯ 8. Бетоны	82
ЛЕКЦИЯ 9. Строительные растворы	97
ЛЕКЦИЯ 10. Полимерные материалы и изделия	100
ЛЕКЦИЯ 11. Металлические материалы и изделия.....	110
ЛЕКЦИЯ 12. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы.....	114
ЛЕКЦИЯ 13. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия	123
ЛЕКЦИЯ 14. Лакокрасочные материалы.....	127
Рекомендуемая литература:	131

ВВЕДЕНИЕ

Строительные материалы непосредственно влияют на восприятие архитектурного образа объекта, на его качество и экономические требования. Архитектор должен понимать, что строительные материалы выполняют комплекс функций, связанных с технологией строительных работ, эксплуатацией и композиционным строением здания, а также его стоимостью, включая цены и затраты на применение и эксплуатацию. Работа с материалами предполагает учёт действующих архитектурно-строительных норм и правил, а также природных и социальных факторов.

Материал играет важную роль в формировании пропорционального, масштабного и ритмического строя сооружения, его тектоники и, в конечном счете, композиции в целом. Глубокая и разносторонняя взаимосвязь зодчества с материалом основывается на том факте, что именно он является средством организации пространства жизнедеятельности, а, следовательно, участвует в создании архитектуры.

Современному архитектору недостаточно знать, из каких материалов можно осуществить его проект. В настоящее время, когда материальная база весьма представительна, здания и сооружения можно строить из многих взаимозаменяемых материалов. При этом условия жизни, в том числе работы, человека могут быть одинаковыми с эксплуатационно-технической точки зрения. Но, в зависимости от вида материала, восприятие среды, эстетики зданий и сооружений будет заметно иным.

В современном строительстве еще много примеров применения материалов, искажающих первоначальный творческий замысел архитектора и не обеспечивающих планируемый срок эксплуатации здания, сооружения. Одна из причин – недостаточно глубокие знания архитектора в области строительных материалов и, прежде всего, физической сущности их свойств, основ производства, номенклатуры, примеров использования.

Цель изучения архитектурного-дизайнерского материаловедения – получение необходимых знаний: о многогранной взаимосвязи архитектуры и материалов; о классификации и номенклатуре; физико-химической, эстетической и экологической сущности свойств; основах производства и опыта применения материалов в архитектурно-строительной практике.

Основные задачи теоретической и практической части курса «Архитектурно-дизайнерское материаловедение» связаны с необходимостью в процессе архитектурного проектирования предусматривать рациональное применение строительных материалов и изделий на основе глубокого знания архитектором строения, эксплуатационно-технических, экономических и

эстетических характеристик, современных способов направленного регулирования свойств и совершенствования оценки их качества.

Конспект лекций подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта Российской Федерации высшего профессионального образования для студентов, в программе которых предусмотрено изучение курсов «Архитектурно-дизайнерское материаловедение», «Отделочные материалы в объектах пространственной среды» и «Современные отделочные материалы их свойства и тенденции использования в промышленности».

ЛЕКЦИЯ 1. Классификация, разновидности и оценка качества конструктивных и декоративных материалов в средовом проектировании. Взаимосвязь свойств и областей применения конструктивных и декоративных материалов в средовом проектировании

Строительные материалы непосредственно влияют на восприятие архитектурного образа объекта, на его качество и экономические требования. Архитектор должен понимать, что строительные материалы выполняют комплекс функций, связанных с технологией строительных работ, эксплуатацией и композиционным строением здания, а также его стоимостью, включая цены и затраты на применение и эксплуатацию. Работа с материалами предполагает учёт действующих архитектурно-строительных норм и правил, а также природных и социальных факторов.

Архитектурно-строительное материаловедение – наука о строительных материалах, их составе, свойствах, внутреннем строении, технологии их изготовления и областях применения, а также о долговечности, и надежности конструкции зданий и сооружений. Оно является фундаментальной наукой прикладного характера и состоит из трёх компонентов: из практики, из теории и мировоззренческих основ.

Приоритетная часть архитектурно-строительного материаловедения – это практика. Она включает в себя знания о производстве строительных материалов и изделий из них и многообразного сырья. Она включает знания о технологии производства материалов, их основных свойствах, методах испытания, целесообразности применения тех или иных материалов или изделий в строительстве, а также знания о правилах эксплуатации.

Теория составляет сумму знаний обо всех материалах в их сложной совокупности и посвящена вскрытию и описанию общих закономерностей связи свойств материала с особенностью его строения и со свойствами тех веществ, из которых данный материал состоит. Также она посвящена описанию научных принципов и законов, лежащих в основе производства и при переработке строительного материала в изделие. Теория раскрывает сущность явлений и процессов, связанных с возникновением новообразований микро и макроструктурных элементов, их взаимосвязей при переработке и формировании единой структуры монолитно-строительных материалов. В ней содержится классификация материалов, методы оптимизации состава и структуры материала и методы проектирования этого состава с заданными параметрами.

Мировоззренческие основы науки способствуют обоснованному прогнозированию развития практики. Представляются прогрессивные и передовые технологии строительных материалов на уровне мировых достижений, в том числе безотходное производство с учётом долговечности, экологичности и защиты окружающей среды. Учитываются современные технологии.

3 Этапа развития материаловедения:

1 этап – появляются основные понятия о материалах и их свойствах. Для этого этапа характерно небольшое количество разновидностей и опытных данных по качественным характеристикам материалов. С древних времён до начала второй половины 19 века знания получали философы, изучая материю. Большой вклад внесли такие учёные как Ломоносов и Менделеев.

2 этап – со второй половины 19 века и закончился в первой половине 20 века. Закончился массовым производством строительных материалов и изделий, созданием новых материалов и их выпуском. Это связано с общим прогрессом промышленности и с массовым строительством гражданских и промышленных сооружений. Характерным является конкретное изучение составов и качества изучаемых материалов. Прогрессирует не только использование, но и переработка сырья, в связи с проблемой загрязнения окружающей среды и невозможности восстановления некоторых ресурсов. Происходит изучение различных методик испытания материалов.

3 этап – с начала 20 века и по нынешний период. Рост объёма производства традиционный, появление новых строительных материалов. Углубление специализированных наук об этих материалах. Интеграция научных знаний о строительных материалах и их свойствах.

К основным критериям выбора современного материала с эксплуатационно-технической и экономической точек зрения относятся: наличие заводского (лицензированного) производства, сравнительно меньшая средняя плотность при сохранении требуемой прочности и других эксплуатационно-технических характеристик, многофункциональность, возможность снизить расход энергетических ресурсов при эксплуатации зданий и сооружений.

Преимуществом заводского выпуска материалов считается мобильность производства (возможность его перестройки), возможность заказа архитектором, дизайнером, реставратором материалов с требуемыми характеристиками, безопасность, благоприятные условия труда.

Роль архитектора: формирование и выбор строительных материалов. Требования: умение правильно формировать необходимые требования к материалам, знание конструкции и основ фундаментальных наук, в том числе истории, связь с производственным материаловедением (посещение специальных выставок, чтение журналов, посещение конференций), помнить о назначении архитектора как социального работника (приоритет – человек и природа, цель – экономия, польза и красота и здоровье).

1.2. Взаимосвязь строительных материалов, конструкции и архитектурной формы

Свою вещественную форму архитектура обретает с помощью материалов, которые являются основой развития новых конструктивных структур. В современных условиях роль материальной базы архитектуры постоянно возрастает. Материалы определяют осуществление творческого замысла и реальность новых архитектурных форм. Кроме этого материалы обуславливают характер и эстетическую выразительность формы, а также экономическую и функциональную целесообразность сооружения.

Материал является мощным объективным стимулом развития современной архитектуры. Виды и свойства материалов и изделий из них связаны с процессами создания, развития и восприятия архитектурной формы.

Вплоть до 20 века при строительстве зданий и сооружений используются преимущественно материалы, которые выдерживают значительные нагрузки при сжатии, но обладают плохими характеристиками по прочности на изгиб и растяжение. Зодчие не могли не учитывать эти свойства материалов при создании архитектурных форм.

Много столетий спустя определенные архитектурные формы из камня стали «легкими» (готика). Это архитектурная вершина природного камня. Хотя тяжёлые свойства остаются неизменными.

С начала 20 веков при строительстве зданий и сооружений стала широко выделяться подвесная конструктивная система, так как появилась возможность применять в строительстве высокие прочностные характеристики при изгибе и растяжении таких материалов как металл и железобетон. Расход материалов при этом минимален (квантовые конструкции). Кроме металла широкое применение получили пластмассы, которые помогают создавать лёгкие и прочные оболочки. Создание новых

строительных материалов привело к изменению традиционных архитектурных форм.

Материал и конструктивная форма имеют тесную связь. Формы и внешний вид объёмов могут заметно меняться с учётом возможности использования определённого материала, но в современных условиях проявляется и обратная связь – создание и развитие архитектурных форм стимулирует производство материалов с заданными характеристиками.

Эмоциональное воздействие архитектурной формы в большей мере связано с фактурой, цветом и текстурой лицевой поверхности материалов. Именно эти характеристики оказывают большое влияние на соответствующий зрительный образ. Архитектор должен ясно представлять, что эстетические свойства материалов – мощное, активное и мобильное оружие в его руках, позволяющее усилить, развить и акцентировать основную художественную идею проекта.

С психологической точки зрения заметную роль играют сложившиеся представления человека о таких эксплуатационно-технологических свойствах материала как прочность и долговечность.

Выбор цвета, фактуры, рисунка поверхности отделочных материалов должен быть непосредственно связан с функциональным назначением помещения, его размерами и композицией.

Экономические показатели архитектурно-строительной, дизайнерской и реставрационной деятельности в большей мере связаны с применяемыми материалами (до 50 % стоимости современной конструкции приходится на стоимость материалов, которую следует оценивать с учётом на будущую эксплуатацию).

1.3. Классификация, свойства и оценка качества строительных материалов. Взаимосвязь их свойств и областей применения

Классификация:

Архитектурно-строительные классификации готовых к применению материалов и изделий по назначению.

А. конструкционные материалы и изделия:

А-1. материалы и изделия для несущих конструкций (камень, сталь, древесина);

- А-2.** материалы и изделия для ограждающих конструкций;
- А-3.** тепло и звукоизоляционные конструкционные материалы (легкие, пористые);
- А-4.** кровельные материалы (шифер, черепица, оцинкованное железо, мягкая черепица);
- А-5.** гидро- и пароизоляционные материалы (разного вида обмазки);
- А-6.** герметизирующие материалы и изделия;
- А-7.** материалы и изделия для светопрозрачных ограждений (окон и дверей);
- А-8.** материалы и изделия для инженерно-технического оборудования зданий (система отопления, система кондиционирования, система света и т. п.);
- А-9.** материалы и изделия специального назначения (жаростойкость и огнеупорность).

Б. Конструкционно-отделочные:

- Б-1.** материалы и изделия для лицевых слоёв ограждающих конструкций типа «сэндвич» (облицовка);
- Б-2.** материалы и изделия для ограждений, балконов и лоджий;
- Б-3.** материалы и изделия для покрытия полов и лестниц (прочность, огнеупорность, эстетичность);
- Б-4.** материалы и изделия для сборно-разборных, мобильных и стационарных перегородок;
- Б-5.** материалы и изделия для подвесных потолков (лёгкость конструкции, стальные подвесы);
- Б-6.** материалы и изделия для стационарного оборудования и мебели (стекло, дерево, металл, пластик);
- Б-7.** материал для дорожных покрытий.

В. Отделочные:

- В-1.** для наружной отделки зданий и сооружений (краски для фасадных работ, полимерцементные покрытия, листовые материалы);
- В-2.** внутренняя отделка (керамика, керамогранит, обои);

В-3. защитные покрытия (антикоррозийные, морилки).

Классификация по происхождению. Материалы делятся на минеральные и органические. Кроме того, они делятся на естественные и искусственные. Так же есть классификация искусственных материалов на основе формирования структуры, свойств и методов исследования (классификация по технологии):

1. на безобжиговые (затвердевание которых происходит при сравнительно невысоких температурах под влиянием химических и физико-химических превращений вяжущего вещества);
2. на обжиговые (затвердевание которых происходит при остывании жидких расплавов, выполняющих функцию вяжущего вещества).

Структурных классификаций множество, например, классификация по макро- и микроструктурам, классификация на гомогенные и гетерогенные, классификация по архитектурно-строительным требованиям, классификация по свойствам строительных материалов, изделий и другие.

Область науки, занимающаяся методами количественной оценки качества продукции, называется **квалиметрией**. Основные понятия квалиметрии:

Объект – подвергаемый полиметрическому анализу материал или изделие, не зависимо от его вида, назначения, состава и прочего.

Свойства – характеристика материала или изделия, проявляющаяся в процессе его переработки, применения или эксплуатации.

Качество – свойство или совокупность свойств как функциональных, так и эстетических, обуславливающих способность материала или изделия удовлетворять определённым требованиям в соответствии с его назначением.

Свойства бывают простые и сложные. Простое свойство – свойство, которое нельзя подразделить на другие (длина, ширина, вес и т. д.). Сложное свойство – свойство материала или изделия, которое может быть разделено на 2 и большее количество менее сложных и простых свойств (функциональность).

Интегральные качества – наиболее сложные свойства материала или изделия, определяемые совокупностью его качества и экономичности.

Комплексные свойства. К ним относятся долговечность, надёжность, совместимость, сопротивление коррозии и т. д.

С экологической позиции, строительные материалы, конструкции и изделия из этих материалов должны отвечать следующим требованиям:

1 – теплоизоляционными (обеспечение достаточного термического сопротивления);

2 – иметь хорошую воздухопроницаемость и пористость;

3 – быть не гигроскопичными и звукоизоляционными;

4 – обеспечение прочности, огнестойкости, долговечности зданий и сооружений;

5 – не выделять летучие и пахучие вещества, способные прямо или косвенно влиять на здоровье человека;

6 – быть легкодезинфицируемыми;

7 – иметь окраску и фактуру, соответствующую физиологическим и эстетическим требованиям человека.

Свойства строительных материалов и изделий по их природе классифицируются на 3 основные группы: физические, механические и химические и две добавочные группы: биологические и эстетические.

Физические свойства: плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение, влагостойкость, водопроницаемость, термостойкость, морозостойкость.

Механические свойства. Это способность материалов сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних сил, прочность при сжатии, растяжении, ударе, изгибе и т. д. Твёрдость, упругость, хрупкость, пластичность, истираемость.

Химические свойства материалов характеризуют их способность сопротивляться действию химически агрессивной среды. Кислотостойкость, щелочестойкость.

Биологические свойства характеризуют стойкость материалов и изделий к органике.

Эстетические свойства материалов (архитектурно-художественные) объединяют 2 группы свойств. Первая – эстетичность материалов и изделий, а вторая характеризует эстетичность сочетаний с другими материалами и изделиями и с окружающей средой.

ЛЕКЦИЯ 2. Состав, строение, свойства и структура материалов

Изучение строения материала необходимо для понимания его свойств и в конечном итоге для решения практического вопроса, где и как применить материал, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект.

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

Строительный материал характеризуется химическим, минералогическим и фазовым составом.

Химический состав строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других эксплуатационно-технических характеристиках. Химический состав неорганических веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов принято выражать количеством содержащихся в них оксидов (%). Основные и кислотные оксиды химически связаны между собой и образуют минералы, которые определяют многие свойства материала.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в вяжущем веществе или каменном материале. Например, в портландцементе содержание трёхкальциевого силиката ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) составляет 45 – 60 %, причём при большем его количестве ускоряется твердение, повышается прочность цементного камня.

Фазовый состав материала и фазовые переходы воды, находящиеся в его порах, оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. В материале выделяют твёрдые вещества, образующие стенки пор, то есть «каркас» материала, и поры, заполненные воздухом и водой.

Строение материала изучают на трёх уровнях: на макроуровне – строение, видимое невооружённым глазом или при небольшом увеличении; на микроуровне – строение, видимое в оптический микроскоп; внутренне строение веществ – строение на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т. п.

Макроструктура твёрдых строительных материалов может быть следующих типов: конгломератная, плотная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая.

Конгломератная структура – это обширная группа, объединяющая некоторые природные каменные материалы (конгломерат, брекчия и др.), бетоны различного вида, ряд керамических и других материалов.

Плотная структура – характеризуется отсутствием разделов фаз в материале (стекло, полистирол и др.).

Ячеистая структура – характеризуется наличием макропор в форме пузырька, свойственных газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

Волокнистая структура – сложена волокнистыми материалами (древесина, минеральная и стеклянная вата, асбест, стекловолоконные пластики и др. Особенностью материалов с ориентированными волокнами в одном направлении является анизотропия его свойств, то есть резкое различие, например, прочности, теплопроводности вдоль и поперёк ориентированных волокон.

Слоистая структура – сложена слоистым наполнителем (бумагой, тканью) и связующим. Такая структура отчётливо выражена у рулонных кровельных материалов, текстолита, бумажнослоистого пластика и др.

Рыхлозернистая (порошкообразная) структура – состоит из отдельных частиц (зёрен) точечно контактирующих друг с другом (песок, щебень, гравий, сухая глина и др.).

Как правило, материал одновременно содержит несколько типов структур. Однако отнесение материала к тому или иному типу структуры осуществляют по структурным элементам, имеющим наибольшие объёмы (тяжёлый бетон, ячеистый бетон, фибробетон, фибропенобетон).

Микроструктура вещества может быть кристаллическая и аморфная. Кристаллическая форма представляет собой упорядоченное расположение атомов в узлах кристаллической решётки, она более устойчивая, менее химически активная (металлы, природный и искусственный камень). Аморфная структура характеризуется однородностью и хаотичным расположением в ней атомов и молекул (стекло, шлаки).

Форма, размеры и расположение кристаллов оказывают большое влияние на свойства материалов. Мелкокристаллические – более однородны и стойки против внешних воздействий, крупнокристаллические (металлы) имеют большую прочность. Слоистое расположение кристаллов (сланцы) обеспечивает легкое раскалывание по плоскостям, что используют при получении отделочных плиточных материалов. Структуру искусственно полученных материалов можно целенаправленно регулировать в широком диапазоне в зависимости от задаваемых свойств и назначения изделий. Например, для повышения термомеханических показателей стекла, можно целенаправленно изменить аморфную структуру на кристаллическую за счет ввода в сырьё специальных добавок и дополнительной термообработки изделий, при этом материал приобретает высокую термостойкость, прочность на удар и износ, химическую стойкость, но теряет прозрачность.

Комплекс полученных свойств определяет назначение каждого изделия: для остекления окон используют аморфное стекло, для облицовки пола в цехах с агрессивными средами – кристаллическое.

Состав и структура определяют свойства материалов, которые не остаются постоянными во времени, а изменяются в результате механических, физико-химических, иногда и биохимических воздействий среды, в которой эксплуатируется изделие или конструкция. Эти изменения могут протекать как медленно, например, при разрушении горных пород, так и относительно быстро – при вымывании из бетона растворимых веществ, действии ультрафиолетовых лучей на полимерные материалы, что приводит к изменению их цвета и повышению хрупкости. Следовательно, каждый материал должен обладать не только свойствами, позволяющими применять его по назначению, но и определенной стойкостью, обеспечивающей долговечную эксплуатацию отдельного изделия и всего сооружения в целом.

1. Физические свойства

Физические свойства подразделяют на подвиды:

- *общие физические* – характеризующие структуру и массу материала;
- *гидрофизические* – характеризующие отношение материалов к действию воды, пара и газов;
- *теплофизические* – характеризующие отношение материалов к действию тепла и огня;
- *акустические* – характеризующие отношение материалов к действию звуковых колебаний.

1.1. Общие физические свойства

К общефизическим свойствам относятся: *истинная плотность, средняя плотность и пористость* материала.

Истинная плотность $\rho_{ист}$ – масса единицы объема вещества в абсолютно плотном состоянии, то есть без пор, пустот и трещин.

$$\rho_{ист} = \frac{m}{v_0}, \quad (1)$$

где $\rho_{ист}$ – истинная плотность, кг/м³; m – масса, кг; v_0 – объем, занимаемый веществом без пор, трещин и каверн, м³.

Истинную плотность определяют при помощи стеклянной колбы точного объема – пикнометра с точностью до 0,01 г/см³ на тонко

измельченной (до 0,2 мм) и предварительно высушенной до постоянной массы пробе.

Истинная плотность большинства строительных материалов больше единицы (за единицу условно принимают плотность воды при $t = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Для каменных материалов плотность колеблется в пределах 2200...3300 кг/м³; органических материалов (дерево, битумы, пластмассы) – 900...1600, черных металлов (чугун, сталь) – 7250...7850 кг/м³.

Средняя плотность ρ_{cp} – масса единицы объема материала (изделия) в естественном состоянии, то есть с пустотами и порами.

$$\rho_{cp} = \frac{m}{v}, \quad (2)$$

где ρ_{cp} – средняя плотность, кг/м³; m – масса материала (изделия) в естественном состоянии, кг; v – объем материала (изделия) в естественном состоянии, м³.

Значения плотности данного материала в сухом ρ_{cp} и влажном состоянии ρ_{cp}^w связаны соотношением:

$$\rho_{cp}^w = \rho_{cp} (1 + W_m/100) \quad (3)$$

где W_m – влажность материала по массе, %.

Если образец имеет правильную геометрическую форму, его объем определяют путем вычислений по измеренным геометрическим размерам; если же образец неправильной формы, – по объему вытесненной жидкости (закон Архимеда).

Средняя плотность природных и искусственных материалов колеблется в широких пределах – от 10 кг/м³ (полимерный воздушнонаполненный материал «мипора») до 2500 кг/м³ у тяжелого бетона и 7850 кг/м³ у стали.

Данные средней плотности используют при подборе материала для изготовления строительных конструкций, расчетах транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования. При одинаковом вещественном составе средняя плотность характеризует прочностные свойства. Чем больше средняя плотность, тем прочнее материал.

Для пористых строительных материалов истинная плотность больше средней. Только для абсолютно плотных материалов (металлы, стекла, лаки, краски) показатели средней и истинной плотности численно равны.

Плотность пористых материалов всегда меньше их истинной плотности. Например, плотность лёгкого бетона – 500...1800 кг/м³, а его истинная плотность – 2600 кг/м³. Только для абсолютно плотных материалов

(металлы, стекла, лаки, краски) показатели средней и истинной плотности численно равны.

Плотность материала иногда выражают в виде безразмерной величины называемой *относительной плотностью*, равной отношению плотности материала $\rho_{\text{ср}}$ к плотности воды $\rho_{\text{в}}$, то есть:

$$d = \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{в}}}. \quad (4)$$

Насыпная плотность $\rho^{\text{н}}$ – масса единицы объема сыпучих материалов в свободном насыпном состоянии, то есть без его уплотнения. Формула расчета и размерность показателя те же, что в (2). За единицу объема таких материалов принимают не только зерна самого материала, но и пустоты между ними. Количество пустот, образующихся между зернами рыхлонасыпного материала, выраженное в процентах по отношению ко всему занимаемому объему, называют *межзерновой пустотностью*. Этот показатель важен для сыпучих материалов с рыхлозернистой структурой: для песка, щебня, гравия, керамзита и других материалов, применяемых при изготовлении бетона, а также для зернистых теплоизоляционных материалов.

Пористость Π – объёмная доля воздушных пустот в материале.

$$\Pi = \frac{v_{\text{п}}}{v}. \quad (5)$$

где $v_{\text{п}}$ - объём пустот (пор) в материале.

Строение пористого материала характеризуется количеством и геометрическими размерами пор в виде капилляров (в форме трубочек) и ячеек (сферической формы).

По величине истинной и средней плотности рассчитывают *общую пористость* Π материала в %.

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ист}}}\right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Поры в материале могут иметь различную форму и размеры. Они могут быть открытыми, сообщающимися с окружающей средой, и замкнутыми, заполненными воздухом. При погружении материала (изделия) в воду открытые поры полностью или частично заполняются водой. В замкнутые поры вода проникнуть не может. Открытую или *капиллярную пористость* (Π_0) определяют по водонасыщению материала под вакуумом или кипячением его в воде:

$$P_0 = \frac{m^{BH} - m^{сух}}{v \cdot \rho_B} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $m^{сух}$ – масса образца в сухом состоянии, г; m^{BH} – масса образца в водонасыщенном состоянии, г; v – объем образца, см³; ρ_B – плотность воды, кг/м³.

Общая пористость различных по назначению материалов колеблется в широком интервале. Так, для тяжелого, прочного конструкционного бетона – 5...10 %, кирпича, который как стеновой материал должен обеспечить прочность, легкость стеновой конструкции и пониженную теплопроводность, пористость составляет 25...35 %, для эффективного теплоизоляционного материала пенопласта – 95 %. Большое влияние на свойства материалов оказывают не только величина пористости, но и размер пор, их характер. При увеличении объема замкнутых пор и уменьшении их величины повышается морозостойкость материала и снижается теплопроводность. Наличие открытых крупных пор делает материал проницаемым для воды, неморозостойким, но в то же время он приобретает акустические свойства.

1.2. Гидрофизические свойства

Гидрофизические свойства проявляют материалы и изделия при контакте с водой и паром. Наиболее важные из них – *гигроскопичность, водопоглощение, водостойкость, водопроницаемость, морозостойкость, воздухоустойкость.*

Увлажнение и насыщение водой оказывает большое влияние на многие важные эксплуатационные характеристики строительных материалов и изделий. В результате насыщения водой существенно изменяются их весовые характеристики, тепло- и электропроводность, линейные размеры и объём, физико-механические свойства.

В зависимости от вещественной природы материала способность материалов притягивать к своей поверхности молекулы воды различна. Материалы способные притягивать к своей поверхности воду называются *гидрофильными* (бетон, древесина, стекло, кирпич и другие); а отталкивающие воду – *гидрофобными* (битум, полимерные материалы).

Гигроскопичность – свойство материалов поглощать водяные пары из воздуха и удерживать их на своей наружной поверхности и внутренней поверхности пор. Мерой гигроскопичности материалов является величина влажности материала по массе W_z (ГОСТ), определённая на образцах материала при заданных температурно-влажностных условиях воздуха по формуле:

$$W_{\Gamma} = \frac{m^{\text{НВ}} - m^{\text{сух}}}{m^{\text{сух}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Поглощение влаги из воздуха обусловлено способностью поверхности материалов, всегда имеющей неуравновешенный электростатический заряд, насыщаться дипольными молекулами воды, а также поглощение воды за счёт капиллярной конденсации. Этот физико-химический процесс называется сорбцией, Сорбционная способность является обратимым процессом и зависит от температурно-влажностных условий воздуха. С повышением (уменьшением) относительной влажности воздуха при постоянной температуре возрастает (снижается) сорбционная влажность материала. Поэтому оценку гигроскопичности материалов дают для определённой эксплуатационной влажности атмосферного воздуха.

При равной общей пористости и одинаковом вещественном составе материала, чем мельче поры, тем больше общая площадь внутренней поверхности пор, следовательно, гигроскопичность выше. Для зернистых материалов имеет место аналогичная закономерность. Этот процесс является обратимым и зависит от температуры и влажности воздуха. При снижении влажности часть гигроскопичной влаги испаряется. В зависимости от вещественной природы материала гигроскопичность различна. Так, например, равновесная влажность по массе стеновых материалов составляет 5 – 7 %, комнатно-сухой древесины составляет 8 – 12 %, а воздушно-сухой древесины после продолжительной сушки на открытом воздухе составляет 15 – 18 %.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия воды в материале количеством поглощённой влаги и интенсивностью всасывания.

Высоту поднятия воды в капилляре h определяют по формуле:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r\rho g}, \quad (9)$$

где σ – поверхностное натяжение; θ – краевой угол смачивание; r – радиус капилляра; плотность жидкости; g – ускорение свободного падения.

Поры в материалах имеют неправильную форму и изменяющееся поперечное сечение, поэтому приведенная формула годна лишь для качественного рассмотрения явления. Высоту всасывания воды определяют, применяя метод «меченых атомов», либо по изменению электропроводности материала. Уменьшение интенсивности всасывания отражается на повышении морозостойкости материала, то есть структура материала такого материала лучше.

Капиллярное всасывание воды происходит пористым материалом, когда часть или вся конструкция из этого материала находится в воде. Так, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть здания. Чтобы не было сырости в помещении, устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундаментную часть конструкции стены от её нижней части. Под фундаменты и конструкционные слои дорожных покрытий укладывают слой из крупной фракции щебня для исключения капиллярного поднятия воды и насыщения конструкционных слоев водой.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней. Мерой водопоглощения по массе является отношение массы воды, поглощенной образцом материала, высушенного до постоянной массы, после его насыщения при полном погружении в воду, к массе образца в сухом состоянии (ГОСТ).

$$W_M = \frac{m^{НВ} - m^{сух}}{m^{сух}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

Использование водопоглощения по массе для сравнения различных видов материалов не правомерно, так как этот параметр не отражает абсолютной величины поглощённой влаги материалом. Он может использоваться только для контроля одного вида материала. Водопоглощение по массе у таких высокопористых материалов как, например, древесина, минераловатные и стекловатные плиты, может быть более 100 %.

Другим показателем является водопоглощение по объёму. Мерой водопоглощения материала по объёму $W_{об}$ является отношение объёма воды, поглощенной образцом материала (V_0), высушенного до постоянной массы, после его насыщения при полном погружении в воду, к объёму образца (V_1).

$$W_{об} = \frac{V_0}{V_1}, \quad (11)$$

Этот показатель зависит от объёма, природы пор (замкнутые, открытые) и степени гидрофильности материала. Так, водопоглощение гранита составляет 0,02...0,7 %, тяжелого бетона 2...4 %, кирпича 8...15 %, древесины 40...70 %.

Водопоглощение по объёму характеризует кажущуюся пористость (условно открытую) пористость материала. Так как в материале имеется некоторое количество замкнутых (условно закрытых) пор объёмное водопоглощение всегда меньше 100 %, то есть этот параметр не отражает истинную пористость материала.

Водопоглощение по объёму используют для расчёта *коэффициента насыщения пор водой* K_n , который характеризует объёмную долю условно открытых пор в материале.

$$K_n = \frac{W_{об}}{\Pi}. \quad (12)$$

Коэффициент насыщения изменяется от 0 (все поры замкнутые) до 1 (все поры открытые). Уменьшение K_n при той же пористости свидетельствует сокращении открытой пористости, что обычно проявляется в повышении морозостойкости материала.

В результате насыщения материала водой и нарушения связей между частицами материала из-за проникновения молекул воды между кристаллами и в трещины материала прочность его снижается. Это состояние материала характеризует коэффициент размягчения $K_{разм}$, который равен отношению предела прочности при сжатии материала, насыщенного водой $R^{нв}$, к пределу прочности при сжатии в сухом состоянии $R^{сух}$.

$$K_{разм} = \frac{R^{нв}}{R^{сух}}. \quad (13)$$

Этот коэффициент характеризует *водостойкость* материалов. Для глины и гипса он близок к нулю, металла и стекла равен единице. Материалы с $K_{разм} > 0,8$ считают водостойкими, с $K_{разм} < 0,8$ – не водостойкими и применять их в несущих конструкциях, испытывающих постоянное действие воды, не разрешено (фундаменты зданий, дамбы, плотины).

Влагоотдача – способность материала отдавать влагу при снижении влажности воздуха. Скорость влагоотдачи зависит от разности влажности образца и окружающей среды. Чем она выше, тем интенсивнее идет высушивание изделия. Крупнопористый гидрофобный материал отдает воду быстрее, чем мелкопористый гидрофильный. В естественных условиях влагоотдачу строительных материалов характеризуют интенсивностью потери влаги при относительной влажности воздуха 60 % и температуре равной 20 °С.

Водопроницаемость – свойство материала пропускать воду под давлением через свою толщу. Водопроницаемость оценивают по коэффициенту фильтрации K_f .

$$K_f = \frac{V_B \cdot a}{S (\rho_1 - \rho_2) \cdot t} \quad (14)$$

Коэффициент фильтрации K_f равен объёму воды V_e (m^3), проходящей через стенку площадью $S = 1 m^2$ и толщиной в $a = 1 m$ за время $t = 1$ час при разности гидростатического давления на границе стенки $(p_1 - p_2) = 1 m$ водяного столба.

Особенно важно это свойство при строительстве гидротехнических сооружений (дамбы, плотины, молы, мосты), резервуаров, возведении стен подвалов при наличии грунтовых вод. Коэффициент фильтрации непосредственно связан обратной зависимостью с водонепроницаемостью материала. Чем ниже K_f , тем выше марка по водонепроницаемости.

Водонепроницаемость бетона и других материалов характеризуется маркой W2, W4...W12, обозначающей одностороннее гидростатическое давление в kg/cm^2 (атмосферах), при котором образец не пропускает воду в условиях стандартных испытаний. Испытания проводят на специальной установке.

Морозостойкость – способность материала сохранять свою прочность при многократном попеременном замораживании в водонасыщенном состоянии и оттаивании в воде. (ГОСТ) Для материалов, эксплуатируемых в условиях знакопеременных температур наружного воздуха, морозостойкость является одним из важнейших свойств, обеспечивающих их долговечность (дорожные покрытия, бордюрные камни, стеновые материалы). Разрушение материалов при их замораживании в водонасыщенном состоянии связано с образованием в порах льда, объем которого примерно на 9 % больше объема замерзшей воды. Поэтому если все поры в материале будут заполнены водой, то разрушение должно было бы произойти после первого цикла замораживания. 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, от которых зависят степень их насыщения водой и интенсивность образования льда в порах.

