

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

**И.Ю. Шитова, Е.Н. Самошина,  
С.Н. Кислицына, С.А. Болтышев**

## **СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2015

УДК 691.175:678(075.8)

ББК 38.3:30.36я73

Ш64

Рецензенты: доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой УКиТСП В.И. Логанина  
(ПГУАС);  
кандидат технических наук, доцент ка-  
федры «Высшая и прикладная матема-  
тика» О.В. Болотникова (ПГУ)

### **Шитова И.Ю.**

Ш64      Современные композиционные строительные материалы: учеб.  
пособие / И.Ю. Шитова, Е.Н. Самошина, С.Н. Кислицына, С.А. Бол-  
тышев. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 136 с.

Изложена история открытия и создания композиционных материалов; рассмотрена их структура; приведены широко распространенные в современном строительстве композиционные материалы, описаны их основные характеристики, свойства, методы получения и области применения.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению 08.03.01 «Строительство», при изучении дисциплины «Современные композиционные строительные материалы».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2015

© Шитова И.Ю., Самошина Е.Н.,  
Кислицына С.Н., Болтышев С.А., 2015

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей работе представлен материал по современным композиционным материалам, применяемым в строительстве и других областях промышленности. Достаточно подробно раскрыта история создания композиционных материалов, рассмотрена их структура и классификация; приведены широко используемые в строительстве традиционные материалы, такие, как бетон, железобетон, асбестоцементные материалы, древесноволокнистые, древесностружечные плиты и современные композиты, к которым можно отнести полимерные бетоны, стекло- и углепластики, MDF- и OSB-, SIP-панели, ЛВЛ-брус и др. Описаны их свойства, методы и способы получения, основные области применения.

21 век можно отнести к веку композиционных материалов. Сегодня без них практически невозможно представить строительство большинства объектов промышленного, гражданского и жилого комплексов. Композиты вошли и до сих пор входят в нашу жизнь и практически полностью заменяют традиционные материалы в строительстве, энергетике, транспорте, электронике и т.д.

Учебной программой курса «Современные композиционные строительные материалы» для студентов направления 08.03.01 «Строительство» предусмотрены лекционные и практические занятия.

Целью данного учебного пособия является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами на лекционных занятиях.

На данный момент в учебной литературе нет обобщённого материала по композиционным материалам, которые используются в строительстве и других областях промышленности; поэтому, несомненно, данная книга будет являться настоящим помощником при изучении дисциплины «Современные композиционные строительные материалы», а также дисциплин «Строительные материалы», «Современные строительные материалы», «Современные композиционные материалы в деревянном домостроении».

После проработки материала настоящего учебного пособия:

✓ **обучающийся должен знать:** историю открытия и создания композиционных материалов; их структуру и классификацию; основные классы композиционных материалов, применяемых в строительстве (бетоны, железобетоны, полимербетоны, стекло-, угле- и боропластики, древесноцементные композиции типа арболит, фибролит, цементно-стружечные плиты, ксилолит и древесно-полимерные композиции типа древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фанера и древесно-слоистые пластики, столярные плиты, MDF-панели, ориентированно-стружечные плиты OSB, SIP-панели, LVL-брус, композиционные материалы с металлической

матрицей); их свойства, технологию изготовления и основные области применения;

✓ **обучающийся должен уметь** использовать полученные знания по истории открытия и создания, о структуре, классификации, свойствах и областях применения композиционных материалов;

✓ **обучающийся должен владеть** умением работать с нормативными документами, ГОСТами, справочными материалами и литературой; делать заключения о соответствии материалов требованиям стандарта.

Для лучшего усвоения материала студент должен самостоятельно ответить на контрольные вопросы, приведённые в конце каждого раздела.

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс в строительной отрасли предполагает применение новых и эффективных строительных материалов с различным комплексом свойств, различного назначения.

В течение длительного времени основными строительными материалами были древесина, керамика, сталь, бетон и железобетон. С развитием научно-технического прогресса и строительной индустрии в строительную практику во второй половине XX века стали интенсивно внедряться новые материалы – композиционные строительные материалы, без которых сегодня неосуществимо строительство большинства объектов промышленного, гражданского и жилого комплексов. Композиты активно вошли в нашу жизнь и заменили традиционные материалы в строительстве, энергетике, транспорте, электронике и других сферах деятельности.

Композиционные материалы – это материалы из двух, трёх и более разнородных фаз (веществ) в одном объёме. Они однородны в макромасштабе, но гетерогенны в микромасштабе. Вследствие рационального сочетания нескольких исходных компонентов образуются новые материалы с заданными свойствами, не присущими исходным компонентам, но сохранившие в то же время индивидуальные особенности каждого из них.

Цель создания композиционных строительных материалов – улучшение тех или иных свойств по сравнению с такими свойствами исходных компонентов, как механические, теплофизические, а также химическая стойкость, долговечность и т.п., или снижение себестоимости материалов, в том числе и за счёт применения различных отходов.

К композиционным строительным материалам можно отнести: растворы, бетоны, керамику, мастики, клеи, замазки, лакокрасочные материалы, стеклопластики и другие искусственные многокомпонентные материалы.

Идея создания композиционных материалов не нова. Так, например, издавна в строительстве применяют материал – саман, состоящий из глины и соломы. В этом материале глина служит в качестве связующего вещества (матрицы), а солома – в качестве упрочняющей арматуры.

В строительстве давно уже используют такой композиционный материал, как асбестоцемент, в котором в качестве матрицы выступает цемент, а в качестве арматуры – волокнистый природный материал асбест.

С развитием химической промышленности появилась возможность создания новых композиционных строительных материалов – полимербетонов. В таких материалах в качестве связующего применяют различные синтетические смолы, позволяющие значительно улучшить ряд основных свойств по сравнению с традиционными бетонами на минеральных вяжу-

щих. При этом следует отметить, что вследствие высокой себестоимости таких материалов область их применения определяется исходя из технико-экономического обоснования.

В настоящее время к числу композиционных материалов принято относить сравнительно небольшую группу материалов, в частности бетоны, полимеры, органопластики, древесно-композиционные материалы, стеклопластики, углепластики, боропластики, текстолиты, композиционные материалы с металлической матрицей и композиционные материалы на основе керамики. Отличие большинства композиционных материалов от традиционных состоит в том, что процесс их получения может быть совмещен с процессом изготовления изделия.

# 1. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. История открытия и создания композиционных материалов

Материалы, которые использовал человек в своей деятельности, всегда играли важную, а часто и определяющую роль в прогрессе цивилизации. Они даже дали названия целым этапам развития человечества: каменный век, бронзовый век, железный век... Конечно, сейчас круг материалов, созданных и используемых в быту и технике, особенно военной, чрезвычайно широк. Однако с небольшой долей пристрастности современную эпоху можно назвать веком композиционных материалов и полимеров.

История создания искусственных композиционных материалов восходит к истокам цивилизации, когда человек начал сознательно конструировать новые материалы. Действительно, история использования человеком композиционных материалов насчитывает много веков, а представление о композиционных материалах заимствовано человеком у природы. Уже на ранних стадиях развития цивилизации человек использовал для строительства кирпич из глины, в которую замешивалась солома, придававшая повышенную прочность. Использование природных битумов позволило повысить водостойкость природных материалов и изготавливать суда из камыша, пропитанного битумом. Первые упоминания об армированных строительных материалах можно найти в Библии. В Египте и Месопотамии строили речные суда из тростника, пропитанного битумом (прототип современных стеклопластиковых лодок и тральщиков). Прослеживается определённая аналогия между мумификацией умерших с последующей обмоткой тела в виде кокона из полос ткани и современными технологиями обмотки корпусов ракет, между изготовлением боевых луков у кочевников с использованием нескольких слоёв из дерева, рога, шёлка, скрепляемых с помощью клея, и современными металлодеревотканевыми слоистыми конструкциями, соединяемыми отверждающимися смолами. Изготовление мумий в Египте можно считать первым примером использования метода ленточной намотки (мумии обматывались лентой из ткани, пропитанной смолой). Всё это происходило за тысячелетия до новой эры. Конечно же, здесь следует упомянуть и о природных композиционных материалах, таких, как древесина, кожа, панцири, кости и пр.

Одним из наиболее ярких примеров заимствования структуры у природы является материал фиберглас из стеклянных, скреплённых полимерным связующим волокон, структура которого повторяет структуру бамбука, где непрерывные волокна из целлюлозы находятся в более пластичной матрице с низким модулем (рис. 1).

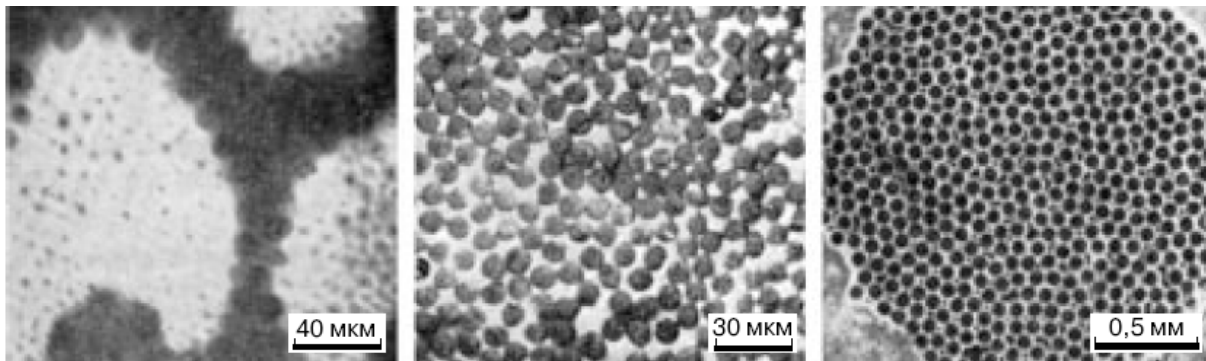


Рис. 1. Микроструктура различных композиционных материалов (сечение поперёк армирующих волокон)

Если сравнить прочность двух стержней одинакового сечения из древесины и бамбука, то можно убедиться, что бамбук приблизительно в два раза более прочен и гибок. В течение длительного времени эти его особенности использовали при изготовлении шестов для прыжков, для изготовления корабельных мачт и т.д. Необыкновенным сочетанием прочности, жёсткости и лёгкости характеризуются кости животных и человека. Особенно высоки характеристики трубчатых костей птиц, имеющих минимальный вес. Изготовленные из любого из известных материалов подобные изделия имели бы несравненно большую массу. Наконец, изверженная вулканическая лава, обладающая химическим составом достаточно хорошо известных горных пород, характеризуется очень низкой плотностью (даже менее единицы) в сочетании с достаточной прочностью и хорошими теплоизоляционными свойствами, предопределяющими возможность применения, например, в строительстве. Такие материалы, сочетающие в себе свойства, присущие порознь нескольким материалам, называются обычно композиционными материалами (КМ).

Композитами, по сути, являлись и обмазанные глиной ветки и даже дамасская сталь (поскольку в ней наблюдается граница фаз между различными типами стали). А в строительстве уже много веков используется бетон (композиция вяжущего раствора и камня) и его логическое продолжение – железобетон.

Таким образом, создание композитов не является достижением исключительно современной техники. Но только в XX веке композиты получили широкое распространение. Сейчас используются композиты, содержащие в качестве армирующих элементов сверхпрочные бездефектные волокна.

Словом, история полимерных композитов чрезвычайно стара. Однако настоящий бум в современном материаловедении возник в конце первой половины XX века, когда появились хорошие прочные и лёгкие стеклопластики и из них начали делать планеры, а затем и многое другое.