В строительстве морозостойкость материала количественно оценивают маркой, обозначаемой F. За марку материала по морозостойкости, принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более чем на 15 % и образец не имеет видимых повреждений в виде трещин и выкрашиваний материала, а потеря массы образца составляет не более 5 %. В зависимости от назначения материала величина критериев оценки материала по морозостойкости может быть другой.

Установлены следующие марки по морозостойкости: тяжелый бетон F50 – F500, легкий бетон F25 – F500, кирпич, стеновые керамические камни F15 – F100. Марка по морозостойкости материала назначается на стадии проектирования в зависимости от вида конструкции и места расположения материала в ней, климатической зоны эксплуатации. Для наружных стен марка по морозостойкости не превышает F50.

Вследствие длительности базовых испытаний, стандартом разрешено применение следующих ускоренных методов оценки морозостойкости:

- проведение водонасыщения образцов в 5 %-ных растворах хлорида или сульфата натрия (разрушение бетона ускоряется за счет дополнительного образования при замораживании кристаллов соли);
- снижение температуры в морозильной камере до – 50 °С, при которой замерзает вода в микропорах, увеличивая общий объем льда;
- расчет морозостойкости по эмпирической формуле, выведенной на основании зависимости между деформациями бетона, возникающими в первый цикл испытаний, и его морозостойкостью;
- расчет косвенного критерия морозостойкости по показателям структуры бетона.

Контроль морозостойкости экспресс-методами особенно важен для таких изделий и конструкций, как наружные стены, покрытия дорог и аэродромов, тротуарные плиты, бордюрные элементы, стойки систем наружного освещения и линий электропередачи, для которых морозостойкость является основным фактором долговечности.

Влажностные деформации. Пористые неорганические и органические материалы (бетоны, древесина и др.) при изменении влажности изменяют свой объём и размеры. Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров материала при высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоёв воды, окружающих частицы (волокна) материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала.

Набухание (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Полярные молекулы воды, проникая в промежутки между частицами или волокнами, слагающими материал, «расклинивают» их, при этом утолщаются водные оболочки вокруг частиц и уменьшаются капиллярные силы, стягивающие частицы.

Состояние чередования высыхания и увлажнения пористого материала, постоянно присутствующее при эксплуатации материалов, сопровождается попеременными деформациями усадки и набухания. Такие воздействия вызывают трещины, ускоряющие разрушение материала или «коробление».

В подобных условиях находится, например, бетон в дорожных покрытиях, доски в облицовке фасадов зданий.

Таблица 1. Усадка некоторых видов материалов

Вид материала	Усадка, мм/м
Древесина (поперёк волокон)	30 – 100
Ячеистый бетон	1 – 6
Строительный раствор	0.5 – 1
Кирпич керамический	0.03 – 0.1
Тяжёлый бетон	0.3 – 0.7
Гранит	0.02 – 0.06

Наибольшее проявление влажностных деформаций происходит преимущественно при изменении влажности материала в интервале от 0 до предела его гигроскопической влажности. Это связано с удалением воды, находящейся в гидратных оболочках частиц и в мелких порах, так как испарение воды из крупных пор и межзерновых пустот не ведёт к сближению частиц материала и практически не вызывает объёмных изменений.

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

Газо- и паропроницаемость – способность материала пропускать через свою толщу газы (воздух) или водяной пар.

При возникновении у противоположных поверхностей ограждения разности атмосферного давления происходит миграция воздуха через поры и трещины материала. Это явление эффективно до определённой степени, так как способствует дополнительному воздухообмену (вентиляции) и снижению влажности в помещении. При большой газопроницаемости материала одновременно увеличивается конвективный теплоперенос через стены, то есть ухудшаются теплозащитные качества стены.

При возникновении разности парциальных давлений водяного пара на противоположных сторонах ограждающей конструкции пар перемещается из области высокого давления в область низкого давления, то есть пар стремится к уравниванию парциальных давлений. В зимнее время года внутри тёплых помещений в воздухе содержится значительно больше водяного пара, чем снаружи, и он стремится пройти через стену. Попадая в холодную часть ограждения, пар конденсируется, резко повышая влажность в этих местах. Повышение влажности материала способствует ухудшению теплозащитных свойств наружной ограждающей конструкции, быстрому разрушению материала особенно при действии мороза.

Для сохранения свойств ограждающих конструкций целесообразно создание условий, при которых она не будет «дышать». Особенно это относится к стенам помещений с повышенной эксплуатационной влажностью. С этой целью устраивают пароизоляционное покрытие на стене со стороны повышенного содержания водяного пара, используя следующие материалы: полиэтиленовую плёнку, рубероид, металлическую фольгу, глазурованную керамическую плитку, слой полимерной или масляной краски, а с противоположной стороны создают условия для газо- и паропроницания.

1.3. Теплофизические свойства

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

Теплопроводность – способность материала пропускать тепловой поток через свою толщину при возникновении разных температур поверхности изделия. Тепло передаётся через материал посредством молекулярного, конвективного и лучистого переноса тепла. Степень теплопроводности материалов характеризует коэффициент λ , который равен количеству тепла, проходящего через стену из материала толщиной 1 м, площадью 1 м², в течение 1 ч, при разности температур противоположных поверхностей стены 1 градус К (°С). Коэффициент теплопроводности измеряется в Вт/(м·К) (ГОСТ).

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot (t_1 - t_2) \cdot T} \quad (15)$$

где Q – количество тепла, Дж; δ – толщина материала, м; A – площадь сечения, перпендикулярного направлению теплового потока, м²; $(t_1 - t_2)$ – разность температур, К; T – время прохождения тепла, ч.

Теплопроводность материала зависит от вещественного состава, строения и характера пористости, температуры и влажности материала. Особенности структуры оказывают значительное влияние на теплопроводность. Например, если материал имеет волокнистое строение, то тепло вдоль волокон передается быстрее, чем поперек. Так, теплопроводность древесины вдоль волокон равна 0.30, а поперек – 0.15 Вт/(м·К). 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 (увеличивается конвективный теплообмен), облегчающее перенос тепла. Наличие воды в порах материала повышает его теплопроводность, так как вода имеет коэффициент 0.58 Вт/(м·К), а воздух – 0.023 Вт/(м·К). При замерзании влажных материалов коэффициент теплопроводности еще более повышается, потому что коэффициент теплопроводности льда равен 2.3 Вт/(м·К), т. е. в 100 раз больше, чем у воздуха. С увеличением температуры тела увеличивается лучистый теплообмен в пористых материалах. Поэтому при расчёте конструкций коэффициент теплопроводности строительных материалов принимают для температурно-влажностных условий её эксплуатации.

Теплоемкость – свойство материала поглощать (аккумулировать) при нагревании тепло и выделять его при остывании. При охлаждении материалы выделяют тепло, причем тем больше, чем выше их теплоемкость. Коэффициент теплоемкости по массе C_m равен количеству тепла (Дж), необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 К.

$$C_m = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)}, \quad (16)$$

где Q – количество тепла, кДж; m – масса материала, кг; $(t_1 - t_2)$ – разность температур, К.

Теплоемкость неорганических строительных материалов (бетон, кирпич, природные каменные материалы) изменяется в пределах 0.75 – 0.92 кДж/(кг·К), древесины – 2.39...2.7 кДж/(кг·К). Вода имеет наибольшую теплоемкость – 4.19 кДж/(кг·К), а сталь всего – 0.48 кДж/(кг·К), то есть в 8.7 раз больше. Поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает, а стальные конструкции требуют для нагрева меньшей энергии.

Этот показатель имеет большое значение при проверке теплоотдачи стен и перекрытий, расчете подогрева материалов для зимних работ. Если строительный материал состоит из нескольких составных частей (например, бетон или строительный раствор), то коэффициент теплоемкости такого материала рассчитывают, как сумму произведений теплоёмкостей составляющих его компонентов на их весовую долю в материале. Значения средних значений показателей плотности, пористости и теплопроводности для ряда строительных материалов представлены в *табл. 2*.

Таблица 2. Средние значения показателей плотности, пористости и теплопроводности для ряда строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Бетон: ·				
- тяжёлый ·	2.60	2.40		1.16
- легкий ·	2.60	1.00		0.35
- ячеистый	2.60	0.5		0.20
Кирпич: ·				
- обыкновенный -	2.65	1.65		0.80
пустотелый	2.65	1.30		0.55
Природный -				
камень: ·				
- гранит ·	2.70	2.67	1.4	2.80
- известняк	2.70	1.40	1.4	0.50
Стекло: ·				
- оконное ·	2.65	2.65		0.58
- пеностекло	2.65	0.30		0.11
Полимерные материалы: ·				
- стеклопластик	2.00	2.0		0.5
- пенополистирол	1.20	0.025		0.03
Древесные материалы: ·				
- сосна ·	1.53	0.50		0.17
- ДВП	1.50	0.20		0.06

Термостойкость – способность материала выдерживать без разрушений определенное количество резких колебаний температуры. Единицей измерения этого свойства является количество теплосмен, определяемое для многих теплоизоляционных и огнеупорных материалов.

Жаростойкость – способность материала выдерживать температуру эксплуатации до 1000 °С без нарушения сплошности и потери прочности.

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 (обоженная глина), диасовые (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 и т. д.).

Огнестойкость конструкций – свойство конструкции сопротивляться действию огня и воды при пожаре в течение определенного времени. Ко всем конструкциям, используемым в строительстве, и особенно к тем, из которых выполняют несущие элементы здания: стены, колонны, перекрытия, – предъявляют требования по огнестойкости, которые зависят от категории здания и сооружения по пожаробезопасности, определяемой СНиПом. Для оценки огнестойкости введен показатель возгораемости, основанный на трех признаках предельного состояния конструкций: потере несущей способности (снижение прочности и увеличение деформаций), теплоизолирующих свойств и сплошности.

Предел огнестойкости конструкций и материалов характеризуется временем (ч) с начала теплового воздействия и до появления одного из признаков предельного состояния.

Огнестойкость (возгораемость) строительных материалов подразделяется на негоряемые, трудногоряемые и горяемые.

К *негоряемым* относят бетон, кирпич, сталь, природные каменные материалы.

Трудногоряемые – материалы, которые под действием огня или высокой температуры с трудом воспламеняются, тлеют или обугливаются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются (фибrolит, состоящий из древесных стружек и цементного камня, асфальтобетон, некоторые полимерные материалы).

Горяемые – материалы, которые при контакте с огнем загораются и горят открытым пламенем даже в случае ликвидации источника огня (древесина, битум, полимерные материалы).

Линейное температурное расширение материалов характеризуется коэффициентом, который для бетона и стали практически одинаковый и равен $10 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$, для гранита – $8 \dots 10 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$, для дерева – $20 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$. Благодаря одинаковости линейного температурного расширения у бетона и стали железобетонные конструкции могут работать без разрушения при колебаниях температуры. При сезонном изменении температуры окружающей среды и материала на $50 \text{ }^\circ\text{C}$ относительная температурная деформация в конструкциях зданий достигает $0.5 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-3}$, то есть $0.5 \dots 1 \text{ мм/м}$. Поэтому, во избежание растрескивания сооружений большой протяженности их разрезают температурными деформационными швами.

1.4. Акустические свойства

При действии звука на материал проявляются его *акустические свойства*. По назначению акустические материалы делят на четыре группы: *звукопоглощающие, звукоизолирующие, виброизолирующие и вибропоглощающие*.

Звукопоглощающие материалы предназначены для поглощения шумового звука. Основной акустической характеристикой является величина коэффициента звукопоглощения, равная отношению количества поглощенной материалом звуковой энергии к общему количеству падающей на поверхность материала в единицу времени. Звукопоглощающими материалами называют те, у которых коэффициент звукопоглощения больше 0.2. Эти материалы обладают открытой пористостью или имеют шероховатую, рельефную поверхность, поглощающую звук.

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

Виброизолирующие и вибропоглощающие материалы предназначены для устранения передачи вибрации от машин и механизмов на строительные конструкции зданий.

2. Химические и биологические свойства

2.1. Химическая стойкость

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим взаимодействиям с другими веществами. Возможность химических и физико-химических процессов определяется наличием у

строительных материалов таких свойств, как химическая активность, растворимость, способность к кристаллизации и адгезии.

Химическая активность может быть положительной, если процесс взаимодействия приводит к упрочнению структуры (образование цементного, гипсового камня), и отрицательной, если протекающие реакции вызывают разрушение материала (коррозионное действие кислот, щелочей, солей).

Химическая стойкость (кислотостойкость, щёлочестойкость и маслобензостойкость) – это свойство материалов противостоять разрушающему действию жидких и газообразных агрессивных сред. Химическую стойкость оценивают специальным коэффициентом, который рассчитывают по отношению прочности (массы) материала после коррозионных испытаний (в случае кислот и щелочей образцы в течение двух часов кипятят соответственно в концентрированном растворе кислоты или щелочи) к прочности (массе) до испытаний. При коэффициенте 0,90 – 0,95 материал признается химически стойким по отношению к исследуемой среде.

К кислотостойким материалам относятся углеродистые стали и чугуны, содержащие более 2.5 % углерода, титан, гранит, каменное литьё из диабазы и базальта, силикатное стекло, керамические материалы, кислотостойкий бетон и другие. К щёлочестойким материалам относятся специальные хромоникелевые стали, никелевые латуни, известняки, бетоны на основе портландцемента и др. Степень их химической стойкости не универсальна и требует конкретной оценки в зависимости от предполагаемой области применения.

Важным свойством является *маслобензостойкость* строительных материалов. При контакте с такими жидкими углеводородами как бензин и масло минерального происхождения многие полимеры могут растворяться и ли набухать. Так, например, резиновые материалы в бензине увеличиваются в объёме в несколько раз. Маслобензостойкость необходимо учитывать при выборе материалов для покрытия полов в гараже, станциях технического обслуживания, некоторых промышленных зданиях.

При выборе материалов необходимо учитывать также свойства материалов противостоять действию газов, растворов солей, способных накапливаться в порах материала, кристаллизоваться, вызывая рост деформаций и разрушение изделия. Возможно одновременное действие на материал нескольких химически агрессивных агентов.

Коррозионная стойкость – свойство материала сопротивляться разрушению в результате действия агрессивной среды.

Коррозионная стойкость зависит от состава и структуры материала, наличия механических напряжений, состояния поверхности, условиями воздействия агрессивной среды. Материалы стойкие в одних средах, могут быть нестойкими в других. Например, известняки стойки по отношению к щелочам, но разрушаются под действием минеральных кислот. Большинство природных каменных материалов (кроме гранита, базальта, кварцита), цементы (кроме кислотостойкого) нестойки по отношению действию кислот.

Для защиты бетона и других неметаллических материалов применяют защитные покрытия, увеличивают плотность структуры, используют специальные цементы, подбирают стойкие заполнители.

Количественно коррозионная стойкость материалов оценивается по уменьшению толщины материала (мм/год) или потере массы материала с единицы площади в течение часа, по потере механической прочности и другим показателям.

Коррозию железа и сплавов на его основе называют ржавлением. Коррозия металлов происходит вследствие химического и электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Коррозионную стойкость металлов повышают легированием (введением специальных добавок), рафинированием (очисткой от вредных примесей), нанесением защитных покрытий, химико-термической обработкой и другими способами.

К химическим свойствам материалов относят их *адгезионную способность* – способность сцепления (прилипания) и связь между находящимся в контакте поверхностями разнородных по составу веществ, которая проявляется в сопротивление отрыву или разделению контактирующих материалов. Количественно адгезия оценивается усилием отрыва, отнесённое к единице площади контакта.

Адгезия имеет большое значение при сварке и пайке материалов, склеивании, нанесении защитно-декоративных лакокрасочных покрытий. Иногда физико-химическая адгезия дополняется механической адгезией, при которой происходит механическое зацепление затвердевшего клея или покрытия за неровности (шероховатости) твёрдой поверхности, например, величина сцепления кирпичной кладки имеет решающее значение для сейсмических условий эксплуатации конструкций.

2.2. Биологическая стойкость

Наряду с химической коррозией выделяют *биологическую коррозию*, которая протекает под влиянием процессов жизнедеятельности бактерий и других живых организмов.

Способность материалов противостоять разрушающему воздействию биологической коррозии характеризует их *биологическая стойкость (биостойкость)*. Металлы, их сплавы, каменные и другие неорганические материалы, большинство пластмасс практически биостойки. Влажная древесина и некоторые другие органические материалы слабо сопротивляются биологически активной среде.

Биологическая коррозия неорганических строительных материалов (например, бетонов) может быть сведена к химической и физико-химической коррозиям, в которые продукты жизнедеятельности низших организмов являются агрессивными веществами. Разрушение органических материалов (древесины, войлока, текстильных материалов, некоторых видов пластмасс) происходит в результате деятельности низших растений и организмов, для которых вещество служит жизненной и питательной средой. Таковы, например, действия, вызываемые грибами и бактериями (гнили), насекомыми (червоточина) и др. Одни виды грибов, которые питаются плазмой клеток и изменяют только окрас древесины и практически не изменяют её прочность, называют деревоокрашивающими грибами. Другие грибки, называемые дереворазрушающими, питаются клетчаткой древесины и разрушая её клеточную структуру, снижают механические свойства древесины. Эти грибки наиболее опасны для несущих конструкций. Для борьбы с грибковыми поражениями органических материалов используют *антисептирующие средства (антисептики)*, которые обладают противомикробным действием, вызывающие гибель микробов (бактерицидное действие), либо задерживающие их рост (бактериостатическое действие).

Биологические свойства материалов могут быть использованы архитекторами не только с целью предотвращения нежелательных последствий, а для декоративных целей. Известен опыт использования таких пористых материалов как поропласта, керамзита, пенополиуретана, поры которых заполняют биологическим раствором, для выращивания декоративных растений на фасадах зданий и в интерьере. Из подобных материалов могут быть изготовлены декоративные перегородки, ограждения балконов, лоджий и т. п.

Повреждения древесины может быть вызвано так же насекомыми и их личинками. Такое повреждение древесины, называемое *червоточиной или поражением древоточцами*, ухудшает её механические свойства. Поверхностное повреждение древесины короедом практически не изменяет прочность древесины, в то время как глубокая червоточина, встречающаяся на всех породах древесины, может существенно снизить её прочность. Образовавшиеся отверстия в древесине способствуют поражению заболонной части ствола дерева гнилью и грибами.

3. Механические свойства

3.1. Нагрузки и деформации

Строительные материалы и конструкции подвергаются различным внешним силовым воздействиям – нагрузкам, которые вызывают внутренние напряжения и деформации. Нагрузки делятся на статические, действующие постоянно, и динамические, которые прикладываются внезапно и вызывают силы инерции.

На сопротивление статическим нагрузкам рассчитываются все здания и сооружения. Это нагрузки от оборудования, мебели, людей, самих конструкций и т.д. Ряд сооружений предназначены для восприятия не только статических, но и эксплуатационных динамических нагрузок: мосты, тоннели, дорожные и аэродромные покрытия, кузнечные и прессовые цеха, фортификационные сооружения и специальные объекты, а также динамические нагрузки от аварий на предприятии (взрыва и удара) и действия природных катастроф – землетрясений, ураганов, наводнений, селевых потоков, оползней и др. На *рис. 1* представлены диаграммы растяжения различных материалов.

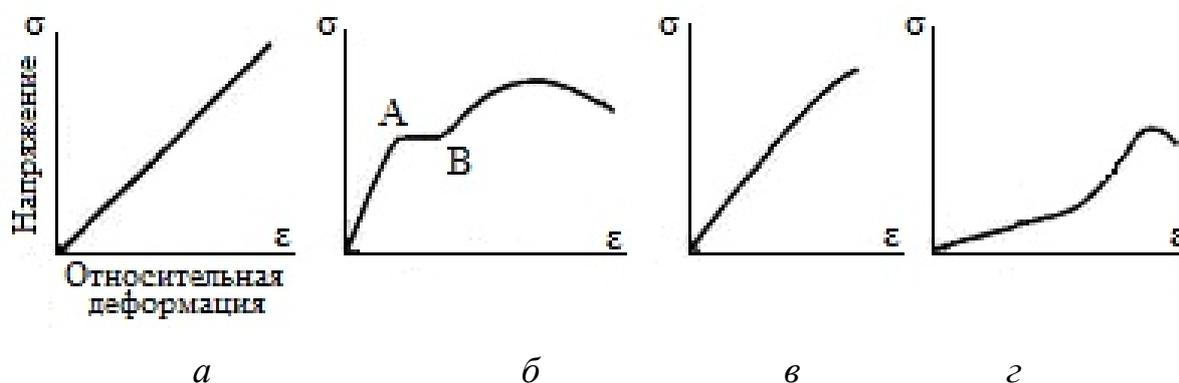


Рис. 1. Схемы диаграмм растяжения:
а – стекла, б – стали, в – бетона, г – эластомера

Механические свойства характеризуют поведение материалов при действии нагрузок различного вида (растягивающей, сжимающей, изгибающей и т. д.). В результате механических воздействий материал деформируется (*рис. 1*). Если внешние усилия невелики, деформация является упругой, т.е. после снятия нагрузки материал возвращается к прежним размерам. Если нагрузка достигнет значительной величины, кроме упругих деформаций появляются пластические, приводящие к необратимому изменению формы. Наконец, при достижении некоторой предельной

величины происходит разрушение материала. В зависимости от того, как материалы ведут себя под нагрузкой, их подразделяют на пластичные, упругопластичные и хрупкие.

Пластичные – это материалы, которые изменяют форму под нагрузкой без появления трещин и сохраняют изменившуюся форму после снятия нагрузки. Пластичные материалы, как правило, однородные, состоящие из крупных, способных смещаться относительно друг друга молекул (органические вещества), или состоящие из кристаллов с легко деформируемой кристаллической решеткой (металлы).

Хрупкие материалы, разрушаются без заметных остаточных деформаций (бетон, природный камень, кирпич) хорошо сопротивляются сжатию и в 5 – 50 раз хуже – растяжению, изгибу, удару (соответственно стекло – гранит).

Внешние силы, приложенные к телу, вызывают изменение межатомных расстояний, отчего происходит изменение размеров деформируемого тела на величину Δl в направлении действия силы сжатия – укорочение, или растяжения – удлинения. Относительная деформация равна отношению абсолютной деформации Δl к первоначальному линейному размеру l тела:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (17)$$

Напряжение материала – внутренняя сила, приходящаяся на единицу поверхности, вызванная в деформируемом теле под воздействием внешних сил. При одноосном растяжении (сжатии) напряжение (σ) определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (18)$$

где P – действующая внешняя сила; F - площадь первоначального поперечного сечения элемента, перпендикулярного направлению действия силы.

Модуль упругости E (модуль Юнга) связывает упругую деформацию материала и одноосное напряжение материала линейным соотношением, выражающим закон Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (19)$$

Прочность строительных материалов характеризуется пределом прочности, под которым понимают напряжение, вызывающее разрушение материала.

3.2. Прочность и твёрдость материалов

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ или растяжение $R_{раст}$ определяется по формуле:

$$R = \frac{P_{разр}}{F}, \quad (20)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); F – площадь поперечного сечения образца до испытания, мм² (см²).

Определение предела прочности на сжатие строительных материалов проводят согласно ГОСТам путем испытания образцов на механических или гидравлических прессах. Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии, растяжении и растяжении при изгибе представлены в Таблицах. Прочность зависит от структуры материала, вещественного состава, влажности, направления и скорости приложения нагрузки.

Связь между пределом прочности на сжатие и величиной средней плотности используют для оценки эффективности материала в конструкциях, вычисляя коэффициент конструктивного качества или удельную прочность по формуле:

$$R_{уд} = \frac{R_{сж}}{d}. \quad (21)$$

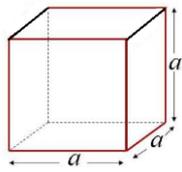
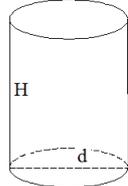
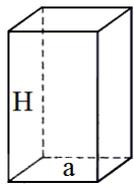
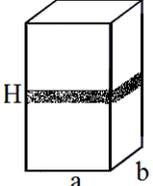
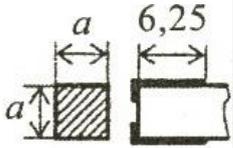
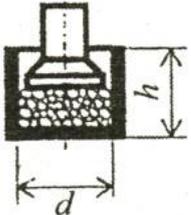
где $R_{уд}$ – показатель прочности материала, МПа; d – относительная прочность, отн.

Следовательно, $R_{уд}$, это прочность, отнесённая к единице средней плотности материала. Лучшие показатели $R_{уд}$ имеют конструктивные материалы, имеющие меньшую среднюю плотность. Так, например, для стеклопластика $R_{уд} = 450 / 2 = 225$ МПа, древесины – $R_{уд} = 100 / 0.5 = 200$ МПа, высокопрочной стали – $1000 / 7.85 = 127$ МПа, стали обыкновенной – $R_{уд} = 390 / 7.85 = 51$ МПа.

Для каменных материалов значения $R_{уд}$ составляют: для лёгкого конструкционного бетона – $40 / 1.8 = 22.2$ МПа, для тяжёлого бетона – $40 / 2.4 = 16.6$ МПа, для лёгкого конструкционно-теплоизоляционного бетона – $10 / 0.8 = 12.5$ МПа, кирпича – $10 / 1.8 = 5.56$ МПа.

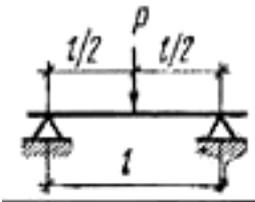
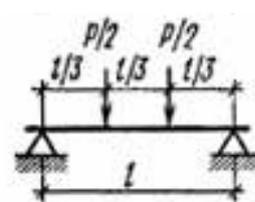
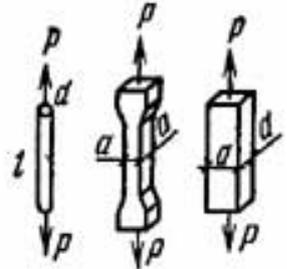
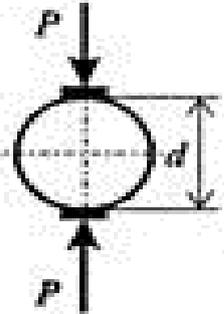
Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии представлены в табл. 3.

Таблица 3. Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон Раствор Природный камень	10×10×10 15×15×15 20×20×20 7,07×7,07×7,07 5×5×5 и др.
Цилиндр		$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон Природный камень	d=15; H=30 d=H=5; 7; 10; 15
Призма		$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон Древесина	a= 10; 15; 20 H=40; 60; 80 a= 2; H=3
Составной образец		$R = \frac{P}{S}$	Кирпич	a=12; b=12,3; H=14
Половина образца призмы, изготовленной из цементно-песчаного раствора		$R = \frac{P}{S}$	Цемент	a=4; S=25 см ²
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$	Крупный заполнитель для бетона	d=15; h=15

Схемы стандартных методов определения прочности при растяжении и при изгибе представлены в *табл. 4*.

Таблица 4. Схемы стандартных методов определения прочности при растяжении и при изгибе

Образец	Схема испытаний	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Испытание на изгиб				
Призма, кирпич в натуре		$R_{и} = \frac{3Pl}{2bh^2}$	Цемент Кирпич	4×4×16 12×6.5×25
Призма			Бетон Древесина	15×15×15 2×2×30
Испытание на растяжение				
Стержень, восьмерка, призма		$R_p = \frac{4P}{\pi d^2}$ $R_D = \frac{P}{a^2}$	Бетон Сталь	5×5×50; 10×10×80 d=1; l=5; l>10d
Цилиндр			Бетон	d=15

В расчете строительных материалов на прочность допускаемые напряжения должны составлять лишь часть их предела прочности.

Создаваемый запас обусловлен неоднородностью строения большинства строительных материалов, недостаточной надежностью полученных результатов при определении предела прочности, отсутствием учета многократного переменного действия нагрузки, старения материалов и т. д. Запас прочности и величину допускаемого напряжения определяют и устанавливают в соответствии с нормативными требованиями в зависимости от вида и назначения материала, долговечности строящегося сооружения.

Единичные результаты испытаний образцов недостаточно характеризуют прочность бетона в конструкции. Конструкционные материалы и изделия характеризуют маркой по прочности. *Марка М* – числовая характеристика какого-либо свойства бетона, принимаемая по его среднему значению, то есть без учёта степени его однородности.

Вследствие неоднородности свойств получаемого бетона, часть бетона в конструкции может иметь значения прочности бетона выше расчётной, другая часть ниже. В таком случае конструкция может не выдержать расчётных нагрузок и обрушиться. Поэтому необходимо обеспечить повышение надёжности бетонных и железобетонных конструкций.

Исключить неоднородность качества сырья, случайные изменения параметров производственного процесса невозможно. Но чем выше общая культура строительства, в том числе, чем выше уровень управления качеством продукции на производстве, тем лучше качество приготовления и укладки бетона в конструкцию, тем меньше будут возможные колебания показателей прочности бетона. Статистической характеристикой однородности свойств бетона является коэффициент вариации v , который равен отношению среднего квадратического отклонения отдельных результатов испытаний прочности к его средней прочности. Чем меньше его значение, тем более однороден по свойствам бетон. В идеальном случае $v = 0$, на практике для контроля прочности тяжёлого бетона принимают следующие оценки настроенности производства: при $v < 6\%$ однородность считается хорошей, при $v = 13\%$ – удовлетворительной, а при значении $v > 16\%$ недопустимой.

Таким образом, для нормирования прочности материала в конструкциях необходимо использовать характеристику, которая гарантирует получение бетона с заданной прочностью с учётом возможных её колебаний. Такой характеристикой является *класс бетона*.

Класс бетона В – это числовая характеристика какого-либо его свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 95%). Например, класс бетона В20 следует понимать так: при определении предела

прочности при сжатии бетона на любом, произвольно взятом участке конструкции будет получен результат 20 МПа и более, и лишь в 5% случаев можно ожидать значения менее 20 МПа. Между классом бетона и его маркой с учётом настроенности производства существует следующая взаимосвязь:

$$B = M (1 - 1.64 \cdot v). \quad (22)$$

Твёрдость – способность материала сопротивляться проникновению в его поверхность другого более твёрдого тела. Для определения твёрдости существуют несколько методов. Твёрдость каменных материалов, стекла оценивают с помощью минералов шкалы твёрдости Мооса, состоящей из 10 минералов, расположенных по степени возрастания их твёрдости (1 – тальк или мел, 10 – алмаз). Показатель сравнительной твёрдости испытуемого материала находится между показателями двух соседних минералов, из которых один чертит, а другой сам чертится этим минералом. В *табл. 5* представлены данные шкалы Мооса для природных каменных материалов.

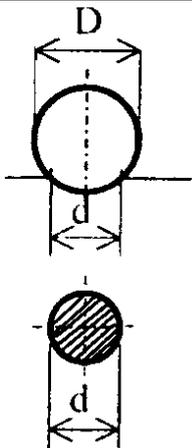
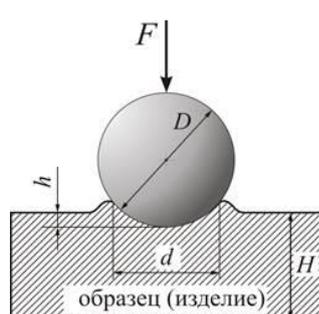
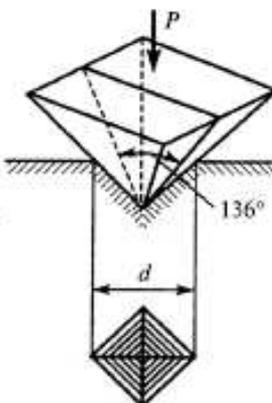
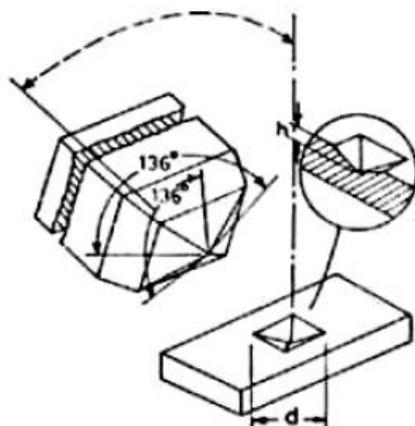
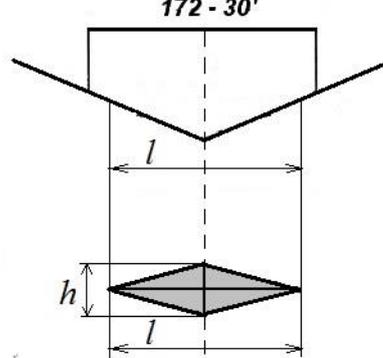
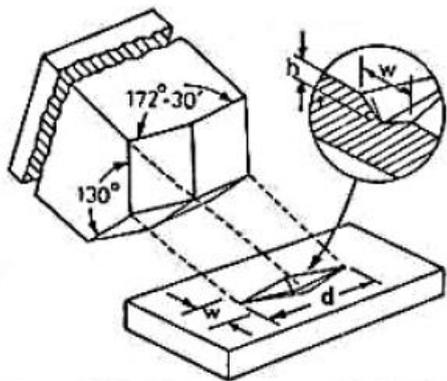
Таблица 5. Шкала Мооса для определения твёрдости природных каменных материалов

Твёрдость по Моосу	Эталонный минерал	Абсолютная твёрдость	Обрабатываемость
1	Тальк	1	Царапается ногтем
2	Гипс	3	Царапается ногтем
3	Кальцит	9	Царапается медью
4	Флюорит	21	Легко царапается ножом, оконным стеклом
5	Апатит	48	С усилием царапается ножом, оконным стеклом
6	Ортоклаз	72	Царапает стекло. Обрабатывается напильником
7	Кварц	100	Поддаётся обработке алмазом, царапает стекло
8	Топаз	200	Поддаётся обработке алмазом, царапает стекло
9	Корунд	400	Поддаётся обработке алмазом, царапает стекло
10	Алмаз	1600	Царапает стекло

Твёрдость металлов и пластмасс рассчитывают по диаметру отпечатка вдавливаемого стального шарика определенной массы и размера (метод

Бринелля), по глубине погружения алмазного конуса под действием заданной нагрузки (метод Роквелла) или площади отпечатка алмазной пирамиды (метод Виккерса). Твердость материалов определяет возможность их использования в конструкциях, подвергающихся истиранию и износу (полы, дорожные покрытия).