Как пишет в одной из своих работ профессор МТИ Альберт Дитц, «наука и техника, подобно литературе и искусству, имеют свои модные фразы и штампы. Одним из самых модных в наше время является выраже-



ние «композиционные материалы», содержащее в новой форме очень старую и простую мысль о том, что совместная работа разнородных материалов даёт эффект, равносильный созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих».

Знакомство со свойствами многих материалов в окружающем нас мире позволяет говорить об их необычности. Если металлы со свойственной им высокой прочностью и пластичностью, или бетон с его высокой жёсткостью и хрупкостью, или пластики с их низкой прочностью и податливостью являются для нас привычными материалами, то имеется значительная группа материалов, поражающая необычным сочетанием свойств разнородных материалов. Так, всем хорошо известный железобетон позволяет сооружать конструкции, выдерживающие большие изгибающие нагрузки (пролёты мостов, балки, оболочки), которые категорически противопоказаны исходному бетону, – он растрескивается при достаточно небольших изгибающих нагрузках.

Приведённые примеры позволяют выделить то общее, что объединяет композиционные материалы независимо от их происхождения, а именно все эти материалы являются результатом объёмного сочетания разнородных компонентов, один из которых пластичен (связующее, матрица), а другой обладает высокой прочностью и жёсткостью (наполнитель, арматура), и при этом композиции имеют свойства, которых не имеют отдельные составляющие.

Ясно, что в качестве как первого, так и второго компонента могут выступать самые разнообразные по природе и происхождению материалы. Известны композиты на базе металлов, керамики, стёкол, углерода, пластиков и других материалов. В широком смысле слова практически всякий современный материал представляет собой композицию, поскольку все материалы чрезвычайно редко применяются в чистейшем виде. Это создаёт определённые сложности с точки зрения использования термина – он распространяется зачастую механически на все сложные системы, содержащие несколько компонентов. Следует подчеркнуть, что наука о композиционных материалах (раздел материаловедения) зародилась недавно, на рубеже 1960-х годов, и разрабатывалась главным образом для решения проблемы улучшения механических характеристик и жаростойкости. В последние годы в связи с расширением комплекса свойств, реализуемых с помощью полимерных композиционных материалов, значительно активизировались исследования по созданию антифрикционных композиционных материалов медицинского и биологического назначения, газонаполненных композиционных материалов, тепло- и электропроводных КМ, негорючих КМ и др.

## 1.2. Общая характеристика и отличительные особенности композиционных материалов

Современное определение композиционных материалов предполагает выполнение следующих условий:

- композиция должна представлять собой сочетание хотя бы двух разнородных материалов с чёткой границей раздела между фазами;
- компоненты композиции образуют её своим объёмным сочетанием;
- композиция должна обладать свойствами, которых нет ни у одного из её компонентов в отдельности.

Композиционными (от лат. *compositio* – составление) называют материалы, образованные из двух или более разнородных фаз и обладающие характеристиками, не присущими исходным компонентам. Данное определение хорошо отражает идею композита, но является слишком широким, поскольку охватывает подавляющее большинство материалов и сплавов (например, стали, чугун, бетон и др.). Сплавы не считаются композитами, поскольку это материалы на основе смеси индивидуальных веществ.

Более правильным будет другое определение:

*Композиты – объёмное монолитное искусственное сочетание разнородных по форме и свойствам двух и более материалов (компонентов), с чёткой границей раздела, использующее преимущества каждого из компонентов и проявляющее новые свойства, обусловленные граничными процессами.*

По определению: *композиционный материал (композит) представляет собой неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.*

То есть под композиционным материалом понимается только такой материал, в котором имеется граница раздела между составляющими его материалами.

В большой советской энциклопедии есть следующее определение КМ: *композиционные материалы (композиты) (от лат. *compositio* – составление) – многокомпонентные материалы, состоящие из полимерной, металлической, углеродной, керамической. или другой основы (матрицы), армированной наполнителями из волокон, нитевидных кристаллов, тонкодисперсных частиц и др.*

Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств.

К композиционным относятся материалы, обладающие следующей совокупностью признаков:

- не встречаются в природе, поскольку созданы человеком;
- состоят из двух или более компонентов, различающихся по своему химическому составу и разделённых выраженной границей;
- имеют новые свойства, отличающиеся от свойств составляющих их компонентов;
- неоднородны в микромасштабе и однородны в макромасштабе;
- состав, форма и распределение компонентов «запроектированы» заранее;
- свойства определяются каждым из компонентов, которые в связи с этим должны быть в материале в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания).

Компонент, непрерывный во всем объёме КМ, называется матрицей, прерывистый, разъединённый в объёме композиции, – арматурой или армирующим элементом. Понятие «армирующий» означает «введённый в материал с целью изменения его свойств» (не обязательно «упрочняющий»).

Обычно композиты представляют собой основу (матрицу) из одного материала, армированную наполнителями из волокон, слоёв, диспергированных частиц другого материала. При этом сочетаются прочностные свойства обоих компонентов. Путём подбора состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материал с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических характеристик (рис. 2).



Рис. 2. Основные компоненты композиционных материалов

*Матрица* – компонент, обладающий непрерывностью по всему объёму КМ.

*Включение* – это разделённый в объёме компонент, который может быть усиливающим или армирующим.

*Межфазная граница* – это граница раздела между матрицей и включением, имеющая свойства, отличные от свойств матрицы и включения.

Большое значение имеет расположение элементов композитного материала как в направлениях действующих нагрузок, так и по отношению друг к другу, т.е. упорядоченность. Высокопрочные композиты, как правило, имеют высокоупорядоченную структуру. На свойства композиционного материала в значительной степени влияют и условия (методы) получения (температура, давление и другие воздействия).

В настоящее время в область композиционных материалов (композитов) принято включать разнообразные искусственные материалы, разрабатываемые и внедряемые в различных отраслях техники и промышленности, отвечающие общим принципам создания композитных материалов.

Почему интерес к композиционным материалам проявляется именно сейчас? Потому что традиционные материалы уже не всегда или не вполне отвечают потребностям современной инженерной практики.

Матрицами в композиционных материалах являются металлы, полимеры, цементы и керамика.

В качестве наполнителей используются самые разнообразные искусственные и природные вещества в различных формах (крупноразмерные, листовые, волокнистые, дисперсные, мелкодисперсные, микродисперсные, наночастицы).

Известны также многокомпонентные композиционные материалы, в т.ч.:

– полиматричные, когда в одном композиционном материале сочетают несколько матриц;

– гибридные, включающие несколько разных наполнителей, каждый из которых играет свою роль.

Использование в одном материале нескольких матриц (полиматричные композиционные материалы) или наполнителей различной природы (гибридные композиционные материалы) значительно расширяет возможности регулирования свойств композиционных материалов. Наполнитель, как правило, определяет прочность, жёсткость и деформируемость композита, а матрица обеспечивает его монолитность, передачу напряжений и стойкость к различным внешним воздействиям.

Разрабатываются композитные материалы со специальными свойствами, например: радиопрозрачные материалы и радиопоглощающие материалы, материалы с особыми оптическими свойствами, материалы для тепловой защиты ракетно-космических аппаратов, материалы с малым коэффициентом линейного термического расширения и высоким удельным модулем упругости и др. Особое место занимают декоративные компози-

ционные материалы, которые создаются для решения архитектурных и дизайнерских задач и потребность в которых постоянно возрастает.

Композиционные материалы используются во всех областях науки, техники, промышленности, в т.ч. в жилищном, промышленном и специальном строительстве, общем и специальном машиностроении, металлургии, химической промышленности, энергетике, электронике, бытовой технике, производстве одежды и обуви, медицине, спорте, искусствах и т.д.

Итак, подытожим. Композитный материал – искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с четкой границей раздела между ними. Свойства композитного материала должны существенно отличаться от свойств его составляющих компонент. Состав КМ: матрица + наполнитель.

Например, полимер, усиленный, углеродными волокнами:

- 1) менее плотный, чем алюминий;
- 2) более прочный, чем сталь;
- 3) более жёсткий, чем титан;
- 4) усталостно-прочный;
- 5) износостойкий;
- 6) химостойкий;
- 7) устойчив против коррозии;
- 8) формоустойчив;
- 9) способен к демпфированию вибраций;
- 10) обладает малым электрическим сопротивлением;
- 11) может быть использован для защиты от электромагнитных помех;
- 12) обладает высокой теплопроводностью.

### 1.3. Некоторые распространённые композиты

**Бетоны** – самые распространённые композиционные материалы. В настоящее время производится большая номенклатура бетонов, различающихся по составам и свойствам. Современные бетоны производятся как на традиционных цементных матрицах, так и на полимерных (эпоксидных, серных, полиэфирных, фенолоформальдегидных, акриловых и т.д.). Современные высокоэффективные бетоны по прочности приближаются к металлам. Популярными становятся декоративные бетоны.

**Органопластики** – композиты, в которых наполнителями служат органические, синтетические, реже – природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д. В терморезистивных органопластике матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Органопластики обладают низкой плотностью, они легче стекло- и углепластиков, обладают относительно высокой прочностью при растяжении; высоким сопротивлением удару и

динамическим нагрузкам, но в то же время низкой прочностью при сжатии и изгибе. К наиболее распространённым органопластикам относятся древесные композиционные материалы. По объёмам производства органопластики превосходят стали, алюминий и пластмассы. В зарубежной литературе в последнее время становятся популярными новые термины в этой области – биополимеры, биопластики и соответственно биокompозиты.

**Древесные композиционные материалы.** Занимают второе место по распространённости среди композиционных материалов. В эту группу входят арболиты, ксилолиты, цементно-стружечные плиты, клееные деревянные конструкции, фанера и гнутоклееные детали, древесные пластики, древесностружечные и древесноволокнистые плиты и балки, древесные пресс-массы и пресс-порошки, термопластичные древесно-полимерные композиты.

**Стеклопластики** – полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами и формируемые из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как термореактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.). Стеклопластики обладают высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется стеклотекстолитом.

**Углепластики.** Наполнителем в этих полимерных композитах служат углеродные волокна, которые получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Матрицами в углепластиках могут быть как термореактивные, так и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиками являются их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень лёгкие и в то же время прочные материалы. На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композиционные материалы (углеуглепластики), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000 °С.

**Боропластики** – композиционные материалы, содержащие в качестве наполнителя борные волокна, внедрённые в термореактивную полимерную матрицу, при этом волокна могут быть как в виде мононитей, так и в виде жгутов, оплетённых вспомогательной стеклянной нитью, или лент, в которых борные нити переплетены с другими нитями. Применение боропластиков ограничивается высокой стоимостью производства борных волокон, поэтому они используются главным образом в авиационной и косми-

ческой технике в деталях, подвергающихся длительным нагрузкам в условиях агрессивной среды.

**Пресспорошки (пресс-массы).** Известно более 10000 марок наполненных полимеров. Наполнители используются как для снижения стоимости материала, так и для придания ему специальных свойств. Впервые наполненный полимер начал производить Л. Бакеланд (Leo H. Baekeland, США), открывший в начале 20 века способ синтеза фенолформальдегидной (бакелитовой) смолы. Сама по себе эта смола – вещество хрупкое, обладающее невысокой прочностью. Бакеланд обнаружил, что добавка волокон, в частности древесной муки к смоле до её затвердевания, увеличивает её прочность. Созданный им материал – бакелит – приобрёл большую популярность. Технология его приготовления проста: смесь частично отверждённого полимера и наполнителя – пресс-порошок – под давлением необратимо затвердевает в форме. Первое серийное изделие, произведенное по данной технологии в 1916, – это ручка переключателя скоростей автомобиля «Роллс-Ройс». Наполненные термореактивные полимеры широко используются в самых разных областях техники. Для наполнения термореактивных и термопластичных полимеров применяются разнообразные наполнители – древесная мука, каолин, мел, тальк, слюда, сажа, стекловолокно, базальтовое волокно и др.