Таблица 6. Методы определения твёрдости по Бринеллю, Виккерсу и Кнупу

Наименование метода	Вид индентора и отпечатка	Схема метода
Метод Бринелля		
Метод Виккерса		
Метод Кнупа		

3.3. Износостойкость материалов

Истираемость характеризуется величиной потери первоначальной массы материала (г), отнесенной к единице площади (см²) истирания. Истираемость определяют на специальных кругах или посредством воздействия на поверхность материала воздушной или водной струи, несущей в себе зерна абразивных материалов (песок определенной крупности). Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней. Некоторые материалы испытывают также на износ.

Сопротивление удару имеет большое значение для материалов, применяемых для покрытия полов в цехах промышленных предприятий. Предел прочности материала при ударе характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к единице объема. Испытание материалов проводят на специальном приборе - копре.

Износ – разрушение материала при совместном действии истирающей и ударной нагрузок. Для определения износостойкости образцы материала испытывают в специальном вращающемся барабане с металлическими шарами. Прочность оценивают по потере массы образцов, выраженной в процентах. Износу подвергаются покрытия дорог, аэродромов и полов промышленных предприятий. Совокупность свойств материалов должна обеспечивать их долговременную нормативную эксплуатацию в зданиях и сооружениях – *долговечность*.

4. Технологические свойства

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 и другие смеси обладают пластичностью, вязкостью, которые обеспечивают заполнение определенного объема.

Пластично-вязкие материалы по своим физическим свойствам занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми и при определенных условиях могут как бы совмещать свойства твердого тела и жидкости. Известно, что глиняное или иное тесто можно разрезать ножом, чего нельзя сделать с жидкостью, но тесто под действием внешних сил может принимать форму сосуда, т.е. ведет себя как жидкость.

Пластичность – способность материала деформироваться без разрыва сплошности под влиянием внешнего механического воздействия и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекращается.

Пластичность – это важное свойство, влияющее на технологию производства бетонов, строительных растворов, керамических и других строительных материалов, а также на свойства 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 зависит от вещественного состава и температуры. Для количественной характеристики вязкости служит *коэффициент динамической вязкости*, который измеряют в Па·с. Вязкостные свойства имеют 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. Например, от вязкости красок готовых к употреблению зависит качество окрасочного слоя и его экономичность. При окрашивании поверхности кистью важно иметь вязкость краски, которая позволяет нанести без затруднений слой краски требуемой толщины. В случае высокой вязкости краски слой получается неоднородным, толстым и труднонаносимым. В противном случае, слой легко наносится, но получается тонким и просвечивающимся, не обеспечивает декоративное качество и защиту конструкции.

5. Эстетические свойства

Эстетические, или архитектурно-художественные, свойства строительных материалов и изделий определяется такими его параметрами, как форма, цвет, фактура и рисунок (текстура). Эстетические свойства определяются тремя основными видами характеристик: психологическими, физиологическими и физическими. Последние могут быть количественно выражены по результатам простых измерений геометрических размеров или с помощью специальных приборов (фотометров, спектрофотометров, блескомеров и т. п.). Объективная составляющая физиологических параметров цвета также поддается количественной оценке с помощью методов колориметрии, учитывающих спектральные характеристики зрительного анализатора среднего (нетренированного) наблюдателя.

5.1. Форма изделий

Форма строительных материалов и изделий играет существенную роль не только в их функциональной, но и в эстетической оценке. Издавна зодчие и строители заботились о том, чтобы форма применяемых материалов (каменного блока, кирпича, облицовочной плитки) была эстетически осмысленной, строгой, пропорциональной. Эстетичность формы материала и изделия определяется ее геометрией (для объемных изделий – кубическая, параллелепипедная, цилиндрическая, лекальная и т. д.; для плоских – квадратная, прямоугольная, многогранная, лекальная и т. д.) и пропорциями (соотношениями) основных размеров.

Форма – важная эстетическая характеристика и для таких строительных материалов и изделий, как стеклоблоки, профильное стекло (стеклопрофилит), штучный деревянный паркет, плинтусы, наличники, поручни и другие профильно-погонажные материалы из дерева, пластмасс и алюминиевых сплавов, рельефные облицовочные материалы для фасадов и интерьеров из листового штампованного металла или вакуумформованных пластмасс и т. д.

5.2. Цвет материалов и изделий

Цвет – одно из свойств объектов материального мира, воспринимаемое как осознанное зрительное ощущение. Под цветом материалов (изделий) понимают определенное зрительное ощущение, вызываемое в результате воздействия на глаз потоков электромагнитного излучения в диапазоне видимой части спектра (длина волн λ составляет 380 – 760 нм). Цвет материала (как цветовое ощущение) зависит от спектрального состава светового потока, отраженного поверхностью материала или прошедшего через него (последний характеризует цвет только светопропускаемых материалов – стекла, некоторых минералов и пластмасс).

В общем случае цвет материала обусловлен следующими факторами: его окраской, свойствами поверхности, оптическими свойствами источников света (известно, например, что цвет одних и тех же обоев по-разному воспринимается днем и при искусственном освещении вечером) и среды, через которую свет распространяется, индивидуальными особенностями зрительного анализатора и психофизического процесса переработки зрительных впечатлений в мозговых центрах наблюдателя. При качественном описании цвета используют три его взаимосвязанных субъективных атрибута: цветовой тон, насыщенность и светлоту.

Видимый спектр можно разделить на участки различной *цветности*; границы этих участков обозначают длины волн излучений в нанометрах (нм): 380 - 430 – фиолетовый цвет, 430 - 470 – синий, 470 - 510 – голубой, 510 - 560

– зеленый, 560-590 – желтый, 590 - 620 – оранжевый, 620 - 760 – красный. На граничных участках воспринимаются смешанные цвета (например, около 590 нм – желто-оранжевый, около 620 нм – красно-оранжевый и т. д.).

В спектре отсутствуют бело-серо-черные цвета, называемые *ахроматическими* (что в переводе с древнегреческого означает бесцветные). Эти отсутствующие в спектре цвета различаются только по светлоте, которую наше сознание обычно связывает с количеством белого или чёрного пигмента.

Хроматические (определенные по цветности) цвета материалов отличаются друг от друга как по светлоте, так и по цветовому тону («оттенку») – качественной характеристике, в отношении которой цвет материала можно приравнять к одному из названных выше спектральных или пурпурных (переходных между крайними спектральными – красным и фиолетовым) цветов. Количественно различные цветовые тона объективно характеризуют длинами волн λ , одинаковых по оттенку спектральных цветов. Светлота хроматических поверхностей материалов определяется из сравнения их с ахроматическими – коэффициентами отражения ρ тех ахроматических цветов, которые не кажутся ни темнее, ни светлее их, т.е. равны с ними по светлоте. Приблизительное представление о светлоте ахроматических и цветных поверхностей материалов можно получить по данным, приведенным в таблице.

Отделочные материалы часто бывают с полихромным (многоцветным) рисунком. Светлоту таких материалов можно приближенно определить по соотношению основных цветов в пределах раппорта (повторяющейся части) рисунка.

Степень отличия хроматического цвета от ахроматического той же светлоты называют *насыщенностью* цвета. Насыщенность характеризует уровень, силу выраженности цветового тона; в человеческом сознании она связана с количеством (концентрацией) пигмента, краски. Число различных ступеней насыщенности для различных цветов материалов колеблется от 4 до 25. Однако метод измерения насыщенности довольно сложен, и поэтому в цветоведении принято измерять не насыщенность, непосредственно воспринимаемую глазом, а так называемую колориметрическую насыщенность, или *чистоту* цвета P – соотношение (в процентах) интенсивностей монохроматического и белого цвета в смеси, т. е. долю чистого спектрального в смеси равноярких спектрального и белого. Чистота спектральных цветов принимается за 100 %, чистота идеально белого равнялась бы нулю.

Количественно определив светлоту (коэффициент отражения), цветовой тон (длину волны излучения, воспроизводящего в смеси с белым измеряемый цвет) и чистоту цвета, мы объективно характеризуем цвет

конкретного материала. Любое изменение цвета обязательно влечет за собой изменение, по крайней мере, одной из трех определяющих его величин. Умение «читать» цвет, т. е. представлять себе определенный цвет по его численным характеристикам, требует практического навыка. Для примера в *табл. 7* приведены основные показатели λ , R , ρ , характеризующие цвет некоторых красок.

Таблица 7. Коэффициенты отражения (светлота) поверхностей материалов

Цвет	Коэффициент отражения	Цвет	Коэффициент отражения
Черный	0.04-0.05	Темно-синий и темно-коричневый	0.10
Темно-серый	0.06-0.15	Зеленый и коричневый	0.15-0.2
Серый	0.6-0.5	Красно-оранжевый	0.2-0.25
Светло-серый	0.51-0.72	Бежевый	0.35-0.4
Бело-серый	0.73-0.82	Голубой	0.45-0.5
Белый	0.83-0.89	Желтый (яичный)	0.5-0.6

Придание численных значений описанным выше субъективным атрибутам цвета материала осуществляется либо компараторным методом (сравнением с эталонными цветами, приведенным в цветовых атласах, таблицах, колерных альбомах и т. д.), либо счётными методами. Для практического применения этих методов используют приборы – колориметры, компараторы, цветные фотометры и др.

В *табл. 8* представлены спектральные характеристики цветов, а в *табл. 9* представлено восприятие различных цветов человеком.

Таблица 8. Спектральные характеристики разных цветов

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Красный	625-740	480-405	1.68-1.98
Оранжевый	590-625	510-480	1.98-2.10
Жёлтый	565-590	530-510	2.10-2.19
Зелёный	500-565	600-530	2.19-2.48
Голубой	485-500	620-600	2.48-2.56
Синий	440-485	680-620	2.56-2.82
Фиолетовый	380-440	790-680	2.82-3.26

Таблица 9. Восприятие цвета человеком

Цвет	Ощущение	Психологическое воздействие	Ощущение пространства
Теплые цвета			
Желтый	Тепла	Привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
Оранжевый	Тепла	Привлекает внимание	Приближает
Розовый	Тепла	Привлекает внимание (в меньшей степени)	Приближает
Красный	Жары	Выделяется, очень утомляет	Приближает
Коричневый	Тепла	Утомляет	Приближает
Холодные цвета			
Серый	Прохлады	В меньшей степени привлекает внимание, не утомляет	Отдаляет
Голубой	Холода	Не утомляет	Отдаляет
Зеленый	Прохлады	Не утомляет даже при длительном наблюдении	Отдаляет
Фиолетовый	Свежести	Дезинтегрирует	Приближает

Международной осветительной комиссией (МОК) были приняты две системы измерения цветов: RGB (R – red, G - green, B – blue) и XYZ. Для первой системы за основные были приняты реальные цвета (красный, зеленый и синий), характеризующиеся определенной длиной волны. Эта система сложна в практическом применении. В системе XYZ любой цвет (F) определяется координатами цвета X, Y и Z, являющимися модулями векторной суммы трех первичных реально не воспроизводимых цветов, характеризующихся единичными векторами x, y и z:

Выражая количества трех первичных цветов, координаты X, Y и Z однозначно характеризуют цвет, т. е. человек не ощущает различий в двух цветах с одинаковыми координатами цвета. Однако спектральный состав таких двух цветов может быть различным. Если два образца имеют одинаковые координаты цвета, но различаются по спектральному составу, они называются метамерными. При другом источнике света эти же образцы будут различаться по цвету. Поэтому установлены три основных стандартных источника света – А, В, С – с соответствующими температурами излучения 2848, 4800 и 6500 °К. Чаще всего используют источник С, соответствующий рассеянному дневному свету.

Координаты цвета могут быть определены непосредственно при помощи приборов, называемых компараторами цвета, или рассчитаны на основании спектров отражения (спектрофотометрических кривых). По координатам цветов рассчитывают координаты цветности x , y , z , представляющие собой отношения каждой координаты цвета к их сумме:

$$X = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad Y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad Z = \frac{Z}{X+Y+Z}. \quad (23)$$

Поскольку $X + Y + Z = 1$, при расчетах Z обычно опускается.

Характеристики цвета определяются графически на так называемом цветовом графике МОК (рис. 2), представляющем собой замкнутую кривую, на которой располагаются все спектральные и не спектральные пурпурные цвета. Внутри этой области находятся все реальные цвета. С помощью цветового графика определяют доминирующую длину волны λ и насыщенность (чистоту).

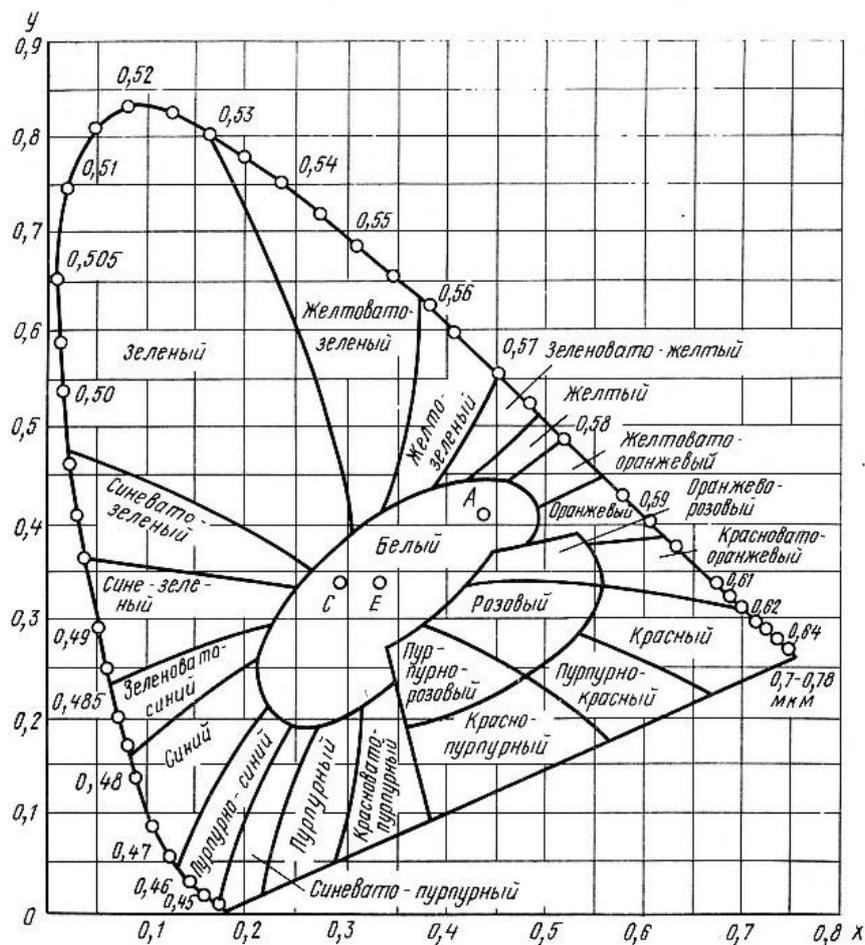


Рис. 2. Области различных цветов на цветовом графике МОК

Цветовые характеристики особенно важны для оценки качества отделочных материалов, применяемых в наружной и во внутренней отделке зданий и сооружений. Поскольку цвет является одним из важнейших факторов производственного и бытового комфорта, при выборе отделочных материалов необходимо учитывать не только их собственные цветовые характеристики, но и определенное психологическое воздействие конкретных сочетаний цвета различных материалов (или покрасок) - цветовых гармоний.

Проектируя здание и его отделку, выбирая необходимые отделочные материалы, архитектор должен принимать во внимание (кроме объективных факторов, обуславливающих цветовые ощущения – источники света, среда и т. п.) взаимосвязь цвета и фактуры поверхности, цвета и формы, роль светотени и рефлексов в восприятии цвета. Так, с помощью цвета можно зрительно «разрушить» стену, исказить объем, изменить пропорции объекта, а цветные рефлексы могут изменять оттенки поверхностей, например, при покрытии пола красным ковром белые стены будут восприниматься бледно-розовыми. В интерьере отделка удаленной торцевой стены материалом насыщенного теплого цвета способствует уменьшению воспринимаемой длины помещения, а применение холодного ненасыщенного, наоборот, зрительно удлиняет его.

Широко используется способ направленного изменения цвета искусственных, а при необходимости и природных строительных материалов с помощью пигментов – цветных тонкоизмельченных неорганических и органических веществ, вводимых в состав материала при его производстве или используемых для приготовления красок и пропиточных составов.

Значительные изменения цвета материалов происходят и в естественных условиях эксплуатации. Способность материала в течение длительного времени сохранять в эксплуатационных условиях без изменения свой цвет характеризуется его *цветоустойчивостью*. Это свойство искусственных материалов в значительной степени определяется стойкостью примененных пигментов. Изменение цвета окрашенных полимерных материалов наблюдается также по мере их старения.

5.3. Фактура материала и изделия

Фактура – видимое строение поверхности материала и изделия. Фактура характеризуется степенью неровности (рельефа) или гладкости поверхности и воспринимается благодаря зрительному восприятию светотеневых неравномерностей. По характеру поверхности материала различают две группы фактур: *рельефные* (различающиеся по высоте и характеру рельефа) и *гладкие* (от зеркально-блестящих до шероховато-ровных).

Поскольку некоторая доля падающего на поверхность любого тела (материала) света отражается от нее по закону «угол падения равен углу отражения», то строение поверхности можно определить по характеру отражения света (рис. 3). Материалы с совершенно гладкой (зеркальной) поверхностью отражают свет в одном определенном направлении, с которого эта поверхность воспринимается как блестящая. Материалы с шероховатой поверхностью отражают свет рассеянно, в разных направлениях, поскольку различные, ничтожно мелкие участки их поверхности расположены под разным углом к потоку падающего света. Такая поверхность с различных направлений воспринимается как матовая – равномерно яркая, но не блестящая, не имеющая бликов. Иногда выделяют еще одну разновидность гладкой поверхности – глянецовую, занимающую промежуточное положение между блестящей и матовой.

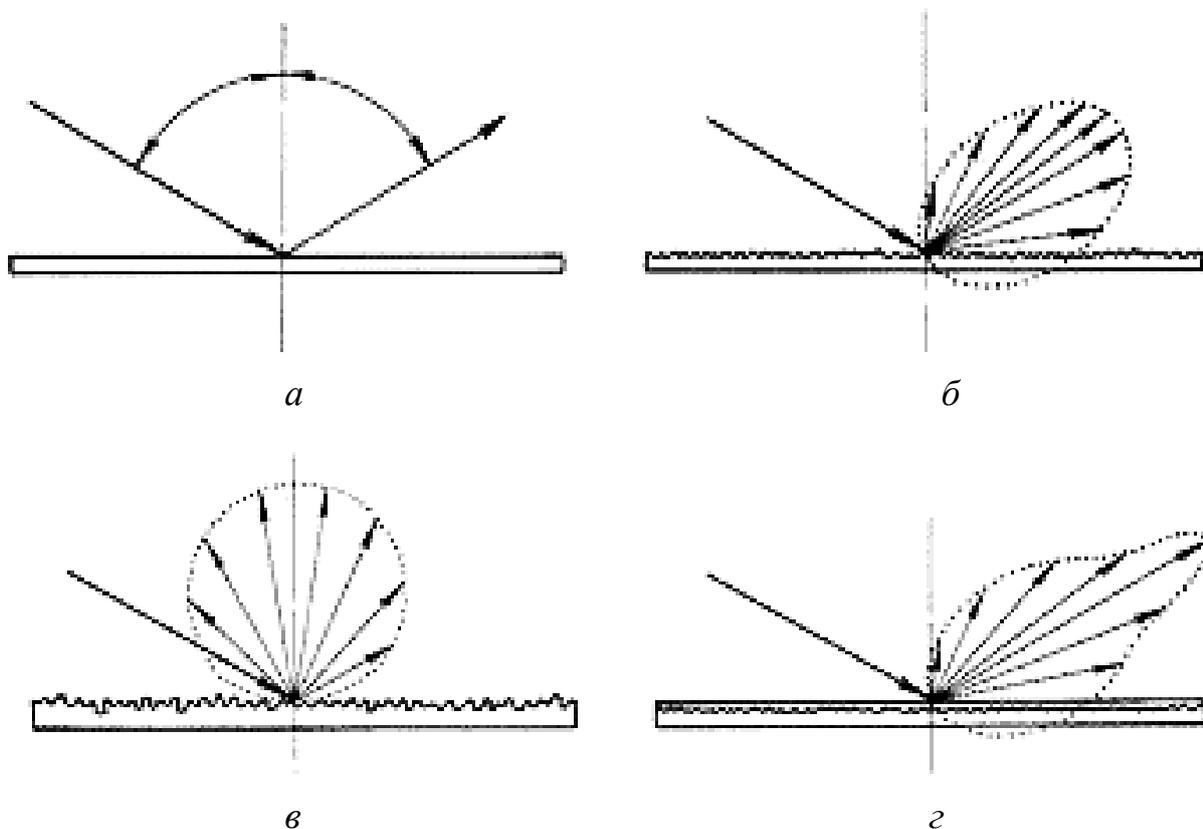


Рис. 3. Схемы отражения света от различных поверхностей материалов:
a – направленное от зеркальной (блестящей) поверхности (стекло);
б – направленно-рассеянное от матовой поверхности (металл),
в – диффузное от рельефной поверхности (штукатурка),
г – смешанное от глянецовой поверхности (эмалевое покрытие)

Цвет затененной части поверхности материала отличен от цвета ее освещенной части; в каких-то точках поверхности наблюдаются блики,

яркость которых зависит от яркости света и характера рельефа поверхности. Поэтому при рассеянном освещении поверхности со всех сторон и при интенсивном лобовом освещении неровности не дают теней, и фактура различается значительно хуже, а иногда и совсем не различается. Плохо различается фактура материала на большом расстоянии.

Много еще нераскрытых возможностей в декоративной обработке поверхности керамических, стеклянных, гипсовых, асбестоцементных, полимерных строительных материалов и изделий. Большое значение для пластики фасадов зданий имеет фактурная обработка лицевой поверхности стеновых и облицовочных материалов. Фактура материалов для подвесных акустических потолков играет существенную роль в создании акустического и светового комфорта в интерьерах.

5.4. Рисунок на изделии и текстура материала

Рисунок на поверхности материала и изделия может быть естественным или искусственным. Видимый на поверхности материала или изделия рисунок, отражающий его характерное внутреннее строение, называют *текстурой*. Искусственный рисунок наносится на поверхность материала и изделия покраской, печатью или любым другим способом. Рисунок на материале и изделии может быть цветным и черно-белым.

Угловая величина объекта наблюдения, его линейные размеры и дистанция наблюдения связаны определенной зависимостью. Поэтому, чтобы обеспечить четкую заметность рельефной фактуры материала с дистанции l реального обзора архитектурного объекта или его фрагмента, необходимо рассчитать приблизительную величину d наименьшего элемента рельефа, пользуясь следующей формулой:

$$d \geq 3l \cdot 10^{-4}. \quad (24)$$

Эта величина корректируется в зависимости от цвета и освещенности рельефной поверхности, характеристики и расположения источника света, положения поверхности по отношению к наблюдателю и других факторов.

Различают два вида рельефных фактур: организованную (с повторяющимся равномерным, часто геометрическим рисунком рельефа) и неорганизованную (с неравномерным, хаотическим рисунком). Пример первой – регулярная рифленая фактура природного камня, второй – фактура бетона с обнажённым заполнителем или каменная фактура скалы.

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 натурального камня – зернами, прожилками, порами; у бетона – цементным камнем, мелким и крупным заполнителем и т. д.

Текстура и цвет служат важными диагностическими признаками для распознавания пород минералов и древесины. Опытные архитекторы, строители и специалисты-материаловеды легко по внешним признакам различают десятки пород древесины и натуральных каменных материалов. Текстура древесины, отражающая ее анатомическое строение, во многом определяет ее художественно-декоративную ценность. Лиственные породы обладают, как правило, более выразительной и богатой текстурой, чем хвойные. Характер текстуры древесины резко изменяется в зависимости от направления разреза ствола (рис. 4): поперечного (торцового) или продольного (радиального и тангентального).

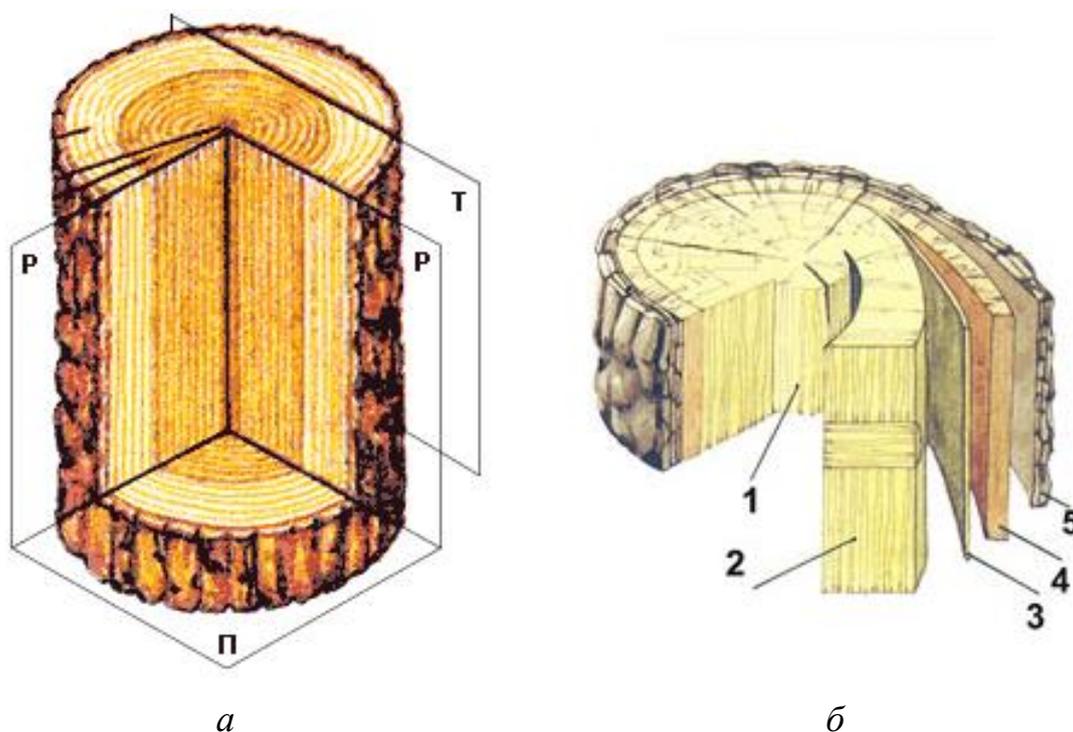


Рис. 4. *а* – разрезы ствола дерева: торцовый (П), радиальный (Р), тангентальный (Т); *б* – строение древесины: 1 – ядро, 2 – заболонь, 3 – камбий, 4 – внутренняя кора (луб); 5 – внешняя кора

Древесные породы с четко выраженными, заметными на продольном разрезе широкими сосудами имеют так называемую штриховую текстуру, причем, если эти штрихи собраны в широкие полосы (как, например, у дуба и ясеня), то текстура называется полосаштриховой, а если штрихи расположены беспорядочно (например, у грецкого ореха и эвкалипта), то – рассеянно-штриховой. Породы древесины с четко различимыми

сердцевинными лучами (дуб, бук, платан и др.), которые видны на радиальных разрезах как блестящие зеркала - прерывистые полосы или пятна, характеризуются зеркальчатой текстурой. На тангенциальных разрезах этих пород видна чешуйчатая текстура древесины. Породы древесины со слабо различимым анатомическим строением (например, береза, самшит, груша) называют *слаботекстурными*. По декоративности зеркальчатая текстура выше чешуйчатой, поэтому для облицовки панелей и мебели строганый радиальный шпон (тонкий срез) предпочтительнее тангенциального.

Текстура каменных и древесных материалов усиливается при полировке и прозрачной отделке поверхности мастиками и лаками. Выразительность естественного рисунка камня, стеклокристаллических и некоторых полимерных и других материалов увеличивается направленным освещением поверхности, игрой светопроницаемых, глухих и блестящих включений. Современная технология производства искусственных, прежде всего полимерных, отделочных материалов позволяет получать почти неограниченное разнообразие рисунков, включая специально созданные декоративные текстуры.

Искусственные рисунки различаются по многочисленным признакам: характеру, масштабу, раппорту (повторяющаяся часть рисунка, узора), количеству и характеристике цветов, и их сочетаниям и т. д. Рисунок может наноситься и не на поверхность материала, а располагаться под прозрачным верхним слоем (например, на внутренней стороне прозрачной полимерной пленки в многослойных отделочных материалах и линолеумах). Рисунок материала может создаваться на его поверхности не цветом, а сочетанием разного рельефа (травлением на стекле, сочетанием петельного и разрезного ворса ковровых материалов), перфораций (на акустических плитах) и другими способами.

Оценка эстетических свойств строительных материалов и изделий производится как методами измерения их физических параметров, так и визуальным сопоставлением с утвержденными эталонами. При визуальном методе оценка цвета, фактуры и рисунка производится в тех же условиях освещения, при которых предполагается эксплуатация материала.

ЛЕКЦИЯ 3. Древесные материалы и изделия

1. Общие сведения

Наша страна является первой в мире по количеству лесных площадей, которые занимают почти половину территории России – примерно 12.3 млн. км². Основная часть лесов России, около 3/4, расположена в районах Сибири, Дальнего Востока, в северных областях европейской части страны. Преобладающими породами являются хвойные: 37% лесов занимает лиственница, 19% – сосна, 20% – ель и пихта, 8% – кедр. Лиственные породы занимают около 1/4 площади наших лесов. Наиболее распространенной породой является береза, занимающая около 1/6 общей площади лесов.

Заготовленный лес в виде отрезков стволов стандартной длины доставляется автомобильным, железнодорожным и водным транспортом или путем сплава по рекам и озерам на деревообрабатывающие предприятия. Там из него изготавливают пиленные материалы, фанеру, древесные плиты, конструкции и строительные детали. При лесозаготовке и обработке древесины образуется большое количество отходов, эффективное использование которых имеет большое народно-хозяйственное значение. Изготовление из отходов древесины изоляционных древесноволокнистых и древесностружечных плит, широко применяемых в строительстве, позволяет экономить большое количество деловой древесины.

Хвойную древесину используют для изготовления основных элементов деревянных конструкций и строительных деталей. Прямые высокие стволы хвойных деревьев с небольшим количеством сучков позволяют получать прямолинейные пиломатериалы с ограниченным количеством пороков. Хвойная древесина содержит смолы, благодаря чему она лучше сопротивляется увлажнению и загниванию, чем лиственная.

Лиственная древесина большинства пород является менее прямолинейной, имеет больше сучков и более подвержена загниванию, чем хвойная. Она почти не применяется для изготовления основных элементов деревянных строительных конструкций.

Дубовая древесина выделяется среди лиственных пород повышенной прочностью и стойкостью к загниванию. Однако, ввиду дефицитности и высокой стоимости она используется только для небольших соединительных деталей.

Березовая древесина так же относится к твердым лиственным породам. Ее используют, главным образом, для изготовления строительной фанеры. Нуждается в защите от загнивания.

Древесина представляет собой волокнистый, пористый, гидрофильный материал растительного происхождения, состоящий в основном из целлюлозы. Для всех пород дерева (хвойные, лиственные) в связи с идентичностью основного вещественного состава истинную плотность принимают равной 1540 кг/м^3 . Средняя плотность и прочность зависят от пористости древесины, которая в зависимости от породы может быть 30...80 %. Средняя плотность колеблется от 450 кг/м^3 – кедр, пихта, до 900 кг/м^3 и более – граб, железное дерево, самшит, кизил. Предел прочности на растяжение вдоль волокон – от 50 до 150 МПа и более.

Макроструктуру древесины изучают в поперечном (торцевом) и двух продольных сечениях: радиальном и тангенциальном.