**Текстолиты** – слоистые пластики, армированные тканями из различных волокон. Технология получения текстолитов была разработана в 1920-х гг. на основе фенолформальдегидной смолы. Полотна ткани пропитывают смолой, затем прессуют при повышенной температуре, получая текстолитовые пластины или фасонные изделия. Связующими в текстолитах является широкий круг термореактивных и термопластичных полимеров, а иногда и неорганические связующие на основе силикатов и фосфатов. В качестве наполнителя используются ткани из самых разнообразных волокон – хлопковых, синтетических, стеклянных, углеродных, асбестовых, базальтовых и т.д. Соответственно разнообразны свойства и применение текстолитов.

**Композиционные материалы с металлической матрицей.** При создании композитов на основе металлов в качестве матрицы используют алюминий, магний, никель, медь и т.д. Наполнителем служат высокопрочные волокна, тугоплавкие частицы различной дисперсности, нитевидные монокристаллы оксида алюминия, оксида бериллия, карбидов бора и кремния, нитридов алюминия и кремния и т.д. длиной 0,3...15 мм и диаметром 1...30 мкм.

Основными преимуществами композиционных материалов с металлической матрицей по сравнению с обычным (неусиленным) металлом являются повышенные прочность, жёсткость, сопротивление износу, сопротивление ползучести.

**Композиционные материалы на основе керамики.** Армирование керамических материалов волокнами, а также металлическими и керамическими дисперсными частицами позволяет получать высокопрочные композиты, однако, ассортимент волокон, пригодных для армирования керамики, ограничен свойствами исходного материала. Часто используют металлические волокна. Сопротивление растяжению растёт незначительно, но зато повышается сопротивление тепловым ударам – материал меньше растрескивается при нагревании, но возможны случаи, когда прочность материала падает. Это зависит от соотношения коэффициентов термического расширения матрицы и наполнителя.

Армирование керамики дисперсными металлическими частицами приводит к новым материалам (керметам) с повышенной стойкостью, устойчивостью относительно тепловых ударов, повышенной теплопроводностью. Из высокотемпературных керметов делают детали для газовых турбин, арматуру электропечей, детали для ракетной и реактивной техники. Твёрдые износостойкие керметы используют для изготовления режущих инструментов и деталей. Кроме того, керметы применяют в специальных областях техники – это тепловыделяющие элементы атомных реакторов на основе оксида урана, фрикционные материалы для тормозных устройств и т.д.

В настоящее время начинается интенсивное развитие нового класса композиционных материалов – нанокompозитов.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое композит?
2. Какие признаки свойственны композиционным материалам?
3. Что такое матрица?
4. Чем армирующий элемент отличается от матрицы?
5. Какие направления развития КМ существуют в настоящее время?
6. Перечислите современные композиционные материалы.



## 2. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 2.1. Классификация композиционных материалов по основным признакам

Классифицируют КМ по следующим основным признакам:

- материалу матрицы и армирующих элементов;
- геометрии компонентов;
- структуре и расположению компонентов;
- методу получения.

Иногда КМ разделяют по назначению, но так как одни и те же КМ могут иметь различное назначение, то этот принцип классификации используется редко. Полная характеристика КМ должна содержать все указанные признаки, на практике же обычно ограничиваются одним или двумя из них.

Общее название КМ, как правило, происходит от материала матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими КМ, с полимерной – ПКМ, с неорганической – неорганическими КМ. КМ, содержащий два и более различных по составу или природе матричных материала, называется полиматричным.

Характеристика КМ по материалу матрицы и армирующих элементов указывает на их природу. Название полимерных КМ состоит обычно из двух частей: в первой – указывается материал волокна, во второй – слово «пластик» или «волокнит». Например, ПКМ, армированные СВ, называются стеклопластиками или стекловолокнитами, металлическими – металлопластиками (металловолокнитами), органическими – органопластиками (органоволокнитами), борными – боропластиками (бороволокнитами), УВ – углепластиками (углеволокнитами), асбестовыми – асбопластиками (асбоволокнитами) и т.д.

Для металлических и неорганических КМ пока нет чётко установленной номенклатуры. Чаще других используется двойное обозначение: вначале пишут материал матрицы, затем – материал волокна. Например, обозначение медь – вольфрам (или Си – W) относится к КМ с медной матрицей и вольфрамовыми волокнами; окись алюминия – молибден (или  $Al_2O_3$  – Mo) – к КМ на основе  $Al_2O_3$  с арматурой из молибденовых проволок. Составные компоненты заключаются в скобки.

КМ, содержащие два или более различных по составу или природе типа армирующих элементов, называются полиармированными. Полиармированные КМ разделяются на простые, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию (например стеклоуглепластик – полимер, армированный СВ и УВ), и комбинированные, если армирующие элементы имеют различные и природу, и геометрию (например КМ, состоящий из алюминиевой матрицы, борных волокон и прослоек из титановой фольги).

## 2.2. Различные классификации композиционных строительных материалов

**По назначению** композиционные строительные материалы подразделяют на:

а) *конструкционные*, предназначенные для изготовления строительных конструкций: несущих, ограждающих, технологических емкостей и оборудования;

б) *теплоизоляционные* – для изоляции ограждающих конструкций, зданий, сооружений, технологического оборудования и приборов;

в) *гидроизоляционные* – для производства гидроизоляционных, пароизоляционных, кровельных и отделочных работ;

г) *химически стойкие* – для устройства химически стойкой облицовки или отделки существующих объектов и сооружений;

д) *электроизоляционные* – для диэлектрических конструкций и аппаратов;

е) *отделочные* – для улучшения архитектурной выразительности и для реставрации или ремонта строительных объектов;

ж) *специального назначения*: радиационно стойкие, огнестойкие, огнеупорные, тампонажные и др.

**По виду вяжущего** композиционные строительные материалы подразделяют на следующие группы:

а) *материалы на основе минеральных вяжущих веществ* (цементные, известковые, гипсовые, магнезиальные и др.);

б) *материалы на основе органических вяжущих* (битумные, дёгтевые);

в) *материалы на основе синтетических полимерных связующих* (термопластичных и термореактивных);

г) *материалы на основе комплексных вяжущих* (например полимерцементные).

**По способу твердения** в зависимости от особенности микроструктуры композиционные строительные материалы подразделяют на:

а) *твердеющие при понижении температуры* (водные растворы, асфальтовые, битумные, металлические, керамические, стекла, каменное литье, серы, термопластичные полимеры);

б) *твердеющие в результате удаления части компонентов жидкой фазы* – растворителей или разбавителей (лакокрасочные составы, эмульсии, холодные мастики и замазки);

в) *твердеющие в процессе физико-химического взаимодействия с газообразными средами* (воздухом, углекислым газом, кислородом) – материалы на основе воздушной извести и жидкого стекла;

г) *твердеющие в результате физико-химического взаимодействия с жидкими средами* (водой, растворами солей, щелочей, кислот) с образова-

нием новых продуктов реакций – материалы на основе минеральных вяжущих;

д) *твердеющие в результате полимеризации и поликонденсации* термопластичных или терморезистивных синтетических полимеров (замазки, шпаклёвки, клеи, связующие полимеррастворов и полимербетонов, стеклопластики, деревопластики и др.);

е) *твердеющие после обжиговых процессов* (керамика, ситаллы).

В зависимости от **строения макроструктуры** композиционные строительные материалы подразделяют на:

а) *дисперсно-наполненные* (мастики, шпаклёвки, замазки, клеи, растворы), содержащие связующее и дисперсный наполнитель;

б) *дисперсно-армированные* (стеклопластики, асбестоцемент и др.), состоящие из связующих и волокнистых хаотично расположенных наполнителей;

в) *волокнистые композиты* (фанера, деревопласты, стекловолокнистые анизотропные материалы, стеклотекстолиты), включающие связующие и ориентированные волокна;

г) *растворы* – материалы, состоящие из вяжущего и мелкого заполнителя (или дисперсного наполнителя); выделяют традиционные простые и сложные растворы и полимеррастворы;

д) *бетоны* в отличие от растворов содержат крупные заполнители; к ним относятся традиционные бетоны на минеральных вяжущих, полимербетоны и их комбинации – бетонополимеры (с комплексными вяжущими).

**По плотности** композиционные строительные материалы подразделяют на:

а) *особо лёгкие* (средняя плотность до 400 кг/м<sup>3</sup>);

б) *лёгкие* (средняя плотность от 400 до 1200 кг/м<sup>3</sup>);

в) *обычные* (средняя плотность от 1200 до 2200 кг/м<sup>3</sup>);

г) *тяжёлые* (средняя плотность от 2200 до 2800 кг/м<sup>3</sup>);

д) *особо тяжёлые* (средняя плотность выше 2800 кг/м<sup>3</sup>).

### 2.3. Виды композиционных материалов и их классификация

**По механизму упрочнения** композиты можно разделить на две группы:

1. В основу упрочнения композитов первой группы положен принцип армирования матрицы высокопрочными, несущими нагрузку элементами (железобетон, стеклопластик и др.).

2. Ко второй группе относятся дисперсно-упрочнённые материалы. Ведущую роль в них играет структурный фактор. Роль упрочняющей фазы сводится к облегчению формирования субструктуры в процессе получения композита.

**По природе компонентов** (обычно материала матрицы): металлические; полимерные; жидкокристаллические; керамические; другие неорганические материалы (углерод, оксиды, бориды и др.).

Если один из компонентов композита непрерывен во всём объёме, а другой является прерывистым, разъединённым, то первый компонент называют матрицей (связующим), а второй – арматурой (армирующим элементом, наполнителем). Матрица в композите обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжений в наполнителе, определяет тепло-, влаго-, огне- и химическую стойкость. Есть композиты, для которых понятие матрицы и арматуры неприменимо, например для слоистых композитов, состоящих из чередующихся слоёв, или для псевдосплавов, имеющих каркасное строение.

**По структуре композита:** каркасная; матричная; слоистая; комбинированная.

К композитам с каркасной структурой относятся, например, псевдосплавы, полученные методом пропитки; с матричной структурой – дисперсно-упрочнённые и волокнистые композиты; со слоистой структурой – композиты, составленные из чередующихся слоёв фольги или листов материалов различной природы или состава; с комбинированной структурой – включающие комбинации первых трёх групп (например, псевдосплавы, каркас которых упрочнён дисперсными включениями – каркасно-матричная структура и др.).

**По геометрии армирующих компонентов** (наполнителя): порошковые и гранулированные (армированы частицами); волокнистые (армированы волокнами, нитевидными кристаллами, делятся на непрерывные и дискретные); слоистые (армированы плёнками, пластинами, слоистыми наполнителями).

**По расположению компонентов** (схеме армирования): изотропные или квазиизотропные (порошковые, дисперсно-упрочнённые, хаотично армированные дисперсными частицами, дискретными или непрерывными волокнами и др.); анизотропные (волокнистые, слоистые с определённой ориентацией армирующих элементов относительно матрицы).