Свойства древесины в значительной степени определяются температурно-влажностными условиями и расположением волокон (анизотропность). С повышением влажности снижается прочность, повышаются плотность, электро- и теплопроводность, изменяются размеры изделий. Снижение влажности вызывает интенсивную влагоотдачу, которая приводит к появлению усадочных деформаций. Вследствие волокнистого строения усадка в разных направлениях неодинакова: в поперечном – 3...6 %, продольном – до 1 %, тангенциальном (по хорде) – 6...12 %, что приводит к короблению изделий и появлению трещин на торцах в круглом лесе и пиломатериалах. Чтобы этого избежать, торцы бревен, брусьев обмазывают специальными защитными составами. Столярные изделия (рамы, двери и т. д.), эксплуатируемые внутри помещения, для исключения коробления выполняют из комнатно-сухой древесины влажностью 8...12 %, на открытом воздухе – воздушно-сухой (15...20 %). Сушку древесины проводят в естественных условиях под навесом от 3 до 12 месяцев или в специальных сушильных камерах – 3...6 суток. Для сушки особо ценных пород применяют электрический ток высокой частоты. Оценку качества древесины проводят на основании показателей свойств, пересчитанных на стандартную влажность (12 %).

Отрицательными свойствами древесины, осложняющими ее использование в строительстве, являются низкие био- и огнестойкость, которые зависят от вещественного состава материала. Так как при повышении влажности древесина из-за жизнедеятельности микроорганизмов гниет, то к наиболее эффективным мерам защиты относятся: наличие вентиляции, снижение влажности воздуха, пропитка и окраска изделий специальными составами – масляными и водорастворимыми *антисептиками*. Повышение пожаробезопасности достигается путем пропитки огнезащитными составами – *антипиренами*, окраски вспучивающимися красками, обмазки специальными штукатурками на основе глины с добавлением жидкого стекла и асбеста, защитой огнестойкими гипсокартонными и асбестоцементными листовыми материалами. Одним из

перспективных способов улучшения свойств древесины малоценных пород является пропитка изделий из нее полимеризующимися мономерами.

Благодаря комплексу таких положительных свойств, как легкость, высокая прочность на изгиб и сжатие, технологичность, низкие тепло- и электропроводность, декоративность, древесину используют для изготовления конструкционных, отделочных материалов и материалов специального назначения.

Защита от гниения

1. Стерилизация древесины в процессе высокотемпературной сушки. Прогрев древесины при $t > 80$ °С, что приводит к гибели спор грибов, грибниц и плодовых тел гриба.

2. Конструктивная защита предполагает режим эксплуатации, когда влажность древесины $W < 20\%$ (наименьшая влажность при которой могут расти грибы):

2.1. защита древесины от атмосферной влаги – гидроизоляция покрытий, необходимый уклон кровли;

2.2. защита от конденсационной влаги – пароизоляция, проветривание конструкций (осушающие продухи);

2.3. защита от увлажнения капиллярной влагой (от земли) – устройство гидроизоляции. Деревянные конструкции должны опираться на фундамент (с битумной или рубероидной изоляцией) выше уровня грунта или пола минимум на 15 см.

3. Химическая защита от гниения необходима, когда увлажнение древесины неизбежно. Химическая защита заключается в пропитке ядовитыми для грибов веществами – антисептиками.

3.1. водорастворимые антисептики (фтористый, кремнефтористый натрий) – это вещества, не имеющие ни цвета ни запаха, безвредные для людей. Используются в закрытых помещениях;

3.2. маслянистые антисептики – это минеральные масла (каменноугольное, антротеновое, сланцевое, древесный креозот и др.). Они не растворяются в воде, но вредны для человека, поэтому используются для конструкций на открытом воздухе, в земле, над водой. Пропитка выполняется в автоклавах под высоким давлением (до 14 МПа).

4. защита от жуков точильщиков – нагрев до $t > 80$ °С или окуливание ядовитыми газами типа гексахлорана.

Защита деревянных конструкций от возгорания

1. Конструктивная. Ликвидация условий, благоприятных для возгораний.

2. Химическая (противопожарная пропитка или окраска). Пропитывают веществами, которые называются антипиренами (например, аммонийная соль, фосфорная и серная кислота). Пропитку выполняют в автоклавах одновременно с антисептированием. При нагреве антипирены расплавляются, образуя огнезащитную пленку. Защитная окраска выполняется составами на основе жидкого стекла, суперфтора и т. д.

2. Применение

К *конструкционным* материалам относят круглые лесоматериалы, пиломатериалы (доски, брусья), листовые, полученные послойным склеиванием древесного шпона (фанера, слоистый пластик), а также цементосодержащие изделия: прессованные (древесно-цементные) или отформованные (фибролитовые, арболитовые) плиты, содержащие цемент и древесные отходы разной степени измельчения (*рис. 5, 6*). Эти материалы используют для возведения стен, каркасных перегородок, кровель в виде жестких оболочек, перекрывающих большие площади, клееных арок, балок и ферм.

Конструкционно-отделочные материалы представлены прессованными твердыми древесноволокнистыми (ДВП) и древесностружечными (ДСП) плитами с отделкой лицевой поверхности декоративными красочными и пленочными материалами, пластиком или шпоном ценных пород древесины (орех, ясень, бук, граб). Эти изделия используют для выполнения полов, подвесных потолков, а также высококачественной отделки стен при влажности в помещении не более 60 %. Высокая степень декоративности, долговечность отличают полы, выполненные из паркета (паркетных щитов и досок) лиственных пород древесины, обладающих неповторимой текстурой (рисунком). Наряду с обычным паркетом все большее распространение получает ламинированный паркет, имеющий верхнее полимерное защитное покрытие.

К материалам *специального назначения* относятся теплоизоляционные и акустические фибролитовые и арболитовые плиты, а также мягкие ДВП плотностью менее 600 кг/м³. Их используют для утепления кровель, стен и полов, а также выполнения акустических потолков в зданиях общественного и культурного назначения. Для усиления эффекта звукопоглощения плиты перфорируют или наносят поверх них специальные рельефные штукатурки. Определенное место в номенклатуре выпускаемых изделий занимают *столярные*, к которым относятся подоконные доски, оконные и дверные блоки, ворота, а также такие погонажные отделочные изделия, как плинтусы, вагонка, перила, рейки.

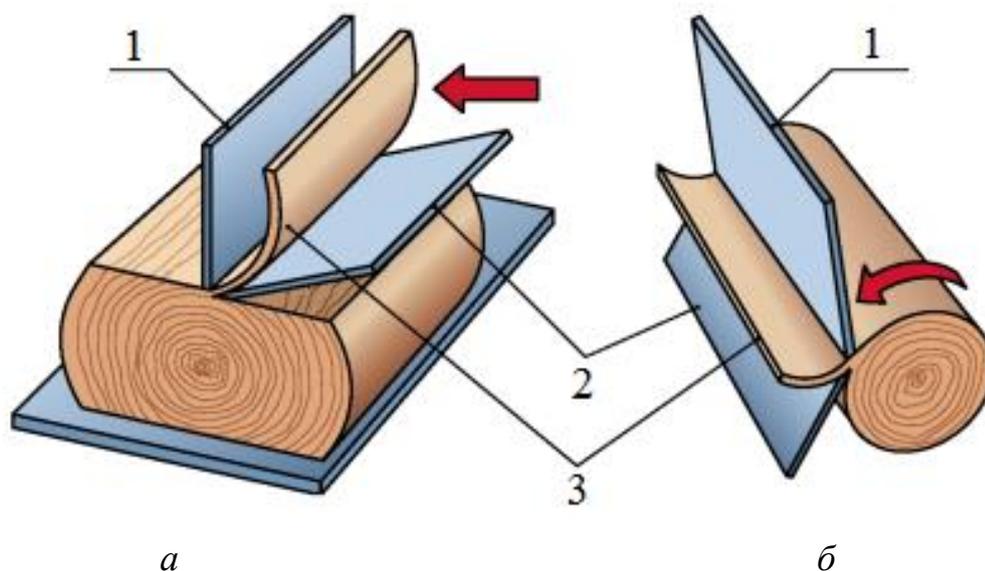


Рис. 5. Схема получения шпона: а – строганого; б – лущёного;
1 – упор, 2 – нож, 3 – шпон

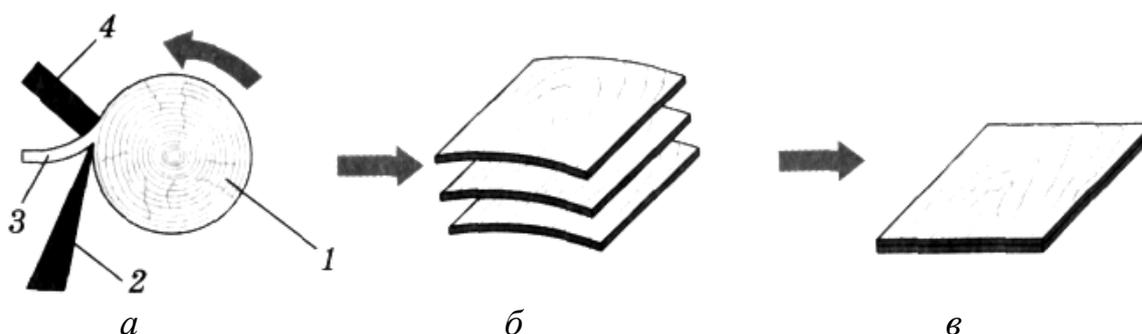


Рис. 6. Схема получения фанеры: а – лущение чурака: 1 – заготовка;
2 – лущильный нож; 3 – слущиваемый шпон; 4 – упор; б – листы шпона;
в – лист фанеры

Фанера – листовый строительный материал, который обычно состоит из плотно склеенных по толщине нескольких тонких слоев древесины (шпона), причем направления волокон в соседних слоях шпона, как правило, взаимно перпендикулярны. Однако производятся и специальные виды фанеры, рассчитанные на повышенное сопротивление изгибу и кручению; эти изделия склеиваются так, что направления волокон шпона располагаются под иными углами – 30° , 45° и 60° – по отношению к смежным слоям или какому-либо краю листа. Если направления волокон всех слоев изделия параллельны, то оно именуется ламинированной (или слоисто-прессованной) древесиной. Фанера с симметричной относительно среднего слоя (сердинки) структурой лучше всего сопротивляется короблению. Такая структура типа «сэндвич» характерна для промышленно выпускаемой фанеры, которая обычно склеивается из нечетного числа слоев и соответственно называется

трехслойной, пятислойной, семислойной и т. д. Лист шпоновой фанеры набирается из слоев шпона одной древесной породы. Столярные фанерованные изделия с облицовкой и декоративной отделкой широко применяются при изготовлении мебели, дверей, стен и пр. Панели фанеры широко используются при облицовке стен, настиле полов, возведении перегородок, крыш, сооружении различных желобов, опалубок и пр. В разрезанном виде их применяют во многих отраслях производственной деятельности. В высококачественных изделиях мебельной промышленности плоские поверхности делаются из фанеры, обычно облицованной дорогим декоративным шпоном.

ДСП – изделие, которое изготавливают из прессованной крупной древесной стружки с добавлением в качестве связующего вещества терморезистивной синтетической смолы. Главные достоинства ДСП – низкая стоимость и простота обработки. Полноценным сырьем для ДСП является любая малоценная древесина, как хвойных, так и лиственных пород. Наличие гидрофобизирующих, антисептических и других добавок обуславливает прочность и долговечность материала. На первом этапе производства происходит переработка сырья. Использование круглой древесины сокращается за счет использования таких материалов, как щепа, опилки и вторичная древесина. Часто в производство ДСП идут все виды сырья одновременно, или в смешанных видах. Полученную стружку сортируют, очищают и сушат. Затем из просмоленной стружки формируется так называемый ковер, из которого после прессования получается плита. Далее плиты кромкуются и подвергаются различным формам конечной обработки – шлифованию, нанесению покрытий и другим.

Качество ДСП зависит от степени обработки поверхности. Первосортные плиты должны быть отшлифованы, на поверхности не должно быть царапин и других механических дефектов, пятен различного происхождения, края должны быть ровными, их толщина 10 – 26 мм. Из таких плит делают мебель. Их обязательно проверяют на содержание формальдегида. Только ДСП с безопасным количеством этого вещества может считаться экологически чистой. Уровень эмиссии формальдегида определяют «камерным» способом. Он заключается в замере уровня вредного вещества в воздухе камеры, в которую поместили образец ДСП. Этот метод считают самым эффективным. Существует два вида ДСП: E1 и E2. E1 отличается большей экологической чистотой, показатель эмиссии формальдегида у нее заметно ниже. А вот E2 запрещается использовать в производстве детской мебели. Современная технология позволяет производить ДСП с уровнем формальдегида значительно более низким, чем установленная предельно допустимая концентрация. Поэтому этот материал можно считать вполне безопасным для здоровья.

Одно из достоинств ДСП – прочность, не уступающая натуральной древесине. Плиты легко обрабатываются, несмотря на большую плотность.

Для изготовления мебели ДСП облицовывают ламинатом, меламином, шпоном, покрывают лаком или мелкодисперсной стружкой. ДСП бывает самых разнообразных оттенков, из которых можно выбрать подходящий. ДСП – это качественный материал, отвечающий мировым стандартам безопасности.

ДВП знакома всем тем, кто хоть раз отодвигал шкафы от стен. Это знакомый всем нам оргалит. Задние стенки большинства шкафов, днища выдвижных ящиков, эти шершавые на ощупь листы и есть ДВП. В самой дорогой мебели вместо ДВП используется фанера, но по эксплуатационным свойствам она ненамного лучше. ДВП получается из спрессованной древесной пыли, но в ДВП частички дерева распарены, плита делается способом мокрого прессования. Именно поэтому «изнанка» ДВП фактурой напоминает поверхность творога с «сеточкой», как от влажной марли. И поэтому же плиты ДВП не бывают толстыми: технология не позволяет. Обычно одна сторона ДВП такой и остается, а другую покрывают пленкой (ламинируют или кашируют).

Положительным качеством ДВП является низкая цена при высокой долговечности. Отрицательным – небольшой спектр использования. Конечно, полный комплект мебели из ДВП не сделаешь, но при этом «на своем поле» ДВП практически ничем невозможно заменить. Одним из современным материалом для покрытия пола является так называемый ламинат – имитация паркетной доски, выполненная на основе ДВП.

МДФ (Medium Density Fiberboards) – древесноволокнистая плита средней плотности - продукт древесного происхождения, образованный прессованием древесных волокон с использованием органических связующих в условиях высокого давления и температуры. Разница между стружкой для ДСП и для МДФ – как между продуктами, которые пропущены через мясорубку, и продуктами, измельченными миксером. Плита МДФ имеет однородную плотную структуру, благодаря чему по возможностям механической обработки она значительно превосходит натуральное дерево. Для изготовления плит МДФ используется, как правило, низкосортная древесина и отходы деревообработки (щепы, горбыль). Получаемый продукт полностью соответствует всем необходимым требованиям к современному конструкционному материалу – он экологически безопасен, прочен, легко поддается фрезерованию и другим видам механической обработки. Помимо этого, плита МДФ очень удобна для нанесения различных декоративных пленок, либо оклеивания натуральным шпоном. Благодаря этим качествам плита МДФ служит идеальным материалом для воплощения самых нестандартных дизайнерских решений.

Положительные качества МДФ – так как частицы дерева скрепляются лигнином и парафином, МДФ – очень экологичный материал. МДФ достаточно мягкий и поддается самой тонкой обработке, поэтому это любимый фасадный материал современных дизайнеров. Резные шкафчики

кухонь, изящные спинки кроватей – все это МДФ. МДФ обладает всеми достоинствами дерева, но стоит намного дешевле, да и служит дольше. Высокие звуко- и теплоизоляционные свойства, возможность нанесения разнообразных декоров. Отрицательные качества - высокая цена на материал.

Плиты МДФ используются для изготовления декоративных мебельных фасадов, а также предметов для отделки интерьера, таких как стеновые панели, декорационные планки, плинтусы, профили, столешницы. Кроме того, плита МДФ служит прекрасным материалом для изготовления столярных изделий, например, дверей и наличников. Объёмные фасады МДФ/ПВХ обладают рядом преимуществ. Они: экологичны, устойчивы к царапанию и сколам, допускают обработку бытовыми реактивами, устойчивы к пару и выгоранию. Данная технология позволяет производить фасады со скруглёнными углами, фрезеровкой по периметру и пластик, в сочетании с огромным выбором плёнок и фрез, фасады МДФ/ПВХ очень разнообразны, и порой неповторимы. Кроме всего, в стиле мебели можно изготовить двери, стеновые и потолочные панели и даже подоконники, создав тем самым свой, неповторимый интерьер. Особые качества мебельных фасадов: используемые пленки ПВХ эстетичны; обладают высокой светостойкостью; прочны; позволяют применять бытовые реактивы при уходе за мебелью в процессе эксплуатации.

Другие древесные материалы. *Постформинг* – это ламинированная ДСП стандартных размеров, которая поставляется для отделки рабочих и фасадных поверхностей мебели. Классический постформинг представляет собой ДСП, покрытую ламинатом при повышенных температуре и давлении, что обеспечивает высокую устойчивость к механическим, термическим и химическим воздействиям. Состав «сэндвича» изделия толщиной 38 мм: 1 – термостойкий пластик; 2 – влагостойкая плита МДФ; 3 – экологически чистая ДСП сильной прессовки; 4 – армация (место склейки двух ДСП); 5 – ламинат. При производстве постформинга применяется декоративная пленка повышенной, плотности. Толщина постформинга для рабочих поверхностей – 26, 28, 38 и 60 мм, идет тенденция на расширение размерного ряда столешниц. Кроме стандартной ширины – 600 мм, появились изделия 400, 700, 800 мм. Более широкие крышки столов особенно удобны, когда необходимо спрятать под них бытовую технику, да и на поверхности в таком случае найдется место не только для приготовления пищи, но и для различных кухонных агрегатов.

Преимущества постформинга:

- не меняют своих цветовых характеристик с течением времени;
- характеризуются повышенной термостойкостью;
- устойчивы к истиранию, царапинам от острых предметов (ножи, вилки) и воздействию бытовой химии;
- не боятся пищевых кислот, кофе, вина, чернил;
- обладают высокой ударопрочностью;

– наличие герметизирующего слоя на стыке пластика и противовеса исключает контакт основы с водой, защищая изделие от разбухания.

Постформинг применяется для: кухонных столешниц; столешниц письменных столов; магазинных прилавков; - внутренних подоконников; барных стоек; внутренней отделки помещений банков, офисов, магазинов, гостиниц, ресторанов и т. д. Столешницы на основе влагостойкой ДСП. Сегодня российские покупатели кухонной мебели предъявляют повышенные требования к внешнему виду и качеству предлагаемой им продукции. Знакомясь с образцами импортной мебели, россияне хотят видеть в своих домах красивые и современные мебельные гарнитуры. На сегодняшний день европейские производители для изготовления кухонь используют столешницы толщиной 38 мм на базе «зеленой» ДСП повышенной влагостойкости.

ЛЕКЦИЯ 4. Природные каменные материалы

1. Общие сведения

Свойства материалов из природного камня зависят от условий образования горной породы. Так, для группы первичных *магматических пород*, сформировавшихся в результате охлаждения магмы (природный расплав), наиболее важными факторами являются скорость снижения температуры и давления. При кристаллизации магмы в глубине земной коры получаются крупнокристаллические, плотные, высокопрочные *глубинные породы* (гранит, сиенит). В результате быстрого охлаждения, но без выхода на земную поверхность, образуются стеклокристаллические плотные *излившиеся породы*, обладающие, как правило, высокой кислотостойкостью (диабаз, базальт). *Высокопористые* породы образуются в результате выхода лавы на поверхность и резкого охлаждения (вулканическая пемза), *рыхло-сыпучие* – за счет выброса расплава под давлением на большую высоту (вулканический пепел). Из накопленного и спрессованного пепла получается вулканический туф, представляющий собой относительно пористую декоративную породу.

Вторичные *осадочные породы* образовались в результате физической и химической коррозии магматических пород под действием ветра, воды, смены температуры – *обломочные*, за счет выпадения из пересыщенных растворов кристаллов солей и их накопления в течение тысяч лет – *химические осадки* или путем разложения, накопления и уплотнения остатков органического происхождения (водорослей, ракообразных) – *органогенные*. Первые представляют собой рыхлые, сыпучие материалы: песок, щебень, гравий, глина. В естественных условиях в результате соединения этих зерен природным клеем (глинистым, кремнеземистым) образуются плотные, прочные *цементированные породы*: брекчия (цементация щебня), конгломерат (цементация гравия), песчаник (цементация песка). Минералы, образованные химическим путем (доломит, известняк, гипс), представляют собой плотные, прочные породы, которые нашли широкое применение в качестве сырья для получения минеральных вяжущих веществ (цемент, гипс, известь). Органогенные породы (мел, диатомит, известняк-ракушечник) – относительно мягкие, пористые, склонны к выветриванию и разрушению водой.

К третьей группе горных пород относятся *метаморфические* (видоизмененные). Свойства этих материалов обусловлены температурой и, в большей степени, величиной и направлением давления в глубине земной коры, способствующими формированию плотной монолитной (многостороннее давление) или слоистой (давление со сдвигом в одном

направлении) структуры. К монолитным относятся мрамор, образованный из известняка, и кальцит – из песчаника, к слоистым – сланцы и гнейсы.

При эксплуатации на воздухе изделия из природного камня подвергаются физической и химической коррозии, а в промышленных городах в большей степени химической коррозии. Для защиты от разрушения применяют шлифовку и полировку поверхности, ее пропитку гидрофобными составами, нанесение пленочных полимерных покрытий, обработку составами, химически закупоривающие поровую структуру поверхностного слоя изделия (флюатирование).

2. Технология

Добычу природного камня осуществляют в карьерах открытым или подземным способом в зависимости от глубины залегания породы. Затем материал поступает на механическую обработку, вид которой обусловлен формой, размером и назначением получаемых материалов. Стеновые камни, блоки и облицовочные плитки получают методом *распиловки*. Коррозионностойкое каменное литье в виде плит – *литьем* расплава кислотостойкой горной породы в формы. Волокна различной длины и сечения – *подачей расплава на центрифугу* (короткие – штапельные) или *протягиванием через фильеры* (длинномерные). Высокопористые легкие заполнители (вермикулит, перлит) – путем *резкого нагрева* дробленых природных стекол, вызывающего значительное увеличение объема материала за счет выделения кристаллизационной воды и газообразных продуктов. Крупный, мелкий заполнители и порошкообразный наполнитель для производства бетонов, строительных растворов, мастик, красочных составов – *дроблением* и *помолом* камня с сортировкой по размерам (фракциям).

3. Применение

Горные породы используют для производства *конструкционных, отделочных* материалов и материалов *специального назначения*: кислотостойких, теплоизоляционных, акустических. Большой объем добываемого сырья идет на получение искусственных материалов (керамических, стеклянных, металлических, минеральных вяжущих) и заполнителей для бетонов и растворов. Природный камень плотностью 900...2200 кг/м³ применяют в виде стеновых блоков для кладки наружных стен и перегородок (доломит, известняк-ракушечник, туф). Такие плотные породы, как гранит, сиенит и другие, используют в виде бутового камня при возведении гидротехнических сооружений, фундаментов, стен неотапливаемых зданий. В дорожном строительстве их применяют в качестве бортовых камней, брусчатки и булыжного камня, которые должны обладать

высокой износостойкостью и морозостойкостью. Горные породы высокой декоративности (гранит, мрамор, лабрадорит) в виде плит и плиток используют для отделки станций метро, переходов, фасадов стен и полов зданий общественного и культурного назначения. Из полученных при обработке сырья отходов и минерального или полимерного связующего выпускают искусственные отделочные плиты. Минеральные волокна производят не только из расплава, но и механическим дроблением с последующей распушкой (хризотил-асбест). С использованием асбеста изготавливают асбестоцементные изделия в виде листов, плиток, труб.

К теплоизоляционным и акустическим материалам относят такие рыхлые сыпучие, как керамзит, перлит, а также крупноразмерные жесткие и мягкие плиты на основе минеральных волокон и связующих. Кислотостойкие изделия для антикоррозионной защиты полов, стен, технологического оборудования получают распиловкой или литьем из базальта, андезита, диабазы.

ЛЕКЦИЯ 5. Керамические материалы и изделия

1. Общие сведения

В понятие керамические материалы и изделия входит широкий круг материалов с различными свойствами изготовленных из глины способом обжига. Их классифицируют по ряду признаков.

По *назначению* керамические изделия подразделяют на следующие виды: стеновые, отделочные, кровельные, для полов, для перекрытий, дорожные, санитарно-технические, кислотоупорные, теплоизоляционные, огнеупорные и заполнители для бетонов.

По *структуре* различают керамические изделия с пористым и спекшимся (плотным) черепком. Пористыми считают изделия с водопоглощением по массе более 5 %. К ним относятся изделия как грубой керамики - керамические стеновые кирпич и камень, изделия для кровли и перекрытий, дренажные трубы, так и тонкой керамики - облицовочные плитки, фаянсовые. К плотным относят изделия с водопоглощением по массе менее 5%. К ним принадлежат также изделия из грубой керамики – клинкерный кирпич, крупноразмерные облицовочные плиты, и тонкой керамики – фаянс, полуфарфор, фарфор.

По *температуре плавления* керамические материалы и изделия подразделяются: на легкоплавкие – с температурой плавления ниже 1350 °С;

тугоплавкие - с температурой плавления 1350 °С – 1580 °С; огнеупорные – 1580 – 2000 °С; высшей огнеупорности – более 2000 °С.

2. Технология

Искусственные *обжиговые керамические материалы*, получают в результате высокотемпературной обработки глинистых пород. В зависимости от влажности исходного сырья и заданных свойств готового изделия применяют несколько способов подготовки формовочной массы, отличающихся содержанием воды: *полусухой* (до 12 %), *пластичный* (до 25 %) и *шликерный* (до 60 % – литьевой). Первым методом получают изделия плотной структуры (половая плитка) и очень точных размеров (лицевой кирпич), вторым – трубы, черепицу, кирпич и камни рядовые. Третий метод основан на способности глин образовывать вследствие своей гидрофильности высокоподвижные однородные не расслаивающиеся смеси, обладающие хорошей влагоотдачей при повышении температуры. Путем заливки смеси в высокопористые гипсовые или пластмассовые формы получают санитарно-технические изделия сложной конфигурации (мойки, раковины, ванны), в специальные поддоны – коврово-мозаичную облицовочную плитку размером 21 × 21 мм толщиной до 3 мм. Изделия после формовки сушат и подают на обжиг до спекания при температуре 1000...1300 °С. При обжиге из сырья удаляется кристаллизационная вода (*огневая усадка*) и образуются новые соединения, обеспечивающие прочность и водостойкость изделий.

Процесс сушки и обжига сопровождается усадочными деформациями (*воздушная и огненная усадки*). Уменьшение усадочных деформаций достигается за счет дополнительного введения в сырьевую смесь отошающих добавок: шамота, песка, шлака и т. д. Для снижения энергоемкости процесса, повышения плотности и прочности изделий в формовочную массу вводят добавки-плавни – стеклоотходы или молотые природные стекла (перлит, полевой шпат). Пластичность глиняной массы изменяют расходом воды или введением специальных органических пластифицирующих добавок. Облегчение изделий, повышение их акустических и теплоизоляционных свойств достигается использованием пено-, газообразующих веществ или выгорающих добавок (древесные отходы, торф, гранулированная макулатура).

Регулируя состав сырья, способ формовки, режим термообработки получают керамические материалы разного назначения и области применения: конструкционные, отделочные материалы и материалы специального назначения.

3. Применение

К *конструкционным* изделиям, эксплуатируемым в условиях действия нагрузок, относятся *стеновые материалы* (кирпич и камни керамические), *кровельные* (черепица), *трубы* водопроводные, канализационные и дренажные. Кроме того, кирпич применяют для кладки столбчатых фундаментов в малоэтажных зданиях, а также для заводского изготовления крупноразмерных блоков и панелей, которые в зависимости от назначения (для внутренних или наружных стен) могут быть одно-, двух- и трехслойными. В многослойных для повышения теплозащитных свойств используют плитный утеплитель. Отечественные и зарубежные заводы выпускают рядовой полнотелый кирпич $65 \times 125 \times 250$ мм и большое количество его модификаций, отличающихся не только размерами, но и наличием пустот, их величиной, формой и расположением. Наиболее эффективен поризованный рядовой кирпич М125 плотностью 950 кг/м^3 и крупноформатный пустотелый керамический камень $350 \times 250 \times 219$ мм той же марки плотностью 790 кг/м^3 . Ячеистая структура этих материалов, полученная за счет введения комплексных порообразующих добавок, позволяет значительно уменьшить толщину стены, сохранив ее несущую способность и высокие теплозащитные свойства. Теплотехнические показатели ограждающих конструкций, выполненных из мелкоштучных материалов, зависят от свойств применяемых изделий и кладочного раствора, поэтому поризованные кирпичи (камни) укладывают на специальный строительный клей с толщиной шва 1 мм (шлифованные очень точных размеров) или на теплоизоляционный раствор (обычные).

Для повышения декоративности отделочных материалов (лицевого кирпича и плиток различных размеров и формы) применяют специальные декоративные составы: ангобы, представляющие собой смесь каолиновых белых глин с пигментами, и глазури, состоящие из смеси легкоплавких соединений и пигментов, образующие при обжиге стеклообразные цветные покрытия. В зависимости от конкретного назначения к материалам этого класса предъявляют различные требования по свойствам. Так, плитки для покрытия пола должны быть прочными на удар и истирание, водостойкими и водонепроницаемыми, фасадная керамика – воздухо- и морозостойкой.

К материалам *специального назначения* относятся санитарно-технические, кислотостойкие, огнеупорные и теплоизоляционные. Основным сырьем для получения *санитарно-технических* изделий служат беложгущиеся глины в смеси со стеклообразующими плавнями и отошающими добавками. Изменяя соотношение компонентов и технологию формования и обжига, получают фаянсовые, полуфарфоровые и фарфоровые изделия, которые соответственно перечислены в порядке возрастания их плотности и прочности. Наибольший объем в строительстве приходится на

относительно пористые фаянсовые изделия, водонепроницаемость которых обеспечивают глазурованием поверхности.

Кислотостойкие материалы в виде плиток и кирпичей класса А, Б, В, полученные из кислотостойких глин, используют для защиты полов, стен, технологического оборудования на химических предприятиях.

Основное назначение *огнеупорных* материалов – футеровка высокотемпературного технологического оборудования. Максимальная температура эксплуатации таких изделий определяется составом сырья: при повышенном содержании кремнезема (SiO_2) получают динасовые огнеупоры (до $1650\text{ }^\circ\text{C}$), огнеупорных глин – шамотные (до $1400\text{ }^\circ\text{C}$), глинозема (Al_2O_3) – высокоглиноземистые (свыше $1750\text{ }^\circ\text{C}$).

Теплоизоляционные материалы и изделия на основе глинистого сырья производят в виде высокопористых пенодиатомитовых кирпичей, применяемых в основном для теплоизоляции технологического оборудования, и рыхлых сыпучих материалов: керамзитового гравия и аглопоритового щебня. Последние получают методом вспучивания при температуре свыше $1000\text{ }^\circ\text{C}$ отформованных гранул или дроблением спекшегося сырья с отходами угля и используют в качестве теплоизоляционных засыпок для утепления полов, потолков, стен, а также заполнителей легких бетонов различного назначения.

ЛЕКЦИЯ 6. Изделия из минеральных расплавов

1. Общие сведения

Стекло и другие плавные материалы и изделия получают из минеральных силикатных расплавов, сырьем для которых служат распространенные горные породы и некоторые побочные продукты промышленности. Минеральные расплавы в зависимости от исходного сырья разделяются на следующие группы: стеклянные, каменные, шлаковые, ситаллы и шлакоситаллы. Материалы из расплавов обладают высокими показателями долговечности, химической стойкости к воздействию агрессивных сред, отличными декоративными свойствами, а некоторые из них и прозрачностью.

Из минеральных расплавов, получают изделия самого различного назначения: листовые светопрозрачные, конструкционные, отделочные, облицовочные, трубы специальные, тепло- и звукоизоляционные.

2. Технология

Охлажденные силикатные и шлаковые расплавы обладают аморфной абсолютно плотной структурой, высокой прочностью на сжатие, кислотостойкостью, хрупкостью и низкой термостойкостью.

Силикатные расплавы получают плавлением специально подобранной шихты, основным компонентом которой является кремнезем (SiO_2). Из них методом вытягивания, литья, проката, прессования, центрифугирования изготавливают соответственно листовые стекла и длинномерные нити, облицовочные плитки, профилированное стекло, стеклоблоки, стекловату.

Из *шлаковых расплавов* путем резкого охлаждения производят шлаковую пемзу (термозит), шлаковату, облицовочные плитки. Кроме того, шлаковые отходы используют как активные гидравлические компоненты при получении смешанных минеральных вяжущих и отощающие добавки при изготовлении керамических изделий.

С целью повышения ударной прочности, износостойкости, термостойкости и кислотостойкости в шихту или шлак вводят кристаллические соединения металлов, а полученные изделия подвергают дополнительной термообработке. В этих условиях происходит частичная кристаллизация стекол с образованием стеклокристаллической структуры (*ситаллы, шлакоситаллы*). Таким способом изготавливают балконные экраны, антикоррозионные плиты для пола в химических цехах, облицовочные материалы и трубы.

Наибольший объем производства изделий из минеральных расплавов приходится на *листовые стекла* толщиной 2...10 мм, которые используют для остекления окон, дверей, витрин, изготовления стеклопрофилита и стеклопакетов. Один из путей регулирования свойств стекол – применение добавок. Таким образом, получают *теплозащитное* стекло, поглощающее до 75 % инфракрасных лучей, и *увиолевое*, пропускающее до 70 % ультрафиолетового излучения. Для обеспечения безопасной эксплуатации светопрозрачных кровель, перегородок в стекло во время проката стекломассы вводят проволочную металлическую арматуру в виде сеток и получают *армированное* стекло. С целью создания эффекта светорассеивания, исключения прозрачности и повышения декоративности используют пигменты и рельефный рисунок поверхности – *декоративное* стекло. Ударную прочность повышают несколькими способами: склеиванием определенного количества слоев стекол прозрачной полимерной пленкой (*многослойное* стекло), увеличением толщины изделия до 10 мм (*витринное* стекло) и закалкой, включающей повторный нагрев и резкое охлаждение отформованных изделий.

При выполнении подвесных потолков листовые стекла с рельефной поверхностью или декоративным светопропускающим покрытием обеспечивают равномерное освещение помещения. Стекла с зеркальным покрытием применяют в ресторанах, кафе, магазинах.

3. Применение

Такие строительные *конструкционные изделия*, как длинномерный *стеклопрофилит*, имеющий треугольное, овальное, коробчатое или швеллерное сечение, пустотелые мелкоштучные *стеклоблоки*, крупноразмерные, многослойные, герметичные *стеклопакеты* используют для частичного заполнения стеновых проемов и выполнения внутренних перегородок. Их основное назначение – повышение освещенности помещения, облегчение стеновых конструкций и улучшение их теплозащитных свойств.

К *крупноразмерным светопропускающим конструкциям* относятся стекложелезобетонные с заформованными в определенном порядке стеклоблоками на толщину изделия.

Облицовочные изделия из минеральных расплавов используют для отделки фасадов (за исключением поверхности из ячеистых блоков и кирпича), внутренней облицовки стен, потолков, полов. Размер изделий колеблется от 500 × 500 × 12 мм (крупноразмерные плиты цветного глушеного полированного стекла – *марблита*) или 1500 × 1100 × 7 мм (обычное строительное стекло с декоративным цветным покрытием – *стемалит*) до 21 × 21 × 4.5 мм (коврово-мозаичная плитка).

Путем сплавления одноцветных или многоцветных тонко измельченных отходов получают *стекломрамор* и *стеклокристаллит*. Для увеличения ударной прочности материалов и утилизации больших объемов стеклоотходов их спекают в виде гранул с песком и глиной (*стеклокерамит*) или только с песком (*стеклокремнезит*). Эти облицовочные изделия выпускают с полированной лицевой поверхностью и шероховатой тыльной (для повышения прочности сцепления со строительным раствором).

К материалам *специального назначения* относятся теплоизоляционные и акустические на основе ячеистого стекла, стеклянных и шлаковых волокон.

Ячеистое стекло изготавливают, как правило, из смеси тонкомолотых отходов и порообразующих добавок: выгорающих (каменного угля) или газообразующих (известняка). В результате спекания подготовленной массы получают изделия в виде гранул, а также блоков, которые затем разрезают на плиты заданных размеров. Полученный материал хорошо подвергается шлифованию и сверлению, обладает водостойкостью, низкой плотностью

(140...350 кг/м³), высокой замкнутой пористостью (86...95 %), широким интервалом рабочих температур (-180...+400 °С), огнестойкостью. Гранулированное ячеистое стекло применяют в качестве засыпок при утеплении потолка, стен, пола, а также как легкий наполнитель в бетонах. Плитный утеплитель используют для теплоизоляции стен, покрытий, технологического оборудования. Акустические плиты выпускают с дополнительной перфорацией. Дробленая шлаковая пемза также относится к рыхлым зернистым пористым материалам, применяется аналогично гранулированному ячеистому стеклу.

Стекланные волокна диаметром 5...12 мкм выпускают непрерывными и короткими (штапельными), *шлаковые* – только штапельными. Длинные нити получают протягиванием стекломассы через фильеры (насадка с мелкими отверстиями) с последующим наматыванием на бобины. Их используют для производства стеклосетки и стеклоткани, которые затем применяют как основу при изготовлении кровельных, гидроизоляционных, напольных (линолеумы), отделочных (стеклообои) рулонных основных материалов.

Штапельные нити получают дутьевым и центробежным методами, основанными на разбивке стеклорасплава (шлакорасплава) на мельчайшие капли струей воздуха (пара) под давлением или центрифугой с последующим осаждением их под действием собственной массы и вытягиванием в волокна. Из штапельного шлако- и стекловолокна путем дополнительного введения связующего (смолы, цемента, гипса) методом вытягивания, подпрессовки и проката получают шнуры, жгуты, рулонные маты и плиты разной степени жесткости. Эти изделия применяют для звукоизоляции в конструкции пола, а также для теплоизоляции при изготовлении многослойных стеновых панелей, блоков и тепловой реабилитации фасадов. Полужесткие, жесткие и твердые плиты с пластиковым, пленочным и тканевым покрытием или с рельефным декоративным поверхностным слоем и перфорацией используют как отделочные и звукопоглощающие материалы.

ЛЕКЦИЯ 7. Минеральные вяжущие материалы

По условию твердения и эксплуатации готовых изделий минеральные вяжущие подразделяют на *воздушные* (гипс, известь, магниевые вяжущие, жидкое стекло), эксплуатируемые только в воздушно-сухих условиях, *гидравлические* (гидравлическая известь, смешанные гипсовые и известковые вяжущие, разновидности портландцемента, специальные виды цемента), обеспечивающие искусственному камню водостойкость, а также вяжущие автоклавного твердения (извесково-песчаное вяжущее), которые приобретают прочность и водостойкость при твердении при повышенных

температурах и давлении паровой среды (гидротермальные условия 9...16 атм и 175...250 °С).

Технология получения минеральных вяжущих включает добычу природного сырья, его очистку, помол, термообработку и помол готового продукта.

К общим свойствам минеральных вяжущих можно отнести:

- порошкообразное агрегатное состояние (за исключением жидкого стекла);
- высокую химическую активность по отношению к воде, реакция взаимодействия с которой сопровождается выделением тепла;
- способность образовывать с водой однородную клеящую массу, переходящую в искусственный камень.

Воздушные вяжущие

К воздушным минеральным вяжущим относятся вещества, продукты гидратации которых обладают низкой водостойкостью, особенно по отношению к действию проточной воды. Это простые по составу материалы, как правило, интенсивно взаимодействующие с водой.

Воздушную известь получают из таких кальциевых карбонатных пород, как известняк (CaCO_3) и доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), содержащих не более 6 % глинистых примесей. Их обжигают при температуре 900...1100 °С. Они разлагаются с выделением углекислого газа. Продукт обжига – оксид кальция (CaO) и является воздушной известью, которую за высокое тепловыделение при гидратации (гашении) называют *известью кипелкой*.

На воздухе при затворении водой образуются кристаллы гидрооксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а за счет их реакции с углекислым газом воздуха - кальцита CaCO_3 , которые обеспечивают прочность известковому камню (1...7 МПа).

Качество извести оценивают по следующим показателям:

- тонкость помола – остаток на ситах должен быть не более 1,5 % (02) и 15 % (008);
- содержание химически активных по отношению к воде компонентов CaO и MgO – активной примеси (50 – 90 %);
- температура и время гашения извести;
- содержание примесей.

В зависимости от *содержания примеси MgO* и, следовательно, химической активности известь подразделяют на кальциевую (содержащую *MgO* до 5 %), магнезиальную (5...20 %) и доломитовую (20...40 %); по *времени гашения* – быстро гасящуюся (до 8 мин), средне гасящуюся (до 25 мин) и медленно гасящуюся (более 25 мин); по *максимальной температуре гашения* – низкоэкзотермическую (до 75 °С) и высокоэкзотермическую (более 75 °С).

Примесями в извести являются зерна недообожженного сырья (CaCO_3) - «недожог» и оплавленные с поверхности зерна CaO — «пережог». Первые снижают активность и качество извести, а вторые вызывают появление «дутиков» – вздутий и трещин на оштукатуренной поверхности, так как замедленный процесс гашения, сопровождаемый ростом температуры, увеличением объема и, следовательно, возникновением деформаций, происходит в уже затвердевшем составе.

В строительстве известь используют для получения красочных составов, штукатурных и кладочных сложных растворов. С целью повышения водостойкости изделий и расширения области их использования на основе извести получают *смешанные гидравлические известковые вяжущие*: известково-пуццолановые, известково-шлаковые и известково-кремнеземистые. В *известково-пуццолановые* и *известково-шлаковые*, кроме пуццолановых (опока, диатомит и шлаковых добавок), для регулирования сроков схватывания вводят до 5 % гипса. На их основе производят низкомарочные бетоны для подводного и подземного бетонирования. Это связано с их низкой морозостойкостью, а в случае пуццолановой добавки - и воздухоустойкостью. Известково-шлаковое вяжущее более эффективно при изготовлении заводских изделий по пропарочной технологии, так как в этом случае в процессе гидратации участвует и шлаковая составляющая.

Наиболее широкое применение нашли *известково-кремнеземистые вяжущие*, на основе которых по автоклавной технологии (давление до 1,6 МПа, температура до 203 °С) получают силикатные изделия: стеновые мелкоштучные материалы (кирпичи, камни, аналогичные по размерам и форме керамическим), плотные бетоны для несущих конструкций (плит перекрытий, колонн и т. д.) и высокопористые ячеистые блоки (за счет введения пено- и газообразующих добавок), которые, в зависимости от средней плотности, могут применяться для возведения ограждающих конструкций или получения изделий теплоизоляционного и акустического назначения.

При использовании силикатных изделий учитывают их пониженную водо-, термо- и коррозионную стойкость.

Гипсовые вяжущие. Технология получения и использование гипсовых вяжущих основаны на способности сырья – природного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),

которому легко отдавать кристаллизационную воду уже при 123 °С и переходить в химически активное по отношению к воде состояние ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Из химически активного гипса за счет реакции гидратации и присоединения кристаллизационной воды получают искусственный гипсовый камень ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Строительный гипс представляет собой мелкокристаллический материал, требующий для получения гипсового теста определенной пластичности от 50 до 70 % воды. Для *высокопрочного крупнокристаллического гипса*, полученного в автоклавах при температуре 123 °С, количество воды сокращается до 30...50 %. В связи с тем, что на реакцию гидратации расходуется до 19 % воды, прочность камня на основе высокопрочного гипса вследствие более высокой плотности составляет 30...40 МПа, а строительного гипса – до 25 МПа. Максимальная прочность гипсового камня определяется водогипсовым отношением (В/Г), которое зависит от размера и формы кристаллов минерального вяжущего.

Качество гипсовых вяжущих оценивают по *тонкости помола, срокам схватывания и прочности*. Сроки схватывания являются временным показателем, фиксирующим процесс загустевания гипсового теста определенной пластичности (нормальной густоты) с подобранным расходом воды – начало схватывания – и образования гипсового камня – конец схватывания. При соответствии этих значений требованиям стандарта, по пределу прочности на сжатие (МПа) с учетом прочности на изгиб образцов, твердевших два часа в воздушно-сухих условиях, вяжущему присуждают *марку*.

В зависимости от требуемых свойств готового продукта сырье подвергают термообработке при температуре 123...160 °С, получая полуводные низкообжиговые вяжущие ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$): строительный и высокопрочный гипс – или при 600...1000 °С – безводные (CaSO_4) высокообжиговые вяжущие: ангидритовый цемент и эстрихгипс.

Низкообжиговые вяжущие характеризуются быстрым набором прочности, низкой водостойкостью.

Наиболее широкое применение в строительстве нашел *строительный гипс*, на основе которого по прокатной технологии изготавливают гипсоволокнистые (ГВЛ) и гипсокартонные (ГКЛ) листы, используемые в качестве отделочного листового материала для выравнивания стен (сухая штукатурка), выполнения потолков и модульных трансформируемых каркасных перегородок. Использование листового картона с внутренним слоем из гипсового камня (ГКЛ) или дисперсное (мелковолокнистое) армирование гипсового камня по всему объему волокнами растительного происхождения (ГВЛ) обеспечивают гвоздимость и снижают хрупкость изделий. В зависимости от условий эксплуатации помещения применяют

влагостойкие (ГКЛВ), огнестойкие (ГКЛО) и влапоогнестойкие (ГКЛВО) листовые материалы, получаемые путем введения добавок и использования декоративных пленочных покрытий.

Высокая пористость гипсовых изделий и способность очень точно воспроизводить форму и рельефный рисунок за счет расширения при твердении на 1 % обусловили применение гипса для получения акустических (звукопоглощающих) и архитектурно-художественных изделий.

К достоинствам гипсового камня, содержащего кристаллизационную воду, относится высокая огнестойкость. Это свойство обусловило его использование при производстве огнезащитных плит и строительных растворов. Кроме того, применение гипсовых изделий в жилищном строительстве обеспечивает создание комфортных условий проживания, связанных с высокой гигроскопичностью и способностью гипсового камня регулировать влажность воздуха в помещении за счёт её поглощения или отдачи.

Для повышения водостойкости гипсовых изделий увеличивают их плотность, полируют лицевую поверхность или обрабатывают ее пленкозащитными и гидрофобными смесями, а также изменяют состав вяжущего за счет дополнительного введения тонкомолотых гидравлических добавок искусственного или природного происхождения (портландцемента, доменного шлака, зол, природных пуццоланов). Полученные *смешанные гипсовые вяжущие*: гипсоцементно-шлаковые (ГЦШВ) и гипсоцементно-пуццола-новые (ГЦПВ) – приобретают свойства гидравлических вяжущих, а изделия на их основе – повышенную водостойкость (коэффициент размягчения не ниже 0.65), пониженные морозо- и воздухостойкость. Это обуславливает их применение, аналогичное высокопрочному гипсу, при изготовлении санитарно-технических кабин, монолитных полов в общественных зданиях и на предприятиях легкой промышленности с обработкой поверхности составами, повышающими водостойкость и износостойкость покрытия.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие обладают пониженной химической активностью, медленным схватыванием, повышенной водостойкостью, прочностью до 20 МПа. Для ускорения процесса твердения в *ангидритовый цемент*, полученный при температуре 600...700 °С, вводят известь.

При температуре 900...1000 °С безводный сульфат кальция частично разлагается на оксид кальция (CaO) и серный газ (SO₃), следовательно, выпускаемый *эстрихгипс* представляет собой двухкомпонентный продукт, состоящий из смеси CaSO₄ и CaO. Основное назначение этих вяжущих - выполнение монолитных или мозаичных (в сочетании с плитами из горных пород) полов; изготовление путем введения в состав смеси пигментов

полированных плит искусственного мрамора, применяемых для отделки пола и стен в зданиях общественного назначения; получение штукатурных, кладочных растворов и легких бетонов.

Магнезиальные воздушные вяжущие: каустический магнезит (MgO) и каустический доломит ($MgO + CaCO_3$) – получают путем термообработки магнезита ($MgCO_3$) или доломита ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) при температуре 700...800 °С. В связи с их невысокой химической активностью по отношению к воде, при получении изделий для ускорения процесса гидратации используют растворы солей ($MgCl_2$, $MgSO_4$).

Контролируемыми показателями качества являются: *тонкость помола, сроки схватывания, марка по прочности*. Прочность на сжатие каустического магнезита составляет 40...60 МПа, каустического доломита – 10...30 МПа. Снижение активности последнего объясняется присутствием неразложившегося при термообработке инертного по отношению к воде кальцита.

Наиболее широко эти вяжущие применяют в сочетании с древесными отходами разной степени измельчения для выполнения теплых огнестойких монолитных полов на предприятиях легкой промышленности, а также для изготовления ксилолитовых крупноразмерных плит, которые в зависимости от состава и степени уплотнения могут быть использованы в качестве внутренних перегородок или теплоизоляции строительных конструкций.

Жидкое стекло представляет собой водный раствор силиката калия ($SiO_2 \cdot K_2O$) или натрия ($SiO_2 \cdot Na_2O$), полученный в автоклаве в результате воздействия насыщенного водяного пара на продукт сплавления кремнезема (SiO_2) с карбонатом калия (натрия) или сульфатом натрия (калия) при температуре 1300... 1400 °С.

Вяжущие свойства раствора оценивают *плотностью, вязкостью и модулем стекла* (2,6...4,0), который равен отношению числа грамм-молекул кремнезема к одному грамм-молю оксида калия или натрия. С увеличением модуля клеящие свойства раствора и стойкость изделий к кислотам повышаются.

На основе жидкого стекла получают многокомпонентное воздушное вяжущее специального назначения – *кислотостойкий цемент*, в состав которого дополнительно входят тонкомолотый кислотостойкий наполнитель (кварцевый, базальтовый, андезитовый) и добавка – ускоритель твердения (кремнефтористый натрий). Из него изготавливают кислотостойкие бетонные конструкции (с пластиковой арматурой). Термостойкость до 1000 °С и огнестойкость позволяют применять составы на основе этого вяжущего для производства огнезащитных и жаростойких растворов и бетонов.

Жидкое стекло является также основой для силикатных красок, кислотостойких мастик и составов, используемых с целью уплотнения и укрепления (силикатизации) грунтов на строительных площадках.

Гидравлические вяжущие

Гидравлические вяжущие представляют собой тонкомолотые порошки, состоящие в основном из силикатов ($k\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$), алюминатов ($n\text{CaO} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3$) и ферритов ($n\text{CaO} \cdot m\text{Fe}_2\text{O}_3$) кальция, которые, взаимодействуя с водой, образуют прочный водостойкий искусственный камень.

Минералогический состав гидравлических вяжущих представляют в виде оксидов. Например, силикат кальция записывают $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (сокращенно CS), трехкальциевый алюминат – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A), гидросиликат кальция – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (C_2SH_2).

Способность гидравлических вяжущих образовывать в результате реакции с водой прочный камень оценивают по показателю *активности*, равному прочности ($\text{кгс}/\text{см}^2$) образцов состава Ц : П = 1 : 3, твердевших 28 суток в нормальных условиях (температура 18...20 °С, влажность 95...98 %).

К гидравлическим вяжущим относятся: гидравлическая известь, которая занимает промежуточное положение между воздушными и гидравлическими вяжущими, романцемент, разновидности портландцемента и специальные виды цементов.

Гидравлической известью называют тонкомолотый продукт обжига мергелистых известняков, содержащих до 20 % глинистых примесей, при температуре 900...1000 °С.

Качество гидравлической извести определяют по *тонкости помола*, *срокам схватывания* (начало – 0,5...2 ч, конец – 8... 16 ч), *равномерности изменения объема* и *активности*. Активность косвенно оценивают по *гидравлическому* (основному) *модулю* (ГМ), равному отношению процентного содержания по массе оксида кальция к сумме оксидов, входящих в состав минералов:

$$\text{ГМ} = \frac{\text{CaO}\%}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{F}_2\text{O}_3)\%}$$

В зависимости от полученного значения различают *сильногидравлическую* (ГМ = 1.7...4.5) и *слабогидравлическую* (ГМ = 4.5...9) известь. При ГМ > 9 известь приобретает свойства воздушного вяжущего.

Прочность изделий на гидравлической извести различной активности колеблется от 1.7 до 5 МПа.

Основное применение этого вяжущего – штукатурные и кладочные растворы, низкомарочные легкие и тяжелые бетоны, эксплуатируемые как в сухих, так и во влажных условиях.

С целью усиления гидравлических свойств вяжущего ($ГМ = 1.1... 1.7$) и исключения из его состава свободного оксида кальция используют мергели, содержащие не менее 25 % глинистых примесей. При помоле спекшегося при $1000...1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ продукта для обеспечения заданных сроков схватывания (начало – не ранее 20 мин, конец – не позднее 24 ч) вводят двуводный гипс в количестве 3...5 %. Полученный *романцемент* применяют для изготовления строительных растворов, бетонных стеновых камней и мелких блоков прочностью до 15 МПа, используемых при возведении наземных и подземных конструкций.

Портландцемент и его разновидности. *Портландцементом* называют тонкомолотый материал, полученный совместным измельчением клинкера (продукта спекания при температуре $1400...1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ известково-глинистой смеси в соотношении по массе 3 : 1 или мергелистых пород) и гипса (3...5 %). В зависимости от влажности исходного сырья применяют мокрый или сухой способ производства. При *мокром способе* помол и перемешивание сырья до получения однородного пластичного шлама влажностью до 45 % производят непосредственно в мельницах, затем шлам поступает в шламбассейн, где его состав корректируют путем введения добавок, и во вращающиеся горизонтальные печи на обжиг. Действие высокой температуры вызывает испарение воды, разложение сырья и образование новых, химически активных по отношению к воде, минералов. После обжига клинкер подают в специальные холодильники для быстрого охлаждения продукта с целью сохранения химически активной стеклофазы. В завершение клинкер мелют совместно с гипсом или гипсодержащими отходами и минеральными добавками. К достоинствам мокрого способа можно отнести простоту корректировки состава, что позволяет получать разнообразные по свойствам цементы.

При сухом способе тонкомолотое сырье подогревают отходящими газами и подают на обжиг в вертикальные шахтные печи. Исключение процесса испарения воды делает эту технологию менее энергозатратной.

Минералогический состав цемента включает четыре основных минерала:

- алит ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2, \text{C}_3\text{S}$) – 45...60 %;
- белит ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2, \text{C}_2\text{S}$) – 10...30 %;

- целит ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, C_3A) – 5...12 %;
- четырехкальциевый алюмоферрит ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_4\text{AF}$) – 10...20 %.

Свойства цемента определяют процентным содержанием этих минералов, которые по своей химической активности, тепловыделению и скорости твердения располагаются в порядке убывания следующим образом: $\text{C}_3\text{A} \rightarrow \text{C}_3\text{S} \rightarrow \text{C}_4\text{AF} \rightarrow \text{C}_2\text{S}$.

При смешивании портландцемента с водой составляющие его минералы гидратируют с образованием новых кристаллических соединений, обуславливающих твердение цементного теста и прочность искусственного камня. Состав новообразований зависит от минералогического состава цемента, влажности и температуры окружающей среды. Продукт гидратации алита – гидроксид кальция, растворяясь в воде, образует насыщенный щелочной раствор, который обеспечивает стабильность не только образованных кристаллических гидратных соединений, но и коррозионную стойкость арматуры при эксплуатации железобетонных конструкций.

В результате частичного перехода воды при гидратации в химически связанное состояние (до 20 % от массы цемента) происходит усадка цементного камня, вызывающая появление на его поверхности микротрещин. Испарение воды из материала, приводит к образованию открытых капиллярных пор, понижающих не только прочность, но и морозостойкость, водонепроницаемость искусственного материала. Для повышения его эксплуатационных свойств необходимо обеспечить влажностные условия твердения (влажность не менее 95...98 %) и снизить расход воды с одновременным вводом пластифицирующих добавок для обеспечения необходимой пластичности смеси.

К недостаткам цементного камня, кроме усадки, относится ползучесть, которая проявляется в увеличении деформаций под влиянием длительно действующих, постоянных по величине нагрузок. Снижение ползучести растворов и бетонов достигается за счет введения жесткого недеформируемого заполнителя и снижения расхода цемента.

В зависимости от природы воздействия в процессе эксплуатации цементный камень может подвергаться физической или химической коррозии. В первом случае разрушение происходит под действием высокой температуры (свыше 300 °С) или циклических температурно-влажностных изменений, во втором – под влиянием агрессивных сред.

В зависимости от состава и механизма действия для цементного камня опасны:

- фильтрация воды с вымыванием наиболее растворимого гидроксида кальция, что приводит к снижению щелочности среды и, как следствие,

разрушению кристаллических новообразований, уменьшению прочности (коррозия выщелачивания);

- действие кислот, сопровождаемое образованием гелеобразных, непрочных или растворимых соединений, вызывающих резкое падение прочности (кислотная коррозия);
- действие сульфатосодержащих вод приводит к разрушению структуры материала, которая происходит за счет накопления в порах по всему объему крупнокристаллических продуктов реакции между цементным камнем и агрессивной средой (сульфатная коррозия);
- контакт с содесодержащими растворами (NaCl , Na_2CO_3 и др.) вызывает, при наличии испарения влаги с поверхности изделия и капиллярного подсоса, кристаллизацию соли в поровом пространстве материала, что приводит к росту внутренних напряжений и деформаций, растрескиванию искусственного камня и потере им прочности (солевая коррозия).

С целью придания портландцементу заданных свойств изменяют состав клинкера, регулируют степень измельчения и вводят в мельницу при помоле органические и минеральные добавки. Цементные заводы выпускают вяжущие в широком ассортименте. Наибольший объем составляют портландцементы с минеральными гидравлическими добавками (шлаковыми и пуццолановыми). При содержании добавок до 20 % получают рядовой портландцемент (ПЦ), при увеличении содержания доменного шлака с 21 до 60 % – шлакопортландцемент (ШПЦ), пуццолановых добавок (диатомит, золы, вулканический пепел) с 21 до 40 % – пуццолановый портландцемент (ППЦ). В связи с уменьшением содержания химически активного составляющего (клинкера) эти цементы обладают замедленным твердением, низким тепловыделением и меньшей морозостойкостью, а в случае пуццоланового – и меньшей воздухоустойкостью. К положительным свойствам этих вяжущих можно отнести повышенные водо- и солестойкость, а также термостойкость (до 700 °С) шлакопортландцемента. Рациональное применение этих цементов – подводное и подземное бетонирование, жаростойкие бетоны (ШПЦ); получение сборных конструкций при оптимальном режиме твердения – термовлажностная обработка (ТВО). При введении в качестве добавок кремнезема, известняка, доломита (до 30 %) получают безусадочный наполненный цемент низких марок, который применяют для штукатурных растворов.

Следующие по объему выпуска и значимости – портландцементы с органическими поверхностно-активными добавками. Механизм действия добавок заключается в их способности адсорбироваться на поверхности цементных зерен. В результате при использовании гидрофобных добавок получают гидрофобный портландцемент (ГФ), гидрофильных – пластифицированный портландцемент (ПЛ). Преимущества ГФ

портландцемента: длительное хранение без снижения технических показателей и повышенная водостойкость, поэтому его используют при возведении гидротехнических сооружений, дорожных покрытий. ПЛ портландцемент применяют для повышения пластичности смеси без увеличения расхода воды или для увеличения прочности, морозостойкости, водонепроницаемости при снижении расхода воды и сохранении заданной пластичности.

Для усиления пластифицирующего эффекта в мельницу при помоле клинкера вводят добавки суперпластификаторы и получают вяжущее низкой водопотребности (ВНВ), позволяющее сократить водопотребность цемента до 18 – 20 %.

Декоративные растворы и бетоны получают с использованием белого и цветного портландцементов. Необходимая степень белизны обеспечивается жесткими требованиями по содержанию красящих примесей (соединений марганца и железа) в сырье. Цветные портландцементы получают за счет добавления пигментов к белому портландцементу.

При возведении конструкций, эксплуатация которых связана с действием сульфатосодержащих грунтовых вод и других сред (фундаменты, дамбы, плотины и т. д.), во избежание сульфатной коррозии применяют специальный сульфатостойкий портландцемент (СПЦ). Его получают путем тщательной корректировки минералогического состава, в котором содержание C_3A ограничено до 5 %, C_3S – до 50 %, сумма $C_3A + C_4AF$ – до 22 %.

Получение монолитных конструкций, особенно при низких положительных температурах, а также высокая энергоемкость технологии производства сборного железобетона с использованием термовлажностной обработки требуют применения высокоэффективного быстротвердеющего портландцемента (БПЦ). Это, как правило, цементы высоких марок (500...700), получаемые за счет увеличения содержания наиболее активных по отношению к воде минералов C_3S и C_3A и тонкости помола (с 3000 до 5000 $см^2/г$), что позволяет обеспечивать до 70 % марочной прочности в трехсуточном возрасте естественного твердения.

Тампонажный портландцемент применяют для цементирования холодных (22 ± 2 °С) и горячих ($75 + 3$ °С) нефтяных и газовых скважин. Для придания специфических свойств (замедленного схватывания, солестойкости, повышенной плотности цементного камня) в их состав вводят от 10 до 70 % минеральных добавок (шлак, кварцевый песок, известняк).

Специальные вяжущие

Специальные виды цементов отличаются от портландцемента используемым сырьем, технологией изготовления и, как следствие, наличием

специфических свойств. К этому классу относят глиноземистый, безусадочный, напрягающий, расширяющийся и шлакощелочной цементы.

Глиноземистый цемент получают обжигом до плавления смеси бокситов или высокоалюминатных шлаков и известняка при температуре 1500...1600 °С. Вследствие преобладания в его составе высокоактивных алюминатов кальция, цемент в первые сутки твердения набирает до 90 % марочной прочности, а спустя трое суток – марку 400, 500, 600. Применение этого гидравлического вяжущего приводит к высокому тепловыделению при твердении, морозо-, коррозионно- и термостойкости (до 1400 °С). Поэтому глиноземистый цемент используют при выполнении аварийных бетонных работ, получении долговечных конструкций, работающих в сложных условиях действия мороза и агрессивных сред, и жаростойких бетонов с температурой эксплуатации до 1200 °С. Этот цемент нельзя использовать при бетонировании в жарком климате, термообработке и возведении массивных монолитных конструкций из-за опасности растрескивания бетона.

В зависимости от соотношения компонентов состава на глиноземистом цементе с добавками гипса и гидроалюминатов кальция используют для получения безусадочного, напрягающего и расширяющегося цементов. Первый используют для омоноличивания стыков в крупнопанельном домостроении, второй – при получении труб и изготовлении емкостей для хранения жидкостей, третий – при производстве преднапряженных железобетонных конструкций, что связано со способностью многокомпонентного вяжущего при гидратации расширяться в свободном состоянии на 3...4 %. Если этот процесс происходит в замкнутом объеме, ограниченном формой, бетону передается определенное напряжение, что приводит его в сжатое (преднапряженное) состояние, позволяющее повысить его прочность на изгиб и растяжение.

Шлакощелочной цемент получают путем помола доменного шлака и щелочесодержащего компонента или затворением тонкомолотого шлака концентрированным щелочным раствором. При измельчении шлака возможно введение добавок стеклобоя (до 40 %) или глинистых материалов в естественном или обожженном состоянии (до 25 %). Вследствие высокой щелочности составы на этом гидравлическом вяжущем могут твердеть при отрицательных температурах, в автоклавах и пропарочных камерах нормального давления. Активность (марка) цемента составляет 400...1000 кгс/см². Бетоны на этом цементе обладают повышенной водо-, морозо- и коррозионной стойкостью, а также способностью увеличивать прочность при эксплуатации во влажной среде, поэтому наиболее рационально применение их в дорожном и гидротехническом строительстве.

Согласно стандарту качество цементов оценивают по основным и рекомендуемым показателям.

К основным относятся:

- химический, вещественный и минералогический состав;
- предел прочности на сжатие и изгиб через 28 суток естественного твердения;
- нормальная густота цементного теста (НГ) – водоцементное отношение (%), при котором достигается нормируемая пластичность, необходимая для определения сроков схватывания и равномерности изменения объема;
- равномерность изменения объема в процессе гидратации;
- активность цемента при пропаривании (для портландцементов с минеральными добавками);
- удельная эффективная активность естественных радионуклидов.

К рекомендуемым относятся показатели общего характера (сроки схватывания, тонкость помола) и специального назначения (коррозионная стойкость, содержание свободного СаО, термостойкость, гидрофобность и т. д.).

На основании полученных результатов, которые должны соответствовать требованиям стандарта, цементу присваивают марку (М300, М400, М500, М600) – численно равную среднеарифметической величине предела прочности на сжатие (кгс/см^2) с учетом прочности на изгиб, а также класс цемента по прочности на сжатие при гарантированной обеспеченности 95%, который должен быть соответственно равным 22.5; 32.5; 42.5; 52.5 (МПа).

ЛЕКЦИЯ 8. Бетоны

1. Общие сведения

Бетон на неорганических вяжущих веществах представляют собой **композиционный** материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок. Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

Бетон является главным строительным материалом, который применяют во всех областях строительства. Техничко-экономическими преимуществами бетона и железобетона являются: низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с применением местного сырья, возможность применения в сборных и монолитных конструкциях различного вида и назначения, механизация и автоматизация приготовления бетона и производства конструкций. Бетонная смесь при надлежащей обработке позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры. Бетон долговечен и огнестоек, его плотность, прочность и другие характеристики можно изменять в широких пределах и получать материал с заданными свойствами. Недостатком бетона, как любого каменного материала, является низкая прочность на растяжение, которая в **10 – 15 раз** ниже прочности на сжатие. Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура. Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивают совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетоне, как единого целого. Это основное свойство железобетона как композиционного материала. В силу этих преимуществ бетоны различных видов и железобетонные **конструкции** из них являются основой современного строительства.

По виду вяжущего бетоны разделяют на: *цементные* (наиболее распространенные), *силикатные* (известково-кремнеземистые), *гипсовые*, *смешанные* (цементно-известковые, известково-шлаковые и т. п.), *специальные* – применяемые при наличии особых требований (жаростойкости, химической стойкости и др.).