Изотропные материалы имеют одинаковые свойства во всех направлениях, анизотропные – разные. К числу изотропных композитов вносятся псевдосплавы и хаотично армированные материалы. Упрочнение хаотично армированных композитов осуществляется короткими (дискретными) частицами игольчатой формы, ориентированными в пространстве случайным образом. В качестве таких частиц используют отрезки волокон или нитевидные кристаллы (усы), при этом композиты получают квазиизотропными, т.е. анизотропными в микрообъёмах, но изотропными в макрообъёме всего изделия.

Анизотропия композита является конструкционной, она закладывается специально для изготовления конструкций, в которых наиболее рационально её использовать. Возможность управления свойствами вновь создаваемых материалов, особенно хорошо реализуемая при проектировании гибридных (армированных несколькими типами наполнителей) композитов, оказывает существенное влияние на совершенствование технологического проектирования. Например, композиты с матричной структурой, упрочнённые армирующими элементами, ориентированными определённым образом в пространстве, относятся к упорядоченно армированным. Они подразделяются на одноосноармированные, или однонаправленные (с расположением арматуры вдоль одной оси), двухосноармированные (с плоскостным расположением арматуры) и трёхосноармированные (с объёмным расположением арматуры).

Часто композит представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Однако каждый слой можно армировать также непрерывными волокнами, сотканными в ткань определённого рисунка (средний ряд на рис. 3), которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую исходному материалу. Разработанные к настоящему времени геометрии армирования позволили отказаться от послойной сборки материала: волокна сплетают в трёхмерные структуры (нижний ряд на рис. 3).

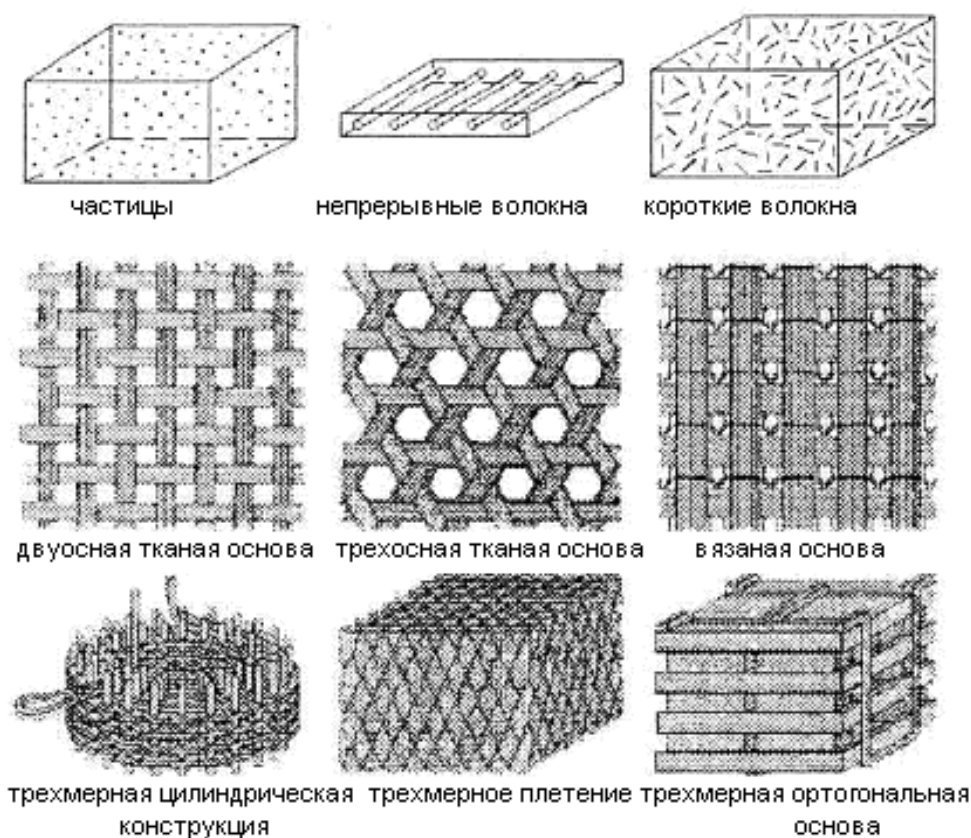


Рис. 3. Различные геометрии армирующих компонентов и схемы армирования композитов

В некоторых случаях уже на этой стадии можно задать форму изделию из композита. Выбор среди возможных типов армирования осуществляется на основе экономических соображений и требований, предъявляемых к работе изделий.

**По количеству компонентов:** полиматричные – использование в материале нескольких матриц; гибридные (полиармированные) – использование наполнителей различной природы.

Композиты, которые содержат два или более различных по составу и природе типа армирующих элементов, называются полиармированными или гибридными. Гибридные композиты могут быть простыми, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию (например, стеклоуглепластик – полимер, армированный стеклянными и углеродными волокнами), и комбинированными, если армирующие элементы имеют и различную природу, и различную геометрию (например, бороалюминий с прослойками из титановой фольги).

**По методу получения:** искусственные; естественные.

К искусственным относятся все композиты, полученные в результате искусственного введения армирующей фазы в матрицу, к естественным – сплавы эвтектического и близкого к ним состава. В эвтектических композитах армирующей фазой являются ориентированные волокнистые или пластинчатые кристаллы, образованные естественным путём в процессе направленной кристаллизации.

По мере создания новых композитов «старые» виды классификации расширяются и могут возникать новые.

## 2.4. Структура композиционных материалов

По механической структуре композиты делятся на несколько основных классов: волокнистые, слоистые, дисперсно-упрочнённые, упрочнённые частицами и нанокомпозиты.

Волокнистые композиты армируются волокнами или нитевидными кристаллами. Даже небольшое содержание наполнителя в композитах такого типа приводит к существенному улучшению механических свойств материала. Широко варьировать свойства материала позволяет также изменение ориентации размера и концентрации волокон.

В слоистых композиционных материалах матрица и наполнитель расположены слоями, как, например, в триплексах (многослойное стекло), фанере, клееных деревянных конструкциях и слоистых пластиках.