По виду заполнителя различают бетоны на: *плотных*, *пористых*, *специальных* заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т. п.).

В правильно подобранной бетонной смеси расход цемента составляет 8...15 %, а заполнителей – 80...85 % (по массе). Поэтому в виде за-

полнителей применяют местные каменные материалы: песок, гравий, щебень, а также побочные продукты промышленности (например, дробленные и гранулированные металлургические шлаки), характеризующиеся сравнительно невысоким уровнем издержек производства.

В зависимости от **средней плотности** бетоны классифицируют *особо тяжелые, тяжелые, облегченные, легкие, особо легкие*.

Особо тяжелые – плотностью более 2500 кг/м, изготавливаемые на особо тяжелых заполнителях (из магнетита, барита, чугунного скрапа и др.), применяют для специальных защитных конструкций и утяжелителей.

Тяжелые – плотностью 2200...2500 кг/м³, применяют во всех несущих конструкциях.

Облегченные – плотностью 1800...2200 кг/м³ применяют преимущественно в несущих конструкциях.

Легкие – плотностью 500...1800 кг/м³, к ним относятся:

- а) легкие бетоны на пористых природных и искусственных заполнителях;
- б) ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон) из смеси вяжущего, воды, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и порообразователя;
- в) крупнопористые (беспесчаные) бетоны на плотном или пористом крупном заполнителе, без мелкого заполнителя.

Особо легкие (ячеистые и на пористых заполнителях) – плотностью менее 500 кг/м³, используемые в качестве теплоизоляции.

Легкие бетоны менее теплопроводны по сравнению с тяжелыми, поэтому их применяют преимущественно в наружных ограждающих конструкциях. В несущих конструкциях используют более плотные и прочные легкие бетоны (на пористых заполнителях и ячеистые) плотностью 1200 – 1800 кг/м³.

Следовательно, плотность бетонов изменяется в широких пределах: от 400 до 4500 кг/м³ и более. Поэтому и пористость бетонов может быть очень большой у ячеистых теплоизоляционных бетонов (70...80 %) и незначительной у плотных высокопрочных и гидротехнических бетонов (8...10 %).

2. Технология

По способу изготовления конструкции подразделяют на *монолитные* и *сборные*. При бетонировании *монолитных* конструкций (фундаментов, стен, перекрытий, гидротехнических сооружений, дорожных покрытий) бетонную

смесь приготавливают на строительной площадке или заводе (товарный бетон) и транспортируют к месту укладки, где бетон твердеет в естественных условиях. *Сборные* конструкции (балки, плиты, колонны, панели, фермы и т. д.) получают на специализированных заводах (ЖБИ, ЖБК, КСМ), откуда их транспортируют на строительную площадку для монтажа.

Бетонные смеси и их состав подбирают с использованием графиков и таблиц на основании следующих данных: условий эксплуатации будущей конструкции; показателей качества используемых компонентов; проектируемого класса бетона; требуемой подвижности бетонной смеси, которую выбирают в зависимости от размеров бетонируемой конструкции, густоты армирования и способа уплотнения. Правильность выбора бетона проверяют в строительных лабораториях.

Для снижения усадочных деформаций при твердении, ползучести и для регулирования свойств искусственного камня в красочные и мастичные составы вводят минеральные и органические компоненты в виде тонкомолотого порошка (наполнителя), в строительные растворы и бетоны различного назначения – зернистые материалы более крупной фракции. При изготовлении бетонов используют также природную песчано-гравийную смесь с содержанием песка 25...40 %.

На долю заполнителей в растворах и бетонах приходится до 80 % объема. Их введением можно значительно изменить свойства искусственного камня: повысить прочность, используя плотные горные породы; снизить плотность и теплопроводность за счет применения пористого заполнителя; придать бетонам и растворам декоративность заполнителями из природного камня.

Классификация заполнителей проводится по следующим показателям:

- размеру зерен (мелкий – до 5 мм, крупный – 5...70 мм);
- форме зерен (угловатая – щебень, окатанная – гравий, волокнистая – древесные отходы, асбест, синтетическая минеральная и стальная фибра);
- структуре (при общей пористости менее 10 % – плотные, более 10 % – пористые);
- насыпной плотности, граница между тяжелым или легким крупным заполнителем равна 1000 кг/м³, для мелкого заполнителя – 1200 кг/м³).

Качество заполнителей оценивают по зерновому или гранулометрическому составу, насыпной плотности, пустотности, содержанию вредных примесей и влажности. Кроме того, для крупного заполнителя определяют прочность и, в зависимости от условий работы будущей конструкции, такие специальные свойства, как морозо-, жаро- и кислотостойкость и т. д.

Гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик, влияющих на свойства бетона. Так, для получения высокомарочного плотного бетона используют разнофракционный тяжелый заполнитель с минимальной пустотностью. Однофракционный плотный крупный заполнитель при отсутствии песка и ограничении расхода цемента применяют для получения крупнопористого легкого бетона.

Качество щебня снижают пластинчатые (лещадные) и игловатые зерна, которые ухудшают удобоукладываемость, транспортировку бетонной смеси и снижают прочность бетона. Для керамзита нормируемой вредной примесью являются зерна с отбитостью более 1/3 объема, обладающие низкой прочностью и высоким водопоглощением.

Для всех видов заполнителей ограничено содержание пылевидных частиц, снижающих прочность сцепления поверхности заполнителя с цементным камнем и повышающих водопотребность смеси, что приводит к уменьшению прочности и морозостойкости бетона.

Для регулирования свойств бетонной (растворной) смеси и бетона (раствора) вводят химические добавки, количество которых по сухому веществу назначают в процентах от расхода цемента. Добавки могут быть твердыми и в виде водных растворов определенной концентрации, а в зависимости от количества входящих веществ – однокомпонентными и комплексными.

В строительстве принята основная классификация добавок по эффекту действия:

- регулирующие гидратацию цемента (ускорители и замедлители твердения, противоморозные, обеспечивающие твердение на морозе);
- улучшающие пластичные свойства цементных смесей (пластификаторы и суперпластификаторы);
- изменяющие поровую структуру искусственного камня (воздухововлекающие, пено- и газообразующие, уплотняющие);
- ингибиторы коррозии стальной арматуры в бетоне;
- биоцидные, повышающие стойкость материалов по отношению к микроорганизмам.

Приготовление бетонной смеси включает подготовку материалов, их дозирование и перемешивание в специальных бетоносмесителях. Полученная бетонная смесь должна обладать связностью, однородностью и удобоукладываемостью.

Контроль удобоукладываемости проводят по двум показателям: подвижности и жесткости. Подвижность определяют для пластичных бетонных смесей, замеряя осадку под собственным весом отформованного усеченного стандартного конуса. В зависимости от величины осадки конуса (ОК) различают низкопластичные смеси (ОК 1...9 см), пластичные (ОК 10...20 см) и литые (ОК > 20 см). При ОК < 1 см удобоукладываемость характеризуется жесткостью. Жесткость - динамический показатель вязкости бетонной смеси, которая определяется при механическом воздействии вибрации, под действием которой отформованная в виде усеченного стандартного конуса бетонная смесь равномерно заполняет определенный объем. Если необходимое время воздействия составляет от 5 до 40 с – смесь жесткая, более 40 с – сверхжесткая.

Для получения бетонов высоких марок используют бетонные смеси с низким водосодержанием. Их качественную удобоукладываемость обеспечивают за счет увеличения крупности разнофракционных заполнителей, отсутствия лещадных и игловатых зерен в щебне, введения добавок пластификаторов и суперпластификаторов.

Формование изделий и конструкций производят путём подачи бетонной смеси в очищенную и смазанную форму или опалубку, в которую, согласно проекту, устанавливают арматуру. После заполнения объема производят уплотнение бетонной смеси с целью равномерного распределения и придания заданных формы и размеров. Основные методы уплотнения связаны с вибрационным воздействием, под влиянием которого проявляются тиксотропные свойства смеси – способность снижать вязкость (разжижаться) в результате нарушения сцепления между компонентами под влиянием вибрации и восстанавливать структурную целостность и прочность после снятия механического воздействия.

При бетонировании монолитных конструкций используют пластичные смеси, которые уплотняют глубинными и поверхностными вибраторами. Сборные железобетонные конструкции выполняют из бетона высоких классов, поэтому для уплотнения сверхжестких и жестких бетонных смесей применяют более массивное воздействие с использованием пригруза: вибропрокат и виброштампование. Для низкопластичных и пластичных смесей используют два метода: вибрационный и ударный, основанный на циклическом подъеме и падении с заданной высоты формы со смесью. Литые смеси заполняют форму под действием собственной массы (наливной метод). С целью ускорения твердения и повышения прочности используют дополнительное вибровакуумирование, позволяющее отвести часть воды из бетона и тем самым повысить плотность и жесткость уложенной бетонной смеси и прочность бетона. Для изготовления полых изделий (труб, колонн) применяют центробежный способ формовки: подаваемая бетонная смесь под

действием центробежной силы равномерно распределяется по внутренней поверхности вращающейся формы и уплотняется.

Для защиты бетонной поверхности и производства прочных тонкостенных конструкций используют набивной метод, предусматривающий подачу бетонной смеси в форму или на защищаемую поверхность конструкции под давлением (торкрет-бетон).

К бетонным дорожным изделиям (бордюрные камни, тротуарные плитки) предъявляют высокие требования по износостойкости и морозостойкости. Для обеспечения заданных свойств их изготавливают из сверхжестких бетонных смесей или из сухих, укладываемых и уплотняемых прессованием в сухом состоянии с последующим минимальным водонасыщением паром или раствором химических добавок. Так получают изделия прочностью до 80 МПа, водопоглощением менее 2 %, морозостойкостью более F1000 и низкой истираемостью.

После формовки бетон твердеет и приобретает проектируемую прочность искусственного камня. Режим твердения зависит от способа получения конструкций: монолитные – в естественных условиях, или при термосном выдерживании в тёплой опалубке, или при искусственном прогреве; сборные – с использованием термовлажностной обработки при нормальном и повышенном давлении в автоклавах.

В зависимости от климатических условий монолитные конструкции твердеют при низкой положительной и отрицательной температурах, положительной оптимальной (20 ± 5 °С) и при высокой температуре и низкой влажности. Так как интенсивность процесса твердения (гидратации) зависит от температурно-влажностных условий, то каждый из режимов имеет свои технологические особенности. При отрицательных температурах используют быстротвердеющие цементы, противоморозные добавки и искусственные способы нагрева бетона в конструкции. Основная задача состоит в обеспечении набора бетоном «критической» прочности (25...50 % марочной), которая позволит воспринимать последующее замораживание при понижении температуры без разрушения.

При изготовлении сборных железобетонных конструкций ускорение набора прочности достигается применением термообработки в атмосфере насыщенного пара. При работе с бетоном на основе разновидностей портландцемента используют термовлажностную обработку (ТВО) при нормальном давлении и температуре до 95 °С; для силикатных бетонов на известково-кремнеземистом вяжущем – автоклавную обработку при температуре от 175 °С до 250 °С и давлении соответственно от 0.9 до 1.6 МПа.

3. Применение

К тяжелым бетонам относят конструкционные бетоны на песке, гравии или щебне из тяжелых горных пород, применяют во всех несущих конструкциях, эксплуатируют при систематическом воздействии температуры от +50 °С до -70 °С, а также бетоны специального назначения.

В состав мелкозернистых бетонов входят минеральное вяжущее и мелкий заполнитель – песок определенной крупности. Эти бетоны обладают однородностью свойств, повышенной водонепроницаемостью и морозостойкостью, прочностью на изгиб и растяжение.

Мелкозернистые цементные бетоны используют при получении методом объемного сухого вибропрессования труб, дорожных покрытий, тротуарных плит и бортовых камней, а также таких тонкостенных конструкций, как перегородки и плиты перекрытий. Используя сетчатое армирование, на их основе возводят пространственные армоцементные конструкции – оболочки сложной конфигурации для покрытия больших площадей.

Плотные силикатные мелкозернистые бетоны используют при производстве таких несущих конструкций, как колонны, балки, плиты перекрытия.

Легкие бетоны плотностью менее 2000 кг/м³ можно получить за счет использования пористых заполнителей (легкий бетон), поризации цементного камня (поризованный бетон), введения газо- и пенообразующих добавок при отсутствии заполнителя (ячеистый бетон), а также применением только однофракционного крупного заполнителя при ограниченном расходе цемента (крупнопористый бетон).

Вид и назначение легкого бетона определяют двумя показателями: пределом прочности на осевое сжатие в проектном возрасте и средней плотностью. В зависимости от плотности легкие бетоны подразделяют на конструкционные, из которых изготавливают плиты перекрытий; конструкционно-теплоизоляционные, используемые в производстве ограждающих стеновых конструкций, плит покрытий, и теплоизоляционные, основное назначение которых – теплозащита зданий и сооружений, трубопроводов и технологического оборудования.

Для приготовления легких бетонов с плотной межзерновой структурой, пористость которой не превышает 7 %, используют все виды минеральных вяжущих и пористые заполнители.

Разновидностью легкого бетона является поризованный цементный бетон. Его получают путем насыщения газом (воздухом) цементного камня или цементно-песчаного раствора, заполняющего пустоты между крупным

пористым заполнителем. Прочность поризованных бетонов в зависимости от объема пор (7...25 %) и пористости применяемого заполнителя составляет 5...10 МПа, плотность – 700... 1400 кг/м³.

Ячеистый бетон, содержащий по всему объему до 85 % пор размером 1...1.5 мкм, является разновидностью поризованного бетона, в котором отсутствует крупный заполнитель. Ячеистые бетоны получают в результате твердения вспученной порообразователем смеси минерального вяжущего, тонкомолотого кремнеземистого наполнителя и воды. Название ячеистого бетона зависит от вида, применяемого вяжущего (цемент, гипс, известково-кремнеземистое, шлаковое), характера вводимых добавок (пено-, газообразующие) и кремнеземистого мелкого наполнителя (молотый кварцевый песок или зола). Например, газосиликат, пенозолобетон, газозолошлакобетон.

По условию твердения ячеистые бетоны могут быть автоклавные (силикатные) и неавтоклавные, твердеющие при термовлажностной обработке (цементные) или в естественных условиях (гипсовые).

В состав беспесчаного крупнопористого бетона вводят гравий или щебень определенной крупности, портландцемент и воду. Отсутствие песка и ограниченный расход цемента позволяют получить пористый бетон низкой теплопроводности. Из крупнопористого бетона на плотном заполнителе возводят монолитные наружные стены зданий, изготавливают крупные стеновые блоки, которые необходимо оштукатуривать с двух сторон, чтобы исключить продуваемость. Крупнопористый бетон на пористом заполнителе имеет небольшую среднюю плотность, его используют для получения теплоизоляционных изделий.

К разновидностям легкого бетона относится опилкобетон и арболит, которые могут быть использованы как для монолитного, так и для блочного возведения зданий жилого, гражданского и сельскохозяйственного назначения высотой до пяти этажей.

В производстве мелких стеновых камней, блоков и крупноразмерных панелей широкое применение нашел один из видов легкого бетона - гипсобетон, обладающий огнестойкостью, легкостью, хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Снижение средней плотности и улучшение акустических свойств достигается применением пористых заполнителей и пенообразующих добавок. Для повышения прочности на изгиб и уменьшения хрупкости в пластичную массу вводят волокнистые компоненты: древесные или синтетические волокна, измельченную макулатуру. Вследствие высокой пористости изделий стальную арматуру защищают от коррозии лакокрасочными составами на основе битума или полимерных смол.

На основе портландцемента и асбестового волокна выпускают специальный класс тонкостенных изделий – асбестоцементные плоские и волнистые листы, экструзионные стеновые панели и перегородки, плиты перекрытий и покрытий, трубы и др.

Асбестоцементными называют искусственные каменные материалы, полученные затвердеванием отформованных изделий, состоящих из смеси цемента, асбеста и воды. Специальный бездобавочный (шиферный) портландцемент (до 85 %) должен иметь заданный минералогический состав и тонкость помола, обеспечивающие замедленное схватывание и быстрый набор прочности. Тонковолокнистый минеральный наполнитель – асбест (до 15 %) вследствие дисперсного объемного армирования повышает прочность изделий на удар, изгиб и растяжение. Применение этого наполнителя обеспечивает также огнестойкость, водонепроницаемость, тепло- и электрозащитные свойства.

В зависимости от вида производимых материалов и условий их эксплуатации применяют мокрый (влажность до 85 %) и сухой (влажность до 18 %) способы производства. При мокром изделия получают литьем на круглосетчатых машинах с использованием вакуумирования (водо-, нефте- и газопроводные трубы, плоские и профилированные кровельные и облицовочные листы), при сухом – экструзией производят крупноразмерные листы (до 6 м), применяемые для изготовления стеновых, кровельных многослойных панелей; прессованием получают облицовочные износостойкие плитки для пола и стен.

4. Контроль качества

Бетон изготавливают в соответствии с классом бетона (В) с гарантией производителями прочности на осевое сжатие в нормируемом проектном возрасте. На заводе при производстве сборных конструкций контроль прочности бетона проводят после ТВО и последующего твердения в естественных условиях в течение 28 суток, когда бетон должен набрать гарантированную прочность. На строительной площадке прочность бетона определяют перед нагружением конструкции и проектную после 28 суток естественного твердения. При возведении массивных монолитных сооружений на медленно твердеющих цементах (пуццолановом и шлакопортландцементе) контроль прочности проводят через 60, 90 и 180 суток твердения.

Определение прочности бетона при получении и возведении конструкций чаще всего проводят путем испытания на прессе специально отформованных образцов-спутников кубической формы определенного размера, твердевших вместе с бетонируемой конструкцией. Если оценивают

несущую способность эксплуатируемых конструкций, то испытания проводят на выбуренных и выпиленных из бетонного массива образцах (кубах, цилиндрах) или используют неразрушающие методы контроля. Наиболее распространенными являются механический склерометический метод (по величине отскока) и ультразвуковой.

Под действием на бетон механических нагрузок в зависимости от их величины, направления и времени действия в бетоне возникают деформации, сначала упругие, а в случае превышения напряжения остаточные (пластические), сопровождаемые появлением микротрещин, приводящих в дальнейшем к разрушению бетона.

Наиболее опасны для хрупких материалов, каким является бетон, растягивающие напряжения и деформации в изгибаемой зоне конструкций, в которую для обеспечения надежной эксплуатации укладывают металлическую или стеклопластиковую проволочную, прутковую или канатную арматуру, а также, для повышения прочности бетона на изгиб по всему объему, применяют дисперсное армирование путем введения в бетонную смесь коротких (10...50 мм) и прочных тонких (0,1...0,5 мм) металлических, минеральных, полимерных, волокон (фибр). Фибробетон – также имеет повышенные показатели прочности на удар, истирание и морозостойкость.

При изготовлении конструкций, условия работы которых связаны с действием больших растягивающих и изгибающих нагрузок (пролетные строения мостов, корпуса реакторов, телебашни и т. д.), применяют трещиностойкий преднапряженный железобетон, в котором наиболее полно используются несущие возможности бетона и арматуры. Бетон с аналогичными свойствами можно получить также за счет применения самонапрягающего цемента специально подобранного состава. Сжимающие напряжения в бетоне, ограниченном замкнутым объемом формы, возникают в результате образования крупнокристаллических продуктов гидратации цемента, приводящих к значительному расширению цементного камня. Марку по самонапряжению обозначают S_p и числом, выражающим значение самонапряжения в МПа, например, $S_p2,0$. В обычных конструкциях (балки, перекрытия и т.д.) преднапряжение позволяет снизить материалоемкость и массу изделий, повысить их трещиностойкость и долговечность.

Возникающие в бетоне деформации являются следствием не только действия нагрузок, но и изменения температурно-влажностных условий эксплуатации. Наиболее чувствительным к ним является цементный камень, содержащий минералы, как в кристаллическом, так и в менее устойчивом аморфном стеклообразном состоянии. Так называемые собственные деформации включают усадку при гидратации цемента (химическая контракция) и усадку в результате снижения влажности окружающей среды.

Уменьшить собственные деформации можно за счет снижения объема цементного камня в бетоне, увеличения расхода крупного недеформируемого заполнителя и обеспечения влажного режима твердения.

Температурные деформации в бетоне возникают из-за разных коэффициентов температурного расширения его составляющих. Колебания температуры в диапазоне 0...50 °С не вызывают в сухом бетоне значительных деформаций, однако при наличии влаги в порах приводят к микроразрушениям. Рост деформаций при отрицательной температуре преимущественно связан с льдообразованием, сопровождаемым увеличением объема льда. При нагревании бетона во время ТВО, в связи с переходом воды в пар и увеличением его объема, происходит вспучивание недостаточно прочного «сырого» бетона. Для предотвращения деформаций в первом случае применяют технологические приемы по повышению морозостойкости бетона (увеличение плотности, создание микропористой замкнутой структуры). Во втором, касающемся в большей степени технологии получения сборного железобетона, используют мягкие режимы с медленным нарастанием и снижением температуры. Для уменьшения влияния температурных деформаций в массивных бетонных конструкциях и в конструкциях с большим модулем поверхности (дорожные покрытия) устраивают температурные швы, которые заполняют герметизирующими упругими прокладками или мастиками, воспринимающими и гасящими возникающие деформации.

Повысить морозостойкость бетона можно или за счет повышения его плотности и снижения объема открытых, капиллярных пор, или путем увеличения количества замкнутых воздушнонаполненных резервных пор (до 4...6 %), которые уменьшают давление от замерзающей воды.

Для таких изделий, как напорные железобетонные трубы, емкости для хранения жидких продуктов, гидротехнические сооружения (дамбы, мосты), условия эксплуатации которых связаны с односторонним действием жидкостей под давлением, водопроницаемость является важнейшим свойством бетона. Основное влияние на нее оказывают показатели структуры: общий объем пор, содержание замкнутых и капиллярных пор, их форма и размер. Водоотделение и недоуплотнение бетонной смеси, появление микротрещин вследствие усадки бетона из-за действия нагрузки, попеременного увлажнения с последующим замораживанием или высыханием могут существенно снизить непроницаемость бетона.

Повысить водонепроницаемость бетона можно за счет:

- использования многофракционного заполнителя, обеспечивающего его плотную упаковку с минимальным объемом пустот, которые для обеспечения монолитности заполняются цементным камнем;

- сокращения расхода воды в сочетании с применением добавок – пластификаторов, суперпластификаторов – и интенсивным способом уплотнения бетонной смеси;
- использования расширяющегося цемента и уплотняющих добавок;
- пропитки и защиты бетонной поверхности полимерными составами.

5. Коррозионная стойкость

От состава и характера структуры бетона зависит его коррозионная стойкость, так как чем больше пористость материала, тем глубже проникают жидкие и газообразные агрессивные среды, вызывая серьезные разрушения и приводя к потере несущей способности конструкции.

Агрессивные среды могут быть в жидком, газообразном и твердом агрегатном состоянии. Степень агрессивности по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям для жидких сред определяется наличием и концентрацией агрессивных по отношению к бетону и арматуре веществ, температурой, величиной напора и скоростью движения жидкости по отношению к бетонной поверхности. Газовые и твердые среды агрессивны только при наличии на поверхности конструкции слоя влаги вследствие гигроскопичности (гидрофильности) бетона и повышенной влажности воздуха. Поэтому степень их агрессивности оценивают по составу, растворимости в воде, концентрации в газовой среде, гигроскопичности твердого продукта, влажности и температуре окружающего воздуха.

Агрессивность воздействия на бетон оценивают специальными нормами по антикоррозионной защите строительных конструкций. В зависимости от глубины разрушения бетона в течение 50 лет эксплуатации различают слабо-, средне- и сильноагрессивные среды.

Наибольшей химической активностью в бетоне обладает цементный камень, поэтому стойкость всего конгломерата (бетона, железобетона) зависит от его состава, структуры и может рассматриваться с позиции трех основных видов коррозии цементного камня: выщелачивания, кислотного и солевого.

Первый вид – выщелачивание – происходит в результате фильтрации воды через бетон. Этот вид коррозии наиболее опасен для тонкостенных железобетонных конструкций, контактирующих с водой, и конструкций, работающих под напором воды, таких как плотины, дамбы, молы (гидротехнические). Снижение щелочности бетона вследствие вымывания гидроксида кальция вызывает коррозию стальной арматуры, накопление на ее поверхности продуктов реакции, приводящих к отслоению бетона и

разрушению всей конструкции. Интенсивность этого вида коррозии прямо пропорциональна проницаемости бетона, давлению потока воды и содержанию свободного гидроксида кальция в цементном камне. Следовательно, повысить стойкость бетона можно или за счет перевода гидроксида кальция в более устойчивые и менее растворимые соединения, или путем целенаправленного повышения плотности бетона. Первое достигается применением пуццоланового и шлакового портландцементов, в которых гидроксид кальция связывается опокой, трепелом, золой или шлаком в малорастворимые соединения. Второе – путем рационального подбора зернового состава заполнителей, уменьшением водоцементного отношения в сочетании с введением пластифицирующих и гидрофобных добавок, пропиткой и защитой поверхности бетона полимерными составами.

Ко второму виду коррозии относится снижение прочности бетона под действием кислотосодержащих сред. Разрушение и вымывание цементного камня, сопровождаемое обсыпанием несвязанного заполнителя, происходит в поверхностных слоях, постепенно распространяясь вглубь бетона. В большей степени этот вид разрушения бетонных конструкций (полов, стен, плит перекрытий) наблюдается на предприятиях химической и пищевой промышленности. При проектировании бетонных конструкций, эксплуатация которых связана с действием растворов кислот и солей с кислой реакцией, предусматривают использование специального кислотостойкого цемента на основе жидкого стекла или полимерного связующего в качестве вяжущего, заполнителей из кислотостойких горных пород (андезита, диабазы, базальта, кварцита) и кислотостойкой стеклопластиковой арматуры. При действии концентрированных горячих кислот применяют защиту бетонной поверхности с помощью полимерных кислотостойких красочных составов, рулонных материалов, а также плит и плиток из ситаллов, шлакоситаллов, каменного литья и кислотостойкой керамики.

Коррозия третьего вида (*солевая*) – происходит в результате заполнения пор и пустот кристаллами солей, вызывающих перенапряжение материала, рост остаточных деформаций и разрушение бетонной конструкции. При действии сульфатных сред основным способом защиты является применение цементов, при гидратации которых получается наименьшее количество свободного гидроксида кальция, участвующего в образовании крупных сульфатосодержащих кристаллов, вызывающих растягивающие напряжения в бетоне. К таким вяжущим относятся пуццолановый и шлакопортландцементы, используемые при слабой и средней степени агрессивности среды. Увеличение концентрации сульфатов требует применения более стойких и надежных минеральных вяжущих: глиноземистого цемента, сульфатостойкого портландцемента и шлакопортландцемента. При действии солей типа хлорида и карбоната натрия, не взаимодействующих с цементным камнем, разрушение

происходит только при капиллярном подсосе агрессивного раствора и наличии испаряющей поверхности, поэтому повысить стойкость бетона можно за счет снижения его проницаемости, т.е. повышения плотности.

Биокоррозия бетонных и железобетонных конструкций, характерная для предприятий пищевой промышленности, животноводческих помещений, прачечных, происходит под воздействием как кислот, выделяемых в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, так и самих бактерий, дрожжей, водорослей, способных разлагать входящие в состав цементного камня силикаты кальция. Биоповреждения бетона начинаются с поверхности и идут вглубь (так же, как и при погружении бетона в жидкую агрессивную среду). Для повышения стойкости конструкций увеличивают плотность бетона, применяют лакокрасочные и плитные материалы. Наиболее надежная защита от биокоррозии – введение в бетон биоцидных добавок.

Радиационная стойкость бетона зависит от свойств отдельных его составляющих, которые по-разному воспринимают действие ионизирующего излучения. При высоких дозах наблюдается расширение кристаллической решетки заполнителя, постепенный переход минерала в аморфное состояние, сопровождаемый ростом деформаций, снижением плотности (на 3...15 %) и прочности горной породы (до 30 %). Облучение цементного камня вызывает его разогрев до 350 °С и усадку до 2.2 %, увеличивающуюся при повышении дозы радиации. Для получения радиационностойких бетонов используют сверхплотные заполнители, способные поглощать радиационное излучение (баритовые и железосодержащие руды), и шлакопортландцемент в качестве вяжущего.

Стойкость бетона к действию *высоких температур* определяется составом используемых основных компонентов: вяжущего и заполнителей.

В железобетонных конструкциях, условия эксплуатации которых связаны с прохождением электрического тока большой мощности и напряжения (электростанции и подстанции, линии электропередачи), возможно проявление *электрокоррозии*. Анализ причин потери несущей способности железобетонных конструкций позволил выделить два основных разрушающих фактора. Первый – накопление большого количества энергии в малом объеме бетона в силу его неоднородности по составу и структуре, что приводит к появлению дугового разряда, вызывающего пережог арматуры, оплавление и растрескивание бетона. Второй – электрокоррозия стали при прохождении электрического тока по арматуре в условиях повышенной влажности, приводящая к образованию и накоплению продуктов коррозии (ржавчины) на стальной поверхности. Обеспечить стойкость конструкции в этих условиях эксплуатации возможно за счет снижения электропроводности бетона, т. е. повышения его диэлектрических свойств. С этой целью в состав бетона вводят органические гидрофобные или уплотняющие добавки,

снижающие гигроскопичность и водопоглощение; применяют защитные мастичные и лакокрасочные покрытия на основе высокомолекулярных смол; используют объемную пропитку конструкций полимерными составами.

ЛЕКЦИЯ 9. Строительные растворы

1. Общие сведения

Строительный раствор – это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства смеси и растворов. Крупный заполнитель отсутствует, так как раствор применяют в виде тонких слоев (шов каменной кладки, штукатурка и т. п.).

Для изготовления строительных растворов чаще используют неорганические вяжущие вещества (цементы, воздушную известь и строительный гипс).

Строительные растворы разделяют в зависимости от вида вяжущего вещества, величины плотности и назначения.

По виду вяжущего различают растворы цементные, известковые, гипсовые и смешанные (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

По плотности различают: тяжелые растворы плотностью более 1500 кг/м³, изготавливаемые обычно на кварцевом песке; *легкие* растворы плотностью менее 1500 кг/м³, изготавливаемые на пористом мелком заполнителе и с порообразующими добавками.

По назначению различают строительные растворы: *кладочные* – для каменной кладки стен, фундаментов, столбов, сводов и др.; *штукатурные* для оштукатуривания внутренних стен, потолков, фасадов зданий; *монтажные* – для заполнения швов между крупными элементами (панелями, блоками и т.п.) при монтаже зданий и сооружений из готовых сборных конструкций и деталей; *специальные* растворы (декоративные, гидроизоляционные, тампонажные и др.).

2. Технология

Строительные растворные смеси, в состав которые входят такие основные компоненты, как минеральное вяжущее, мелкий заполнитель (менее 5 мм) и вода, подбирают в зависимости от назначения по специальным формулам с использованием графиков и таблиц. В результате твердения такая однородная смесь (раствор) приобретает прочность искусственного камня. Для регулирования свойств составов в них дополнительно вводят минеральные (золы, шлаки, опоку, туфы, глину) и

химические (ускорители и замедлители твердения, пластификаторы) добавки.

В связи с технологическими особенностями использования (длительной доставкой с завода-изготовителя в объеме, обеспечивающем дневную норму выработки; необходимости распределения тонким равномерным слоем по пористой поверхности; твердение в естественных условиях) строительные растворные смеси должны обладать замедленным схватыванием, высокой подвижностью, связностью, нераслаиваемостью при транспортировании и хранении.

Качество растворной смеси оценивают по подвижности, водоудерживающей способности, плотности и расслаиваемости. При соответствии показателей стандарту по прочности на сжатие устанавливают *марку*, которая в зависимости от применяемого вяжущего может быть от М4 до М300 (кгс/см²).

Строительные растворы поступают на объекты в готовом виде с завода или, что более предпочтительно, в виде сухих смесей, затворяемых водой на строительной площадке. В настоящее время интенсивно развивается последний вариант, позволяющий путем корректировки состава практически на одном технологическом оборудовании получить до 50 смесей различного назначения: для кладки кирпича и бетонных блоков, облицовочных работ, внутреннего и наружного оштукатуривания зданий, выполнения наливных самовыравнивающихся полов, гидроизоляционных работ.

3. Применение

По назначению строительные растворы подразделяют на кладочные, отделочные, специальные. *Кладочные* применяют для скрепления мелкоштучных изделий при возведении фундаментов, стен, столбов, сводов из кирпича, природного и искусственного камня, а также при изготовлении и монтаже крупноблочных и крупнопанельных элементов. При выполнении кладочных работ в зимнее время для обеспечения набора прочности в растворы вводят противоморозные добавки, в летний период – пластифицирующие, повышающие подвижность растворных смесей и замедляющие их загустевание.

Отделочные растворы могут быть обычными штукатурными и декоративными. Первые классифицируют по виду вяжущего (цементные, цементно-известковые, известковые, известково-гипсовые, гипсовые, известково-глиняные, глиняные), по назначению (для наружных и внутренних штукатурок) и по расположению слоев (подготовительные и отделочные).

Для штукатурных растворов очень важным показателем является подвижность, которая должна обеспечивать равномерное распределение раствора тонким слоем, как по горизонтальной, так и по вертикальной поверхности. С целью повышения водоудерживающей способности и исключения расслаиваемости высокоподвижных смесей вводят пластифицирующие добавки, которые могут быть органическими или минеральными (известковое или глиняное тесто). Выбор вяжущего зависит от условий эксплуатации штукатурного состава. Для надежного сцепления раствора с бетонной или кирпичной поверхностью используют закрепляющие полимерцементные растворы с предварительной огрунтовкой поверхности эмульсией ПВА или специальными грунтовочными составами.

Декоративные растворы должны обладать светостойкостью и иметь хорошее сцепление с поверхностью. Для отделки фасадов применяют растворы на белом и цветном портландцементе, внутренних поверхностей – на известке, гипсе, гипсополимерцементном и цементнополимерном вяжущих, в которые вводят минеральные пигменты. В качестве заполнителя используют мытые кварцевые пески или каменную крошку, полученную дроблением горных пород. Для повышения декоративности на поверхность, обработанную полимерцементным или водоземлюсионным составом, пневмометодом наносят крошку (размер до 5 мм) из керамики, стекла, угля, сланцев, мрамора.

К *специальным видам* растворов относят гидроизоляционные, теплоизоляционные, акустические, кислотостойкие, рентгенозащитные. Гидроизоляционные свойства обеспечивают за счет введения уплотняющих (хлорид железа) или гидрофобизирующих (битумная эмульсия) добавок; теплоизоляционные – использованием пористых заполнителей; акустических – дополнительным созданием шероховатой поверхности; огнезащитных – применением гипса или жидкого стекла в сочетании с огнеупорной глиной и термостойким асбестовым волокном; кислотостойких – использованием кислотостойких заполнителя и цемента на основе жидкого стекла; рентгенозащитных – введением заполнителей из особо плотных баритовых руд.

ЛЕКЦИЯ 10. Полимерные материалы и изделия

1. Общие сведения

Пластическими массами называют материалы, содержащие в качестве важнейшей составной части высокомолекулярные соединения – **полимеры** и обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью или частично теряется после отверждения полимера.

Молекулы высокомолекулярных соединений состоят из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего макромолекулы таких соединений построены путем многократного повторения определенных структурных единиц. Степенью полимеризации называют число структурных единиц, содержащихся в одной макромолекуле.

Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500. Вещества, имеющие промежуточные значения молекулярной массы, называют **олигомерами**. К ним относятся природные и искусственные смолы, используемые для производства пластмасс.

Высокомолекулярные соединения встречаются в природе. К ним принадлежит натуральный каучук, целлюлоза, шелк, шерсть, янтарь и др.

2. Состав и свойства

Пластмассы получают обычно из связующего вещества и наполнителя, вводя в состав исходной массы те или иные специальные добавки – пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и красители.

Связующим веществом в пластмассах служат различные полимеры – синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы. Выбор связующего вещества в значительной мере определяет технические свойства изделий из пластмасс: их теплостойкость, способность сопротивляться воздействию растворов кислот, щелочей и других агрессивных веществ, а также характеристики прочности и деформативности. Связующее вещество – это обычно самый дорогой компонент пластмассы. Полимерные связующие служат основой композиционных материалов.

Для производства полимеров имеются огромные запасы сырья. Исходными материалами для их получения являются природный газ и так называемый «попутный» газ, сопровождающий выходы нефти. В газообразных продуктах переработки нефти содержится этилен, пропилен и другие газы, перерабатываемые на предприятиях в полимеры.

Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля, содержащий фенол и другие компоненты.

В производстве синтетических материалов применяют также азот и кислород, получаемые из воздуха, воду и ряд других широко распространенных веществ.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна. В виде наполнителей слоистых пластмасс широко применяют также бумагу, ткани, древесный шпон и другие листовые материалы. Наполнители значительно уменьшают потребность в дорогом полимере и тем самым намного удешевляют изделия из пластмасс. Кроме того, наполнители улучшают ряд свойств изделий – повышают теплостойкость, а волокна ткани и листовые материалы сильно повышают сопротивление растяжению и изгибу, действуя подобно арматуре в железобетоне.

Пластификаторы – это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его высокоэластичности и уменьшения хрупкости. В виде пластификаторов могут использоваться некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости. Молекулы жидкости, проникая между звеньями цепей полимера, увеличивают расстояние и ослабляют связи между ними. Это и приводит к уменьшению вязкости полимера.

При изготовлении пластмасс в их состав вводят и другие добавки. Вещества, являющиеся инициаторами реакции полимеризации, ускоряют процесс отверждения пластмасс и их поэтому называют отвердителями. *Стабилизаторы* способствуют сохранению структуры и свойства пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха, нагрева и других неблагоприятных влияний.

В качестве красителей пластмасс применяют как органические (нигрозин, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты – охру, мумие, сурик, ультрамарин, белила и др.

Для производства пористых пластических масс в полимеры вводят специальные вещества – *порообразователи (порофоры)*, обеспечивающие создание в материале пор.

Положительным свойством пластмасс является то, что возможно получить некоторые материалы с высокими показателями, например:

- малая плотность в пределах от 20 до 2200 кг/м³;

- высокие прочностные характеристики – у текстолита предел прочности при разрыве достигает 150 МПа, у древопластиков равен 350 МПа. Пределы прочности при сжатии этих материалов также достаточно высоки, например, у древопластиков порядка 200 МПа, у СВАМа (стекловолокнистый

анизотропный материал) – 420 МПа. Пластмассы с наполнителями (как порошкообразными, так и волокнистыми) имеют предел прочности при сжатии в пределах от 120 до 160 МПа;

- низкая теплопроводность. Самые легкие пористые пластмассы имеют показатель теплопроводности всего лишь 0.03 Вт/(м·°С), т.е. близкий к теплопроводности воздуха;

- высокая химическая стойкость;

- высокая устойчивость к коррозионным воздействиям;

- способность окрашиваться в различные цвета;

- малая истираемость некоторых пластмасс. В связи с этим в первую очередь эти пластмассы целесообразно внедрять как материалы для покрытия полов;

- прозрачность пластмасс. Обычные стекла пропускают менее 25 % ультрафиолетовых лучей, тогда как органические наоборот – более 70 %; они легко окрашиваются в различные цвета. Следует отметить их значительно меньшую плотность. Так, стекло из полистирола имеет плотность 1060 кг/м³, тогда как обычное оконное стекло – 2500 кг/м³;

- технологическая легкость обработки (пиление, сверление, фрезерование, строгание, обточка и др.), позволяющая придавать изделиям из пластмасс разнообразные формы. Пластмассовые изделия поддаются склеиванию как между собой, так и с другими материалами (например, с металлом, деревом и др.). Поэтому из пластмасс можно изготавливать различные комбинированные клееные строительные изделия и конструкции;

- относительная легкость сварки материалов из пластмасс (например, труб в струе горячего воздуха) позволяет механизировать работы по монтажу пластмассовых трубопроводов;

- способность некоторых пластмасс образовывать тонкие пленки в сочетании с их высокой адгезией к ряду материалов, вследствие чего такие пластмассы незаменимы как сырье для производства строительных лаков и красок;

- наличие в стране обширной сырьевой базы для производства полимеров (природные газы, газы нефтепереработки).

Вместе с тем пластмассы имеют ряд недостатков:

- низкая теплостойкость (от +70 до +200 °С);

- малая поверхностная твердость;

- высокий коэффициент термического расширения. Он колеблется в пределах $0.3 - 14 \cdot 10^{-5}$ (см/см/°F), т. е. в 2.5 – 19 раз более высокий, чем у стали. Это

необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций, особенно крупногабаритных (например, трубопроводов);

- повышенная ползучесть, особенно заметная при повышении температурного режима;
- горючесть с выделением вредных газов;
- токсичность при эксплуатации.

К недостаточно изученным свойствам пластмасс следует отнести сроки их службы. Вопросы долговечности материалов, изменчивости их свойств во времени в значительной мере определяют возможность их применения в строительстве.

3. Применение

Материалы для несущих и ограждающих конструкций

Полимербетоны – композиционные материалы, изготавливаемые преимущественно на основе термореактивных полимеров: полиэфирных, эпоксидных, феноло-формальдегидных, фурановых и др. Заполнители выбираются в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред изготавливают полимербетоны на кислотостойких заполнителях - кварцевом песке и щебне из кварцита, базальта или гранита. Используют также бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит.

Наиболее высокие физико-механические свойства полимербетоны имеют на эпоксидных смолах. Для уменьшения расхода и стоимости эпоксидных смол их модифицируют каменноугольной смолой (до 35 – 50 %). Широкое распространение получили полимербетоны на фурановых полимерах, которые модифицируют эпоксидными смолами для улучшения свойств композиций.

Расход связующего составляет 100 – 200 кг на 1 м³ полимербетона при соотношении к наполнителю 1:5 – 1:12 по массе. Технология приготовления и уплотнения полимербетонов такая же, как и цементных. Термообработка при 40 – 80 °С значительно ускоряет процесс твердения. Полимербетоны (полимеррастворы) хорошо склеиваются с цементным бетоном, поэтому его применяют для ремонта железобетонных конструкций.

Для уменьшения хрупкости полимербетона применяют волокнистые наполнители – асбест, стекловолокна и др. Полимербетоны отличаются от обычного цементного бетона не только химической стойкостью (особенно по отношению к кислотам), но и высокими показателями прочности, в особенности при растяжении (7 – 20 МПа) и изгибе (16 – 40 МПа). Прочность при сжатии достигает 60 – 120 МПа. Морозостойкость

полимербетонов может иметь 200...300 циклов замораживания и оттаивания; теплостойкость – 70...200 °С. Но их стоимость в несколько раз выше цементных блоков.

Применяют полимербетоны для химически стойких конструкций, износостойких покрытий, там, где высокая стоимость полимербетонов будет оправдана. Отрицательным свойством полимербетонов является их большая ползучесть, а также старение, усиливающееся при действии попеременного нагревания и охлаждения. Кроме того, необходимо соблюдение специальных правил охраны труда при работе с полимерами и кислыми отвердителями, могущими вызвать ожоги. В частности, необходима хорошая вентиляция, обеспечение рабочих защитными очками, резиновыми перчатками, спецодеждой.

Стеклопластики – это композиционные листовые материалы, изготавливаемые из стеклянных волокон или тканей, связанных полимером. Связующим веществом в стеклопластике обычно служат фенолоформальдегидные, полиэфирные и эпоксидные полимеры. Выпускают три разновидности стеклопластиков: на основе ориентированных волокон, рубленых волокон и тканей или матов.

Стеклопластики с ориентированными волокнами (типа СВМ – стекловолокнистого анизотропного материала) обладают большей прочностью (при растяжении до 1000 МПа), легкостью (их плотность 1,8 – 2 г/см³), что в сочетании с химической стойкостью делает их эффективным материалом для строительных конструкций, емкостей и труб.

Стеклопластики с рубленным стеклянным волокном изготавливают в виде волокнистых или плоских листов на полиэфирном связующем, обладающим светопрозрачностью. Эти изделия применяют для устройства кровель, ограждений балконов, лоджий и перегородок.

Стеклопластики, изготавливаемые на основе стеклянной ткани – (стеклотекстолиты), получают горячим прессованием полотнищ ткани, пропитанной термореактивным полимером, при высоком давлении и температуре. Стеклотекстолит идет для наружных слоев трехслойных стеновых панелей (внутренний слой панели из теплоизоляционного материала). Этот же материал применяют для устройства оболочек и других строительных конструкций.

Стеклотекстолиты получают также прессованием пастообразной массы из полиэфирного полимера, стекловолокна, асбеста и порошкообразного наполнителя. Из этого материала формируют оконные и дверные блоки, фурнитуру, санитарно-технические изделия.

Облицовочные полистирольные плитки – тонкие квадратной или прямоугольной формы с гладкой наружной и рифленой тыльной

поверхностью. Плитки изготавливают методом литья под давлением на литьевых автоматических машинах. Полимерная композиция включает кроме полимера еще наполнитель (тальк, каолин), пигмент, а иногда и модифицирующие добавки. Толщина плиток – 1.25...1.5 мм, поэтому масса 1 м³ плиток составляет лишь 1.5...1.7 кг. К поверхности стен плитки приклеивают полимерными или каучуковыми мастиками. Плитки имеют красивые расцветки, гигиеничны, водо- и химически стойки. Плитки применяют для облицовки стен санузлов и торговых помещений. Однако полистирольные плитки горючи, поэтому их нельзя использовать возле открытого огня (например, около газовых плит).

Отделочные полистирольные плитки («полиформ») изготавливают из ударопрочного полистирола с добавлением вспенивающего компонента толщиной 8 – 10 мм. Панели крепят при помощи шурупов и гвоздей, используют для внутренней облицовки потолков, стен, а также для устройства передвижных перегородок и элементов интерьера.

Бумажнослоистые пластики изготавливают из нескольких слоев специальной бумаги, пропитанных фенолоформальдегидным или карбомидным полимером. Пластик выпускают в виде листов длиной 1000 – 3000 мм, шириной 600 – 1600 мм, толщиной 1 – 5 мм. Бумажнослоистые пластики разнообразны по цвету и рисунку, хорошо обрабатываются – их можно пилить, сверлить, фрезеровать. Пластик толщиной до 1,6 мм крепят битумнокаучуковыми и другими мастиками, эпоксидными и резорциноформальдегидными клеями. Более толстые листы пластика крепят механическим способом.

Материалы для полов

Линолеум выпускают бесосновный и на теплозвукоизоляционной основе (тканевой, войлочной, вспененной). Независимо от основы линолеум может состоять из двух или большего количества слоев. Верхний лицевой полимерный слой содержит меньше наполнителей, более стоек к истиранию, эластичен и декоративно оформлен. Последний слой более жесткий, содержит меньше полимера и больше наполнителей, чем лицевой слой. Наполнителями служат тонкие минеральные порошки (мел, тальк и др.).

Линолеум на тканевой основе получают путем нанесения пасты, содержащей полимер, пластификатор, наполнитель, краситель и другие добавки, на джутовую или иную ткань. Затем ткань со слоем нанесенной пасты проходит через термокамеру, в которой происходит полимеризация и превращение пасты в упругий и эластичный материал. Войлочную основу линолеума пропитывают антисептиками для придания биостойкости.

Релин (резиновый линолеум) состоит из двух слоев – нижнего (подкладочного), изготовленного из бывшей в употреблении дробленой

резины с битумом, и верхнего (лицевого) – из смеси синтетического каучука (резины) с наполнителем и пигментом.

Двухслойный линолеум выпускают и другого типа: лицевым слоем служит обычный линолеум, а подкладочным – ячеистая (вспененная) пластмасса, придающая покрытию пола высокие тепло- и звукоизоляционные свойства.

Около половины общего выпуска рулонных полимерных материалов для пола приходится на долю поливинилхлоридного линолеума. Чистые полы из этого линолеума гигиеничны, биостойки и огнестойки. Низкая себестоимость и незначительные эксплуатационные расходы являются их преимуществом перед паркетным и дощатыми полами. Выпускается также глифталевый (алкидный) и коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) линолеумы коричневого и красного цветов. Из-за повышенной возгораемости и выделение дыма коллоксилиновый линолеум не применяют в детских учреждениях, театрах и т. п.

Линолеум изготавливают с гладкой и рельефной поверхностью, придавая ей разные цвета и рисунок. Длина рулонов 12 м, ширина 1,4 – 1,6 м, толщина 2 – 4 мм. Укладывают линолеум по ровному основанию, наклеивают с использованием горячих и холодных мастик.

Ковровые синтетические материалы для пола имеют основу из полиуретана (или другого полимера), а для верха ковра применяют синтетические волокна, из которых изготавливают тканые и нетканые покрытия. Например, *ворсолин* состоит из двух слоев: основой его служат поливинилхлоридная пленка, а покрытие выполнено из ворсовой пряжи.

Для устройства чистых полов могут применяться водостойкие *сверхтвердые древесностружечные плитки* плотностью не менее 950 кг/м³, имеющие высокую прочность при изгибе (не ниже 50 МПа). Однако при сборке пола даже из крупноразмерных листов все же получаются швы.

Из полимерных материалов можно устраивать чистые монолитные полы, вовсе не имеющие швов. Для этой цели применяют мастики, состоящие из связующего полимерного вещества, наполнителей, специальных добавок и красителей.

Бесшовные полы устраивают, применяя состав на основе водоразбавляемой поливинилацетатной эмульсии. Водную дисперсию полимера, воду, наполнитель (молотый песок, зола и т. п.), пигмент загружают в растворомешалку. Полученную после 4 – 5 мин перемешивания однородную мастику наносят на подготовленное основание пистолетом-распылителем в 2 – 3 слоя, причем каждый последующий слой наносят после высыхания последующего.

Полиэфирные составы для бесшовных полов готовят, используя перекисные инициаторы и наполнители в виде стеклянного волокна, белой сажи и др. Благодаря химической стойкости, сопротивлению ударам и истиранию полимерные полы применяют, в первую очередь, в зданиях с химически агрессивными средами. Однако полиэфирные полы недостаточно водостойки.

Полимербетонные наливные полы толщиной 20 – 50 мм не только химически стойки, но и способны выдержать тяжелые нагрузки, возникающие при работе внутрицехового транспорта. Полимерным связующим в бетоне являются фенолоформальдегидные, фурановые, эпоксидные или полиэфирные смолы с модификаторами, пластификаторами, отвердителями, стабилизаторами и другими добавками. В состав бетонной смеси помимо связующего входят порошкообразный наполнитель и заполнители (песок, щебень или гравий). Полимербетонную смесь укладывают на хорошо подготовленное основание и уплотняют виброрейками или катками, потом поверхность пола заглаживают.

Плитки для пола размером 300 × 300, 200 × 200 и 150 × 150 мм изготавливают из поливинилхлорида, инденкумаронового полимера или резины. Износостойкие и химически стойкие плитки получают также из фенолоальдегидных прессовочных порошков, состоящих из полимера, наполнителя и добавок.

Трубы, санитарно-технические и погонажные изделия

Термопластичные трубы получают из поливинилхлорида, полиэтилена и полипропилена экструзивным способом, прессованием, сваркой или склеиванием из листовых заготовок. Например, трубы из органического стекла получают непрерывным свертыванием листов-заготовок с одновременной сваркой шва. Пластмассовые трубы легки (в 3 – 6 раз легче стальных), обладают высокой коррозионной стойкостью. Благодаря низкому коэффициенту трения внутренней поверхности пропускная способность труб увеличивается на 30 – 40 % (по сравнению с железобетонными или стальными). Трубы легко резать, сверлить, сваривать.

Их используют при сооружении канализационных и водопроводных сетей, вентиляционных сетей, вентиляционных систем. Прозрачные трубы из органического стекла не имеют запаха, гигиеничны, наибольшее применение находят в парфюмерном производстве и медицинской промышленности.

Стеклопластиковые трубы изготавливают из полиэфирных полимеров, стекложгута, стеклоткани центробежным методом, намоткой на сердечник пропитанной стеклоткани и стеклолент. Стеклопластиковые трубы значительно прочнее других полимерных труб, они выдерживают рабочие

температуры до 150 °С. Применяют их в основном при строительстве химических предприятий и в нефтяной промышленности.

Для получения *санитарно-технических изделий* применяют полиметилметакрилат, ударопрочный полистирол, полипропилен, полиамиды, стеклопластики. Из пластмасс изготавливают ванны, мойки, сифоны, смывные бачки, детали вентиляторов, отдельные детали в кранах-смесителях и т. д. Все эти изделия отличаются малой массой (пластмассовая ванна примерно в 10 раз легче эмалированной), коррозионной стойкостью. Изделия из пластмасс обходятся дешевле фаянсовых и чугунных.

Цветные длинномерные элементы для отделки зданий, называемые *погонажными изделиями*, – плинтуса, поручни лестничных перил, наличники, нащельники, защитные уголки для лестничных перил, проступи и т.п. изготавливают на основе поливинилхлорида, полиэтилена, полистирола, органического стекла. Такие профильно-погонажные изделия имеют гладкую поверхность, окрашиваются в различные цвета. Изделия долговечны и обходятся не дороже деревянных.

Полимерные клеи и мастики

Клеи из синтетических материалов обладают высокой клеящей способностью (адгезией) и водостойкостью. Разработаны универсальные составы, которые в отличие от природных клеев хорошо склеивают древесину, пластмассу, металлы, керамику, стекло, природные и искусственные камни. Полимерные клеи дают возможность просто и быстро осуществлять сборку строительных элементов. При этом прочность клеевых стыков может быть выше прочности самого материала.

Широко применяют полимерные клеи для ремонта железобетонных конструкций, главным образом клеями на эпоксидных смолах.

Применение клеев способствовало развитию производства индустриальных деревянных клееных конструкций. Клеи изготавливают из различных полимерных смол, каучуков и производных целлюлозы. Для регулирования свойств в клеи вводят растворители, наполнители, пластификаторы, отвердители. Применяют клеи горячего и холодного отверждения.

Мастиками называют высоковязкие полимерные композиции, способные склеивать различные материалы, покрывать поверхность конструкций довольно толстым слоем для предохранения их от коррозии, заполнять щели, раковины, отверстия и другие углубления для получения гладкой поверхности или обеспечения герметичности. По свойствам и

технологии мастики отличаются от клеев только повышенной вязкостью или значительным содержанием наполнителя.

Материалы, модифицированные полимерами

Одним из эффективных направлений улучшения свойств традиционных материалов – бетона, дерева, натурального камня, битума и пр. считается обработка их полимерами. Модификацию строительных материалов полимерами осуществляют следующими приемами: введением полимеров в бетонную или растворную смесь при перемешивании; пропиткой полимерами готовых изделий; нанесением полимерных покрытий на поверхности; введением полимерных волокон и заполнителей.

Материалы, модифицированные полимерами, характеризуются повышением прочности при всех видах механического нагружения, но особенно при растяжении; улучшением деформативных характеристик, выражающихся в уменьшении жесткости, несколько большей предельной деформативности; повышенным сопротивлением динамическим воздействиям благодаря проявлению свойств высокой эластичности полимеров; повышением химической стойкости, водостойкости и водонепроницаемости; уменьшением истираемости; повышением адгезии, т. е. способности сцепляться с другим материалом и служить в качестве клеящего состава.

ЛЕКЦИЯ 11. Металлические материалы и изделия

1. Общие сведения

Металлы представляют собой неорганические крупнокристаллические вещества, обладающие специфическим металлическим блеском, пластичностью, высокой прочностью, электро- и теплопроводностью, ковкостью и свариваемостью. Пластичность проявляется при действии механической нагрузки и широко используется для получения изделий определенной формы и размеров. Металлические материалы строительного назначения производят методом проката (листы, профили, балки), экструзией (стержни, проволоку), прессованием (закладные детали).

Контроль основных показателей металлов и сплавов проводят по *пределу прочности на сжатие, изгиб, растяжение, кручение, удар, твердость* в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации в статическом, динамическом или повторно-переменном режимах при нормальной, повышенной и отрицательной температурах. При изучении свойств металлов (сплавов) большое внимание уделяют также исследованию процессов их разрушения под воздействием агрессивных сред, микроорганизмов, высоких температур и огня.

Интенсивность коррозионного разрушения зависит от химического состава и микроструктуры металла (сплава), концентрации и температуры агрессивной среды. В зависимости от причин, вызывающих разрушение, *коррозию* подразделяют на химическую (под действием газов, высокой температуры и органических жидкостей), электрохимическую (при наличии водных растворов), биологическую (под действием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов). Разрушение может происходить как равномерно по всей поверхности, так и неравномерно, что наиболее опасно.

Изделия предохраняют от коррозии за счет повышения однородности структуры и состава, введения легирующих добавок, исключения дефектов поверхности и применения специальных методов защиты: нанесение коррозионностойких металлических покрытий металлизацией, плакированием, гальваническим или горячим способами; термохимическая обработка изделий; покрытие поверхностей изделий лакокрасочными составами.

По отношению к *открытому пламени* металлы являются негоряемыми материалами, однако резкое повышение температуры и их высокая теплопроводность вызывают их расширение и внутренние напряжения, приводящие к размягчению, деформациям, растрескиванию, что приводит к потере несущей способности. Защитные меры основаны на

создании поверхностного теплозащитного слоя из бетона, кирпича, цементно-песчаных или глиняных огнезащитных штукатурок, вспучивающихся огнезащитных красочных составов, гипсосодержащих листов и плит.

Для защиты металлоизделий и конструкций от *биоповреждений* используют мастичные и красочные составы на основе полимерных смол с введением биоцидных добавок.

2. Технология и применение

В строительной практике основной объем составляют железоуглеродистые сплавы (черные металлы), которые в зависимости от содержания углерода С подразделяют на чугун (2.14...6.67 % С) и сталь (до 2 % С). Большое содержание углерода обеспечивает высокую прочность на сжатие и хрупкость металла, чем меньше его количество, тем пластичнее сплав, а также повышается его коррозионная стойкость. Поэтому чугун используют в конструкциях, работающих на сжимающие нагрузки (тубинги в метро, башмаки под колонны) и для изготовления канализационных труб, а сталь – на изгибающие и растягивающие (балки, арматура, профильные листы и т. д.).

Чугун получают в доменных печах из железосодержащих руд (красного, бурого и магнитного железняка). В состав чугуна, кроме железа и углерода, входят примеси кремния, марганца, фосфора и специальные легирующие добавки (никель, магний, алюминий, кремний), которые придают сплаву высокие механические свойства, обеспечивают износо-, жаро- и коррозионную стойкость. В зависимости от химического состава и микроструктуры выпускают белый, серый, высокопрочный и ковкий чугун.

Белый чугун (пердедельный) составляет большую часть выпускаемой металлургической продукции и идет на переработку в сталь. *Серый* (литейный) чугун применяют для изготовления фасонного литья строительного профиля (радиаторы, сантехника и архитектурно-художественные изделия). *Высокопрочный* и *ковкий* чугун используются в машиностроении.

С целью значительного повышения пластичности железоуглеродистых сплавов чугун в сочетании с рудой, металлоломом (скрапом) переплавляют в *сталь*. В процессе плавки, которая может проходить в конвертерах, мартеновских или электропечах, из чугуна путем окисления и перевода в шлак удаляют избыток углерода, марганца, кремния, фосфора. Полученную сталь классифицируют по способу производства: мартеновская, конвертерная, электросталь; химическому составу: углеродистая,

легированная; назначению: конструкционная (строительная, машиностроительная), инструментальная, специального назначения.

Углеродистую сталь обыкновенного качества выпускают для строительных целей, качественную конструкционную используют в машиностроении и для ответственных строительных конструкций, высококачественную инструментальную – для изготовления режущих инструментов, штампов. В зависимости от гарантируемых механических и технологических характеристик углеродистую сталь обыкновенного качества делят на две группы (А и Б) и одну подгруппу (В). Для изготовления изделий строительного назначения в основном применяют сталь группы А, которую выпускают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3,..., Ст 6. По мере увеличения цифры повышается прочность и снижается пластичность сплава. Качественные конструкционные углеродистые стали подразделяют в зависимости от содержания углерода на малоуглеродистые (до 0.25 %), которые хорошо свариваются, пластичны и надежно работают в сварных и клепаных строительных конструкциях, среднеуглеродистые (до 0.55 %) – хуже свариваются, более прочные и хрупкие, их применяют для изготовления деталей, работающих при больших нагрузках, высокоуглеродистые (до 0.80 %) – для изготовления пружин, рессор, зубчатых колес.

С целью повышения коррозионной стойкости, снижения хладоломкости, замедления старения в сталь при получении вводят легирующие добавки (хром, марганец, никель, кобальт, молибден, кремний и т. д.). *Легированные стали* классифицируют по химическому составу и назначению. В зависимости от суммарного содержания добавок выпускают низколегированные стали (до 2,5 %), среднелегированные (2.5...10 %) и высоколегированные (более 10 %).

Для производства элементов несущих стальных конструкций и профилей используют низколегированные конструкционные стали, для режущего и измерительного инструмента – инструментальные, для работы в условиях действия высоких температур, агрессивной среды и т. д. – легированные стали с особыми свойствами.

Преимущества легированных сталей проявляются в большей мере после дополнительной термообработки, общий режим которой включает, нагрев изделий до температуры перекристаллизации сплава в твердом состоянии (*вторичная кристаллизация*) с сохранением вещественного состава (*аллотропия*). В зависимости от назначения термообработки (изменение свойств, снятие напряжений) целенаправленно подбирают максимальную температуру нагрева, скорость ее подъема и охлаждения. На практике применяют следующие виды термической обработки

металлических изделий: отжиг, нормализацию, закалку, отпуск, термо-механическую и химико-термическую.

Отжиг используют для повышения однородности стали, снятия внутренних напряжений. *Нормализация* позволяет уменьшить напряжения, имеющие место при получении изделий, и повысить пластичность. Применяя *закалку* в сочетании с *отпуском*, увеличивают прочность, твердость и сохраняют заданную вязкость. Метод *термомеханической обработки* (ТМО) предусматривает, нагрев поверхностного слоя изделия на заданную глубину, обкатку его роликами для ориентированного расположения кристаллов и повышения прочности поверхностного слоя, закалку и отпуск. Этот вид обработки позволяет сочетать высокую прочность с пластичностью.

Химико-термическую обработку применяют для повышения твердости, прочности, жаро-, износо- и коррозионной стойкости. Используемый способ обработки предусматривает насыщение поверхностного слоя изделия в нагретом состоянии углеродом (цементация), азотом (азотирование) или одновременно азотом и углеродом (цианирование).

Вторую группу используемых в строительстве металлических материалов образуют цветные сплавы.

Наиболее широкое применение получили *сплавы алюминия* с магнием, медью, кремнием благодаря их низкой плотности (2700 кг/м^3), высокой электро- и теплопроводности, коррозионной стойкости, пластичности, хорошей свариваемости, надежности работы при отрицательных температурах, отсутствию магнитных свойств и искрообразования при ударе. Эти материалы используют для получения пресованных холодных и утепленных профилей, тонколистовых изделий для производства сварных и клепаных конструкций (фермы, колонны, сборные каркасы зданий, кровельные и стеновые многослойные панели), подвесных потолков, окон, дверей.

Из сплавов *меди* в строительстве применяют латунь (листы, прутья, проволока, трубы) и бронзу (архитектурно-художественные изделия и пигмент в красочных составах).

Цинк в строительстве используется для защиты стальных изделий (кровельной стали, закладных деталей, несущих конструкций) от коррозии, *свинец*, стойкий к коррозии и радиационному излучению, – для изготовления специальных труб и защитных экранов.

ЛЕКЦИЯ 12. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы

1. Кровельные материалы

Крыша представляет собой сложную, многослойную наружную ограждающую конструкцию, основное назначение которой – защита здания от механических повреждений, увлажнения, перепада температур и обеспечение, таким образом, определенного внутреннего микроклимата в здании. В зависимости от архитектурно-конструкционного решения крыши подразделяют на *плоские* и *скатные*, которые в свою очередь могут быть многоярусными с переменным уклоном, шатровыми, купольными и т. д. Плоские конструкции крыш чаще встречаются в многоэтажных гражданских и промышленных зданиях, скатные – в индивидуальном строительстве, так как с их помощью можно значительно повысить архитектурную выразительность и неповторимость дома.

Основную несущую функцию в крыше выполняет *конструкция*, которая опирается на стены или опоры и передает механические нагрузки от действия ветра, снега и самой крыши на фундамент. Она может быть в виде фермы, стропил, сборной железобетонной плиты покрытия, многослойной асбестоцементной плиты, стального профилированного настила, комплексных панелей покрытия заводского изготовления с тепло- и гидроизоляционными слоями, монопанели, а также из монолитного бетона.

По несущей конструкции, выполненной из паропроницаемого материала, устраивают плёночную или окрасочную *пароизоляцию*, препятствующую увлажнению проникающими из помещения водяными парами последующего теплоизоляционного слоя. Для этой цели могут быть использованы мастики (битумные, битумно-полимерные, полимерные), лакокрасочные и рулонные материалы. Толщина покрытия зависит от влажности воздуха в помещении.

В качестве *теплоизоляционных* материалов, защищающих здание от охлаждения и перегрева, используют легкие бетоны на пористых заполнителях (монолитная), плиты из ячеистого бетона и пенопласта (сборная) или такие рыхлые, зернистые материалы, как керамзит, перлит (засыпная теплоизоляция). В случае использования сыпучих материалов или полужестких плит для придания жесткости поверх них устраивают *стяжку* – выравнивающее покрытие. Стяжки выполняют монолитными и сборными. К первым относятся цементнопесчаные, полимерцементные, гипсовые, гипсополимерные, стеклогипсовые, стеклогипсо-полимерные (в летних условиях) и асфальтобетонные (в зимних); ко вторым – асбестоцементные прессованные листы. Заключительный *верхний слой*

кровли защищает крышу от периодического, кратковременного действия атмосферных осадков. Для его устройства применяют рулонные, мастичные, листовые и штучные материалы.

В зависимости от вида исходного сырья кровельные материалы могут быть металлическими, керамическими, цементосодержащими, полимерными, битумно-полимерными и битумными.

Для плоских крыш с малым уклоном применяют *рулонные* и *мастичные* материалы, для скатных с большим уклоном – *листовые* и *штучные* изделия. В последнем случае материалы крепят механическим путем на специально выполненную из досок или брусьев обрешетку, защищенную, для обеспечения пароизоляции и исключения продуваемости, рулонным пароизоляционным материалом. При выборе кровельных материалов используют критерии, учитывающие конфигурацию, планируемую долговечность, требуемое эстетическое восприятие, экономическую целесообразность.

Кровельное покрытие в течение всего срока эксплуатации подвергается воздействию многочисленных неблагоприятных факторов внешней среды: влажностным и температурным изменениям, действию ультрафиолетовых лучей. Под влиянием нагрузки, температуры деформируется как сам кровельный материал, так и жесткое основание крыши. Их способность к совместной работе без нарушения сплошности покрытия определяет долговечность кровли, которую оценивают в годах службы при потере 50 % величины основных показателей качества. Качество кровельных материалов проверяют по основным общим показателям: водостойкости, водонепроницаемости, температуростойкости, морозостойкости, устойчивости к действию ультрафиолетовых лучей – и свойствам, зависящим от состава материала: горючести, токсичности и т. д.

К *крупноразмерным листовым* материалам относятся:

- металлочерепица – штампованный гофрированный лист из алюминия или оцинкованной стали с защитным декоративным покрытием;
- асбестоцементные профилированные листы с защитным декоративным покрытием;
- битумосодержащий профилированный листовой материал «Ондулин».

Основные эксплуатационные недостатки долговечных металлических материалов: высокая шумность во время дождя, необходимость обеспечения электробезопасности конструкции, высокая плотность и теплопроводность, требующие применения пароизоляции, а также воздушного зазора между теплоизоляционным слоем и кровельным покрытием.

Асбестоцементные листы (паропроницаемый, «дышащий» материал) обладают пониженной теплопроводностью и звукоизоляцией, но относительно хрупки и массивны.

Свето пропускающие листовые материалы – стеклопластик профилированный, органическое профилированное стекло (акриловое, поликарбонатное) плотной и ячеистой структуры, силикатное армированное декоративное стекло – применяют при строительстве рынков, зимних садов, выставочных павильонов.

Штучные кровельные материалы из-за трудоемкости выполнения покрытия чаще используют при индивидуальном строительстве или возведении зданий культурного назначения, в которых крыша играет роль архитектурного элемента. Наиболее часто используется черепица, которую в зависимости от применяемого материала подразделяют на керамическую, цементно-песчаную, полимерно-песчаную и битумную (кровельная плитка). В зависимости от формы и назначения черепицу выпускают плоскую, коньковую и специальную.

Все рассмотренные листовые и штучные изделия выполняют несущую и изолирующую функции. *Рулонные* и *мастичные* материалы выполняют только изолирующую функцию. Их используют для выполнения плоской, «мягкой» кровли. Недостатки этих материалов – обязательное присутствие жесткого основания и многослойность покрытия.

Материалы «мягкой» кровли классифицируют по деформативным свойствам на прочные (армированные) и эластичные. В зависимости от технологии выполнения кровельных работ и вида материалов их подразделяют на пять классов:

- рулонные армированные – наплавляемые;
- рулонные армированные – наклеиваемые;
- рулонные безосновные – наклеиваемые;
- мастичные холодные однокомпонентные;
- мастичные холодные двухкомпонентные.

Первые два класса относятся к прочным, относительно жестким покрытиям, остальные – к эластичным.

Важнейшими параметрами оценки свойств рулонных кровельных материалов являются гибкость при минимальной положительной или отрицательной температуре (мм/°C), теплостойкость (°C), разрывная сила при растяжении (МПа); водопоглощение (%) и водонепроницаемость при действии определенного давления в МПа. Кроме вышперечисленных, учитываются и такие свойства, как стойкость к агрессивным средам,

биокоррозии, ультрафиолетовому излучению, пожарная и экологическая безопасность.

Радикальное улучшение качества «мягких» кровельных материалов и повышение их долговечности достигается за счет:

- использования нетканых синтетических основ;
- модификации битумов температуростойкими эластичными полимерами;
- разработки полимерных материалов для устройства однослойных кровель;
- использования новых видов защитных и декоративных бронирующих посыпок, и покрытий.

Для кровель общественных, промышленных и других зданий с малым уклоном, прочным и плотным бетонным основанием применяют *мембранные покрытия* (эластомерные пленочные) на основе каучуков. В строительстве нашли применение три типа мембран: неармированные из бутилового каучука, используемые в качестве гидроизоляции; неармированные из этиленпропиленового каучука, применяемые как кровельные и гидроизоляционные; из этиленпропиленового каучука на основе полиэфирного волокна – кровельные.

Для выполнения бесшовных водонепроницаемых покрытий крыш используют также *кровельные мастики*. Их классифицируют по назначению (приклеивающие, кровельные, гидроизоляционные, антикоррозионные), виду применяемого связующего (битумные, битумно-полимерные, полимерные), виду компонента, обеспечивающего пластичность смеси (содержащие воду, растворители, масла), характеру отверждения (отверждаемые, неотверждаемые) и технологии применения (горячие, холодные). Приняты следующие условные обозначения: МБЭ – битумно-эмульсионные, МБПГ – битумно-полимерные горячие, МБПХ – битумно-полимерные холодные, МБПО – битумно-полимерные отверждаемые, МПХ – полимерные холодные.

Мастичные кровли по отношению к рулонным имеют свои преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести легкость выполнения механическим или ручным способом любых форм и уклонов, отсутствие швов, а также возможность ремонта без удаления старой кровли; к недостаткам – сложность получения одинакового по толщине покрытия, необходимость в ряде случаев дополнительного армирования, паронепроницаемость покрытия, а также требование защиты поверхности сыпучими неорганическими материалами, что утяжеляет и удорожает покрытие. В связи с тем, что ряд мастик для обеспечения заданной пластичности содержат токсичные растворители, встает вопрос экологии. В этом

отношении более благополучны битумные водные эмульсии с волокнистым наполнителем, но их применяют в основном для мелкого ремонта кровли.

В зависимости от способа поставки кровельные мастики подразделяют на одно- и двухкомпонентные. Первые поступают в готовом виде, их полимеризация с образованием прочного гидроизоляционного ковра происходит сразу после нанесения на основание. Срок хранения таких составов не превышает трех месяцев. Вторые представляют собой два различных материала, смешивание которых проводят на строительной площадке непосредственно перед укладкой. Путем изменения соотношения их компонентов свойства смеси можно регулировать в довольно широком интервале. Срок хранения составляющих – более года.

2. Гидроизоляционные материалы

Специфика работы гидроизоляционных материалов в сравнении с кровельными – непосредственный постоянный контакт с водяными парами или водой, в ряде случаев действующей под давлением. Общая задача гидроизоляции – не допускать проникновения агрессивной грунтовой воды, содержащей кислоты, сульфаты, сероводород, хлор, к изолируемому материалу (антикоррозионная гидроизоляция) или миграцию воды через ограждающую конструкцию (антифильтрационная гидроизоляция). Для этого нужно или создать водонепроницаемый слой между водой и поверхностью материала, или придать самому материалу свойство водонепроницаемости. Гидроизоляцию выполняют, прежде всего, для подземных конструкций и сооружений, испытывающих в процессе эксплуатации действие прямого гидравлического напора или фильтрующих грунтовых вод (фундаменты, стены подвалов, полы).

При новом строительстве с наружной стороны подземной конструкции используют «первичную» гидроизоляцию – окрасочную и оклеечную. При реконструкции и ремонте выполняют дополнительную «вторичную» гидроизоляцию: монолитную (штукатурную), облицовочную, пропиточную, инъекционную и засыпную (гидрофобную).

Окрасочная гидроизоляция, рекомендуемая для защиты от капиллярной, фильтрующей воды, представляет собой монолитное водонепроницаемое покрытие толщиной 3...6 мм, получаемое путем нанесения на защищаемую поверхность вязкопластичных битумных, битумно-полимерных и полимерных мастичных составов на органических растворителях, или в виде водной эмульсии в сочетании с эмульгаторами, обеспечивающими ее однородность и стабильность.

Оклеенные, штукатурные и облицовочные покрытия применяют при прямом действии на поверхность воды напором до 10 м. Для выполнения

оклеечной гидроизоляции используют как специальные рулонные водостойкие и водонепроницаемые материалы, так и материалы широкого спектра применения. К специальным можно отнести «Изол» – безосновный рулонный биостойкий материал на основе резинобитумного вяжущего с введением наполнителя, антисептических и пластифицирующих добавок – и «Бутерол», полученный смешиванием синтетических каучуков, термоэластопластов, пластификаторов, вулканизирующих добавок и наполнителей. Защиту конструкций выполняют путем наклеивания этих безосновных рулонных материалов толщиной до 2 мм на специальную мастику в два слоя.

Применяемые основные рулонные материалы, как правило, отличаются от кровельных видом защитного слоя, так как для гидроизоляционных материалов фактически отсутствуют воздействия высоких и низких температур, ультрафиолетового излучения. Защитный слой может быть мелкозернистым, пылевидным или выполненным из полимерной пленки. Как и кровельные, гидроизоляционные материалы выпускают на основе стеклохолста и ткани, полимерного холста и ткани. В качестве связующего компонента для гидроизоляции сооружений, не подверженных гидростатическому давлению (полы, вертикальные стены подвалов), используют битумные, битумно-эластомерные и пластомерные составы. Для конструкций, работающих в условиях гидростатического давления воды, применение битума исключается.

Многослойные покрытия получают с применением специальных клеев и холодных клеящих мастик. Для обеспечения надежности и долговечности эксплуатации рулонного покрытия его защищают ограждением в виде кирпичной стены, бетонных плит или асбестоцементных листов.

Монолитную (штукатурную) гидроизоляцию во избежание трещинообразования применяют только для жестких недеформируемых поверхностей строительных конструкций, поскольку толщина относительно хрупкого покрытия в зависимости от величины гидростатического напора составляет от 6 до 50 мм. Используемые защитные составы на основе битума, полимерных связующих или минерального вяжущего (цемента) для повышения трещиностойкости содержат мелкий заполнитель и минеральные или органические наполнители в виде порошков или волокон, а для повышения пластичности и плотности цементных композиций – пластифицирующие и уплотняющие добавки.

Назначение *асфальтовых мастик* и *растворов* – антифильтрационная и антикоррозионная защита подземных частей сооружений. Условия, ограничивающие их применение, – наличие нефтепродуктов и горячей воды ($t > 50$ °С). Усилить монолитную гидроизоляцию можно или за счет

дополнительного армирования стеклосеткой (стеклохолстом) – или применением полимер-растворов и полимербетонов.

Металлические листовые материалы толщиной до 4 мм используют в качестве несъемной опалубки при бетонировании монолитных конструкций. В случае расположения гидроизоляции со стороны действия грунтовых вод металлические листы защищают от коррозии красочными составами.

Полимерные листовые материалы плоские и профилированные (полиэтиленовые, полипропиленовые, винилпластовые) толщиной до 2 мм или устанавливаются в опалубку при получении монолитных конструкций, или приклеивают к поверхности полимерсиликатным составом для гидрозащиты сборных конструкций.

Все большее признание среди строителей при наружной гидроизоляции фундаментов приобретает *мембранная гидроизоляция*, представляющая собой многослойное покрытие, состоящее из толстой полиэтиленовой пленки с приклеенной к ней объемной сеткой, заполненной гранулами бентонитовой глины или водонабухающего полимера. При увлажнении эти материалы, увеличиваясь в несколько раз в объеме, создают водонепроницаемый слой.

В случае необходимости гидроизоляции фундамента эксплуатируемого здания с внутренней стороны в стенах и полу подвального помещения пробуривают сквозные отверстия, через которые под давлением нагнетают специальные *гидроизоляционные растворы*, состоящие из портландцемента, глины, жидкого стекла и уплотняющих добавок.

Для гидроизоляции стен от капиллярного поднятия влаги в стенах бурят наклонные скважины малого диаметра с последующим нагнетанием через них *пропитывающих растворов*: кремнеорганических, гидрофобизирующих жидкостей или мономеров со специальными добавками, которые, полимеризуясь в порах материала, повышают водонепроницаемость и несущую способность конструкции.

В последние годы расширяется применение гидроизоляционных сухих строительных смесей на основе портландцемента. Для обеспечения их надежной работы необходимо выполнение следующих условий:

- для ликвидации сквозных дефектов и повышения надежности покрытия необходима многослойная гидроизоляция;
- гидроизоляционные материалы должны работать только по прямому назначению и при эксплуатации не испытывать действия истирающих и других нагрузок;
- защитное покрытие и основание должны иметь близкие коэффициенты температурного расширения для обеспечения прочного сцепления и исключения появления деформационных трещин.

3. Герметизирующие материалы

Гидроизоляционными свойствами должны обладать и герметизирующие материалы, применяемые для уплотнения швов различного назначения, заполнения стыков в крупнопанельном домостроении. Основное назначение этих материалов – обеспечение монолитности, восприятие и локализация возникающих в процессе эксплуатации деформаций. Герметизирующие материалы должны быть эластичными, с хорошей адгезией к контактирующим материалам конструкции, водо- и газонепроницаемыми, атмосферо- и коррозионностойкими, не выделять токсичных продуктов при эксплуатации. По форме они могут быть рулонными, шнуровыми и мастичными. Наибольшее предпочтение в последние годы отдается *вязкотекучим мастичным смесям*, которые по составу подразделяются на акриловые, силиконовые и полиуретановые; по степени отверждения – на нетвердеющие, сохраняющие пластичность в процессе эксплуатации, и отверждающиеся, образующие резиноподобный высокоэластичный материал.

Акриловые композиции используют для наружной и внутренней заделки швов и трещин в бетонных плитах и потолках. Они характеризуются высокой долговечностью, эластичностью и виброустойчивостью. Эти материалы относят к экологически чистым, так как в их состав не входят растворители. Они обладают высокой прочностью сцепления с поверхностью бетона, кирпича, гипсокартонных плит, штукатурки, алюминия, древесины и поливинилхлорида. Отверждение состава начинается через 15 мин (полное – через 24 ч).

Силиконовые композиции применяют для гидроизоляции и герметизации швов при изготовлении оконных стеклопакетов, сопряжении металлических конструкций, возведении бассейнов, санитарно-технических помещений. Силиконовый каучук, основной компонент этих смесей, обладает хорошей адгезией к стеклу, дереву, металлам, керамике, термо- и атмосферостоек. Отверждение состава начинается через 30 мин (полное – через сутки). Акриловые и силиконовые герметики огнестойки.

Полиуретановые композиции отверждаются при реакции с влагой воздуха. Они представляют собой воздушнонаполненную и уплотняющуюся массу на полиуретановой основе, долго сохраняют эластичность, выдерживают сильную вибрацию, землетрясение, обладают стойкостью против коррозии. Эти материалы применяют для склеивания и герметизации металла, древесины, камня, пластмассы, керамики, кирпича, бетона.

К *рулонным материалам* последнего поколения относят уплотнительные ленточные герметики, состоящие из эластопластичного материала, дублированного металлической лентой («Лип-лен»), нетканым

синтетическим материалом («Герлен-Д») или безосновные, защищенные антиадгезионной бумагой («Герлен-Т»). Ленты могут быть самоклеящимися или для их фиксации необходимо использовать специальные мастики и клеи. Основное назначение – герметизация стыков наружных стеновых панелей, жестяных и шиферных кровель.

ЛЕКЦИЯ 13. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия

1. Теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционными называют материалы и изделия, препятствующие перемещению тепловых потоков через строительные ограждающие конструкции (стены, крыша, полы), технологическое оборудование, трубопроводы, тепловых и холодильных установок. Для них характерна высокая пористость, низкие средняя плотность и теплопроводность. Чем выше содержание воздуха в теплоизоляционном материале, тем он эффективнее. Применение этих материалов позволяет сократить расход топлива на отопление здания, снизить массу ограждающих конструкций, обеспечить комфортные условия проживания и работы.

Основными *показателями качества* теплоизоляционных материалов являются:

- интервал температур применения ΔT , °С;
- средняя плотность ρ , кг/м³;
- отклонение от средней плотности $\Delta\rho$, кг/м³;
- теплопроводность λ , Вт/(м • К);
- группа горючести;
- предельно допустимая концентрация вредных веществ и пыли, выделяемых изделиями при их хранении и эксплуатации – ПДК, мг/м³;
- удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг.

Теплоизоляционные материалы по виду исходного сырья *классифицируют* на органические и неорганические. В зависимости от структуры, формы и внешнего вида *неорганические* материалы подразделяют на штучные волокнистые и ячеистые изделия, рулонные, рыхлые волокнистые и сыпучие зернистые материалы; *органические* – на волокнистые изделия, ячеистые и рыхлые сыпучие материалы.

В России выпуск теплоизоляционных материалов распределяется следующим образом: минераловатные шлаковые – 65 % , стекловатные – 9.3 % , пенопласты – 6.6 % , ячеистые бетоны – 6.6 % , базальтовые, перлитовые и вермикулитовые изделия – 12.5 %. Большой объем производства шлаковых минераловатных изделий, имеющих такие недостатки, как относительно высокий коэффициент теплопроводности, токсичность, способность впитывать воду, сжимаемость (слеживаемость), увеличивающуюся со временем, связан с их низкой стоимостью. За рубежом преобладают материалы на основе базальтового и стеклянного волокон, трудногорючие

пенопласты, влагостойкие пеностирольные плиты, ячеистый бетон плотностью до 400 кг/м³.

Наряду со штучными, рулонными, рыхлыми сыпучими материалами в строительстве применяют *монолитную теплоизоляцию*. Для ее изготовления используют специальные напыляемые пенополиуретановые и полистиролбетонные смеси, гипсовые штукатурки, в которые в качестве мелкого заполнителя (наполнителя) входят неорганические или органические волокнистые материалы (минераловатные, асбест, отходы растительного сырья, синтетические волокна).

Эффекта теплозащиты можно достигнуть не только за счет создания высокопористой волокнистой или замкнутой ячеистой структуры, но и путем отражения инфракрасного излучения (до 90 %). Именно на этом основано применение лакокрасочного долговечного термоизоляционного покрытия «Термо-Шилд», представляющего собой водную дисперсию акриловых и латексных смол, в которой содержится до 2 млрд/л керамических вакуумированных шариков диаметром 8 мкм. При толщине слоя до 1 мм покрытие обладает паропроницаемостью, водонепроницаемостью, декоративностью, что позволяет применять его как для теплозащиты крыш, фасадов, так и внутри помещения.

2. Акустические материалы

Акустические материалы являются родственными по отношению к теплоизоляционным. И тем и другим материалам необходима высокая пористость. Однако в связи с тем, что природа воздействия теплового и звукового потока различна, характер оптимальной структуры у них различается. Так, наиболее эффективными теплоизоляционными материалами являются те, которые обладают замкнутой мелкопористой структурой, исключающей конвекцию воздуха. Акустические, в частности звукопоглощающие, материалы должны иметь открытую пористую структуру, способную поглощать звуковую энергию. Для усиления этого эффекта поверхность изделий дополнительно перфорируют или же придают ей рельефный характер.

В зависимости от источника звуковых волн материалы подразделяют на звукопоглощающие, препятствующие отражению и наложению шумового звука, и звукоизоляционные, исключающие прохождение и распространение ударного звука по строительным конструкциям.

Таким образом, *основными показателями*, характеризующими эффективность материалов, являются: для звукопоглощающих – открытая пористость, для звукоизоляционных – низкий динамический модуль упругости.

Звукопоглощающие материалы должны обладать большой пористостью и декоративностью, малой гигроскопичностью, огне- и биостойкостью.

Предельно допустимый уровень шума (ПДУ) для производственных помещений составляет 80...85 дБ, для административных – до 51 дБ. За единицу звукопоглощения условно принимают звукопоглощение 1 м² открытого окна. Для эффективных материалов коэффициент звукопоглощения, т.е. отношение поглощенной энергии звука к энергии падающего звука, не должен быть меньше 0.4 при частоте 1000 Гц. С этой целью используют материалы пористой, волокнистой, ячеистой и смешанной структуры. К ним относятся гипсовые плиты с рельефным рисунком, гипсокартонные и асбестоцементные многослойные перфорированные плиты, минераловатные на крахмальном связующем («Акминит», «Акмигран») с шероховатой декоративной поверхностью и перфорированные.

Акустические мягкие, полужесткие, жесткие плиты (стекловатные, минераловатные или с использованием супертонкого базальтового волокна на полимерном связующем) выпускают с облицовкой листовыми перфорированными материалами: гипсовыми, асбестоцементными, слоистым пластиком, алюминием, сталью. Площадь перфорации составляет 15...20 %. Для повышения гигиеничности и улучшения сцепления звукопоглощающего слоя с лицевым экраном между ними прокладывают слой из редкой ткани. Акустические панели на основе минеральной или стеклянной ваты покрывают специальной полиэтиленовой пленкой или стеклотканью.

Древесноволокнистые акустические двухслойные плиты выполняют из мягкой и жесткой ДВП с перфорированной лицевой поверхностью. Для повышения огнестойкости их покрывают огнезащитными красками.

К звукопоглощающим изделиям полной заводской готовности также относятся:

- плиты звукопоглощающие ячеистобетонные плотностью до 350 кг/м³ с пористой структурой и неглубокой перфорацией цветного лицевого слоя;
- блоки керамзитобетонные мелкозернистые звукопоглощающие;
- плиты перлитовые звукопоглощающие на жидком стекле или синтетическом связующем плотностью 250...350 кг/м³;
- плиты поливинилхлоридные полужесткие со средне- и мелкопористой структурой плотностью 100...120 кг/м³.

Наибольший эффект достигается при полном покрытии потолка звукопоглощающими материалами. Если такой возможности нет, то их располагают ближе к стенам, где энергетическая плотность звука наибольшая.

Кроме штучных материалов, для обеспечения звукопоглощения используют монолитные покрытия стен и потолков, выполняемые из акустических растворов, и бетон на пористых заполнителях и декоративных цементах. Как правило, эти материалы представляют собой сухие смеси, затворяемые водой непосредственно на строительной площадке.

Звукоизоляционные материалы предотвращают распространение и проникновение ударного звука. Они представляют собой пористые прокладочные материалы с небольшим модулем упругости, обуславливающим малую скорость распространения звука. Так, скорость распространения звуковых волн в стали – 5050 м/с, железобетоне – 4100, древесине – 1500, пробке – 50, поризованной резине – 30 м/с. Для устранения передачи ударного звука применяют конструкцию «плавающего» пола. С этой целью упругие прокладки укладывают между несущей плитой перекрытия и верхним покрытием пола, а также по периметру помещения для отделения пола от стен.

В качестве звукоизоляционных используют как традиционные материалы (мягкие древесноволокнистые плиты, асбестовый картон, минераловатные и стекловатные полосы толщиной 12...24 мм), так и современные (рулонные из прессованной пробки, листовые и рулонные пенополиэтиленовые, пенополистирольные, пенополиуретановые прокладки на бумажной основе, полиэстерные и пенополиуретановые маты, рулонные материалы и прокладки из синтепона, поризованной синтетической резины, а также вспученный вермикулит в полиэтиленовых мешках).

3. Виброизолирующие и вибропоглощающие материалы

Виброизолирующие и вибропоглощающие материалы и изделия предназначены для восприятия и устранения передачи вибрации от машин и механизмов на строительные конструкции. Для виброизоляции применяют такие упругие элементы, как прокладки, маты, втулки. По структуре их подразделяют на пористо-волокнистые – на основе минерального, стеклянного, асбестового волокна, и пористо-губчатые – из поропластов, природных и искусственных каучуков. Вибропоглощающие материалы (свинец, магний, стеклопластики) позволяют уменьшить резонансные колебания конструкций за счет их нанесения в виде покрытия на вибрирующие поверхности оборудования.

ЛЕКЦИЯ 14. Лакокрасочные материалы

1. Общие сведения

Лакокрасочные материалы, представляющие собой вязкотекучие композиции, применяемые для защиты поверхности изделий и конструкций, а также придания им декоративности. В зависимости от назначения составы подразделяют на шпатлевки, грунтовки, используемые для подготовки поверхности, и непосредственно красочные: лаки, эмали, краски сухие, густотертые и готовые к употреблению.

Лакокрасочное покрытие всегда многослойно. Первый слой по отношению к поверхности – *шпатлевочный*. Он предназначен для заделки трещин, выравнивания стен, потолков, полов, столярных изделий. От строительного раствора этот состав отличает меньший размер минеральных частиц (дисперсность) наполнителя (до 200 мкм). Это вязкопластичная масса, состоящая из вяжущего, тонкомолотого наполнителя и добавок: пластифицирующих, гидрофобизирующих и др. В качестве вяжущего можно использовать гипс для работы в помещении, портландцемент и органоминеральные с полимерными добавками, применяемые в широком диапазоне влажностных условий. В зависимости от степени дисперсности наполнителя шпатлевки подразделяют на грубодисперсные с размером частиц до 200 мкм, среднелдисперсные – до 80 мкм, тонкодисперсные – до 20 мкм.

На строительную площадку составы поступают в виде сухих смесей, требующих введения воды для придания пластичности. В готовом для употребления виде сухие шпатлевки на цементном, клеевом и гипсовом вяжущих применяют для выравнивания стен и потолков. Технологические свойства шпатлевки оценивают по составу, тонкости помола наполнителя, вязкости смеси, жизнестойкости (сохранению пластичности), расходу на 1 м², скорости отверждения. Эксплуатационные свойства контролируют по силе сцепления шпатлевочного состава с поверхностью, усадочным деформациям при твердении, водопоглощению и стойкости по отношению к воде, агрессивным растворам, атмосферным воздействиям и температуре.

Грунтовки используют для укрепления основания за счет их высокой проникающей способности, снижения расхода красочного состава, повышения адгезии между основанием и верхним красочным покрытием, изоляции поверхности материала от агрессивных внешних воздействий.

В качестве основного пленкообразующего (связующего) компонента, определяющего основные эксплуатационные свойства покрытия, в *красочных составах* используют натуральные и искусственные масла

(масляные – МА); неорганические вяжущие: жидкое стекло (силикатные), цемент (цементные), известь (известковые); полимерные смолы: эпоксидные (ЭП), акриловые (АК), пентафталевые (ПФ), перхлорвиниловые (ХВ), кремнийорганические (КО) и др.

Качество лакокрасочных материалов оценивают по вязкости, укрывистости (минимальному расходу в граммах на единицу площади для получения непрозрачного покрытия), времени высыхания и прочности сцепления покрытия с защищаемой поверхностью (адгезии).

По условиям эксплуатации и назначению красочные составы подразделяют на 9 групп:

- 1) атмосферостойкие;
- 2) ограниченно атмосферостойкие;
- 3) консервационные;
- 4) водостойкие;
- 5) специальные (светящиеся дорожные, противообрастающие, терморреагирующие и др.);
- 6) маслобензостойкие;
- 7) химическистойкие;
- 8) термостойкие;
- 9) электроизоляционные.

В зависимости от степени экологической опасности на таре краски ставят специальный символ – букву и рисунок: ядовитая – Т, пожароопасная – Щ, легковоспламеняющаяся – F, взрывоопасная – E, едкая – С, вызывающая раздражение – ХI, вредная для здоровья – Хп. Наименее опасны для здоровья человека и окружающей среды составы со знаком голубого человечка – «голубой ангел».

Наибольшее распространение в строительстве нашли следующие краски, которые можно объединить по назначению в три группы:

- для внутренних работ;
- специального назначения – гидрофобизирующие, преобразователи ржавчины, фунгицидные (защищающие древесину от гниения);
- фасадные.

Согласно ГОСТ 9825 каждому материалу многослойного покрытия соответствует определенное условное обозначение (маркировка), которое состоит из 5 групп цифр и букв. Например: эмаль ЭП-225, зеленая: 1)

наименование материала (эмаль); 2) название пленкообразующего вещества (ЭП – эпоксидное); 3) условия эксплуатации покрытия – обозначаются цифрой от 1 до 9 (2 – ограничено атмосферостойкое), для грунтовок – 0, шпатлевок – 00; 4) последние одна или две цифры (25) обозначают присвоенный порядковый номер; 5) цвет материала (зеленая).

2. Применение

Для внутренних работ широко используют краски на водной основе как наиболее безопасные. Нельзя использовать для внутренних работ фасадные краски, так как они могут содержать токсичные растворители или пигменты на основе опасных для здоровья человека солей свинца, хрома, цинка.

По декоративному эффекту *покрытия для стен*, занимающие промежуточное положение между красочными и штукатурными составами, подразделяют на следующие группы:

- однотонные с различной структурой поверхности (структурные штукатурки);
- многоцветные гладкие (мультиколор);
- многофункциональные, сочетающие в себе многоцветность и фактуру (жидкие обои);
- цветные из каменной крошки;
- декоративные штукатурки.

Однотонную фактурную или структурную поверхность можно получить за счет свойств самого материала или технологии его нанесения. В первом случае используют белую или цветную пластичную смесь со светлым мелким наполнителем фракции 1...5 мм, которую наносят на стену вручную или методом распыления. За счет присутствия в составе относительно крупного наполнителя, которым могут быть мрамор, гранит и другие декоративные горные породы, получается фактурная поверхность. Во втором случае однородную по составу пластичную массу наносят на поверхность ровным слоем и затем специальными приспособлениями придают ему фактурную поверхность. Для усиления эффекта ее обрабатывают прозрачным лаком.

Мультиколор представляет собой цветное или белое покрытие, по которому разбросаны разноцветные или однотонные капельки (одинаковые или разного размера).

Жидкие обои – это двух- или трехкомпонентный материал. Первым слоем наносится клеевой грунт, затем на влажную поверхность –

синтетические волокна или хлопья и после отверждения - закрепляющий слой бесцветного лака. На строительную площадку материалы поступают расфасованными в сухом виде. В их состав входят водорастворимый клей и различные материалы, придающие декоративность.

Для получения *покрытия, имитирующего природный камень*, применяют водорастворимый полимерный клей и каменную крошку из горных пород. Смесь из этих материалов, затворенную водой, наносят на стену вручную или методом распыления.

Рекомендуемая литература:

1. *Айрапетов, Д. П.* Архитектурное материаловедение: учебник для вузов / Д. П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1983. – 268 с.
2. *Байер, В. Е.* Архитектурное материаловедение: учебник для вузов. / В. Е. Байер. – М.: «Архитектура-С», 2006. – 264 с.
3. *Байер, В. Е.* Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров / В. Е. Байер. – М.: Астрель, АСТ, 2004. – 250 с.
4. *Байер, В. Е.* Лабораторные работы по курсу архитектурного материаловедения / В. Е. Байер. – М.: Высшая школа, 1987. – 128 с.
5. *Киреева, Ю. И.* Строительные материалы: учеб. пособие / Ю. И. Киреева – М.: Новое знание, 2005. – 400 с.
6. *Киреева, Ю.И.* Строительное материаловедение для заочного обучения: учеб. Пособие / Ю. И. Киреева, О. В. Лазаренко. – Минск: Новое знание, 2008. – 365 с.
7. *Строительные материалы: учебник / под общей ред. В. Г. Микульского.* – М.: АСВ, 2000. – 701 с.
8. *Попов, Л. Н.* Лабораторные работы по дисциплине «Строительные материалы и изделия»: учеб. пособие / Л. Н Попов, О. В. Каддо. – М.: ИНФА-М, 2003. – 219 с.
9. *Попов, Л. Н.* Строительные материалы и изделия: учебник / Л. Н. Попов, О. В. Каддо. – М.: Высш. шк., 2001. – 367 с.
10. *Отделочные работы и материалы / сост. А. М. Горбов.* – М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2006. – 191 с.
11. *Нормативно-техническая литература – ГОСТы, СНиПы.*
12. *Петров, Е.Н.* Материаловедение. Термодеформационные характеристики композиционных материалов: учеб. пособие / Е. Н. Петров. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013 – 150 с.
13. *Васильева, В. В.* Материаловедение. Металлы и сплавы: учеб. Пособие / В. В. Васильева, Е. Н. Петров. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2013 – 117 с.
14. *Цобкалло, Е. С.* Механика полимерных композиционных материалов. Ч. 1. Типы и свойства наполнителей: учеб. пособие / Е. С. Цобкалло, О. А. Москалюк. – СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2015. – 106 с.
15. *Цобкалло, Е.С.* Материаловедение. Электротехнические материалы. Неметаллические материалы. Конспект лекций. / Е. С. Цобкалло, В. В.

Васильева, О. А. Москалюк, В. Е. Юдин. – СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД», 2013. – 128 с.

16. *Цобкалло, Е. С.* Материаловедение. Ч.1: учебное пособие к выполнению лабораторных и практических работ / Е. С. Цобкалло, В. В. Васильева, О. А. Москалюк. – СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД», 2013. – 93 с.

17. *Москалюк, О. А.* Архитектурно-дизайнерское материаловедение Древесина. Макроструктура. Твердость: метод. указания к выполнению лабораторной работы / О. А. Москалюк. – СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД», 2014. – 20 с.

Учебное издание

**Петров Евгений Николаевич
Москалюк Ольга Андреевна**

**АРХИТЕКТУРНО–ДИЗАЙНЕРСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
СОВРЕМЕННЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА И
ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Конспект лекций

Учебное пособие

Издательский редактор _____

Оригинал-макет подготовлен авторами
Подписано в печать __. __. 2016 г. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. __. Тираж __ экз. Заказ __/ __

Электронный адрес: <http://publish.sutd.ru>

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26