Микроструктура остальных классов композиционных материалов характеризуется тем, что матрицу наполняют частицами армирующего вещества, а различаются они размерами частиц. В композитах, упрочнённых частицами, их размер больше 1 мкм, а содержание составляет 20...25 % (по

объёму), тогда как дисперсно-упрочнённые композиты включают в себя от 1 до 15 % (по объёму) частиц размером от 0,01 до 0,1 мкм. Размеры частиц, входящих в состав нанокомпозитов, еще меньше и составляют 10...100 нм.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. По каким признакам классифицируют КМ?
2. Чем отличается сплав от композита?
3. Как классифицируют КМ по основным признакам?
4. Как классифицируют КМ по природе компонентов?
5. Как классифицируют КМ по структуре композита?
6. Как классифицируют КМ по геометрии армирующих компонентов?
7. Как классифицируют КМ по расположению и количеству компонентов?
8. Как классифицируют КМ по методам получения?
9. Какова структура композита?

## 3. БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

### 3.1. Общие сведения о бетоне

Бетон – композиционный материал, получаемый формованием и твердением рационально подобранной бетонной смеси, которая должна обеспечить бетону к определённому сроку заданные свойства: прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и др. В состав бетонной смеси входят: вяжущее вещество, вода, заполнители и специальные добавки. Бетонная смесь должна удовлетворять двум важнейшим требованиям: обладать хорошей удобоукладываемостью, соответствующей применяемому способу уплотнения, и сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении. В правильно подобранной бетонной смеси расход цемента составляет 8...15 %, а заполнителей – 80...85 % (по массе).

Бетон – главный строительным материалом, применяемый во многих областях строительства.

Преимущества бетона и железобетона – низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с использованием местного сырья, возможность применения в различного вида и назначения сборных и монолитных конструкциях, механизация и автоматизация приготовления бетона, а также производства конструкций. Бетон, при надлежащей обработке, позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры. Бетон долговечен, огнестойкий, его плотность, прочность и другие характеристики изменяются в широких пределах, и можно получать материал с любыми заданными свойствами.

Недостатком обычного бетона, как и любого каменного материала, является его низкая прочность на растяжение. Она в 10...15 раз ниже прочности на сжатие. Этот недостаток устраняется в железобетоне, в котором растягивающие напряжения воспринимает арматура.

Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивают совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетоне как единого целого. Благодаря вышеперечисленным преимуществам бетоны различных видов и железобетонные конструкции из них – основа современного строительства.

По виду вяжущего выделяют:

- цементные (наиболее распространённые);
- гипсовые, смешанные (цементно-известковые, известково-шлаковые и т.п.);
- силикатные (известково-кремнезёмистые);
- специальные – применяемые при наличии особых требований (жаростойкости, химической стойкости и др.).



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

В виде заполнителей можно применять каменные материалы (песок, гравий, щебень) либо побочные продукты промышленности (например дроблёные и гранулированные металлургические шлаки), характеризующиеся сравнительно невысоким уровнем издержек производства.

В зависимости от плотности бетоны бывают:

✓ особо тяжёлые – плотность более  $2500 \text{ кг/м}^3$ , изготавливаются на особо тяжёлых заполнителях (из магнетита, барита, чугунного скрапа и др.); эти бетоны применяют для специальных защитных конструкций;

✓ тяжёлые – плотность  $2200 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$ , на песке, гравии или щебне из тяжёлых горных пород; применяют во всех несущих конструкциях;

✓ облегчённые – плотность  $1800 \dots 2200 \text{ кг/м}^3$ ; применяют преимущественно в несущих конструкциях;

✓ лёгкие – плотность  $500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$ ; к ним относятся:

- лёгкие бетоны на пористых природных и искусственных заполнителях;

- ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон) из смеси вяжущего, воды, тонкодисперсного кремнезёмистого компонента и порообразователя;

- крупнопористые (беспесчаные) бетоны на плотном или пористом крупном заполнителе без мелкого заполнителя;

- особо лёгкие (ячеистые и на пористых заполнителях) плотностью менее  $500 \text{ кг/м}^3$ , используемые в качестве теплоизоляции.

### 3.2. Общие сведения о железобетоне

Для строительства фундаментов часто используют так называемые композиционные материалы – строительные материалы, совмещённые с другими, например, железобетон.

*Железобетон* – рациональное соединение двух материалов: железа (стали) и бетона, объединённых для совместной работы в единой конструкции.

Механические (прочностные) характеристики бетона и стали различны.

Бетон – составной искусственный камень, хорошо работает на сжатие, слабо сопротивляется растяжению.

Сталь – хорошо сопротивляется и сжатию, и растяжению.

Чтобы усилить работу бетона, в растянутую зону конструкции укладывают стальные стержни, которые называют арматурой. Арматура в переводе с латинского означает «вооружение», т. е. стальная арматура как бы вооружает, укрепляет бетон. Каменные конструкции, армированные металлом, были известны давно, но в современном виде железобетон появил-

ся лишь во второй половине XIX века, когда было освоено промышленное производство портландцемента. Патент на изобретение железобетона был выдан французу Ж. Монье в 1867 г., хотя известны попытки использования железобетона и до него (например, в 1849 г. инженером Г.Е. Паукером в России и в 1845 г. В. Уилкинсоном в Англии). Первоначально железобетон применялся довольно ограниченно. В настоящее время это основной конструкционный материал в жилищном и промышленном строительстве.

В совместной работе бетона и арматуры образуется комплексный конструктивный материал, прочность которого в десятки раз выше в сравнении с бетонным образцом.

Железобетон – это не два разнородных материала: бетон и сталь, а новый материал, в котором сталь и бетон работают совместно, помогая друг другу. Это объясняется следующим. Бетон при твердении на воздухе уменьшается в объёме, плотно охватывая арматуру. Прочность сцепления арматуры с бетоном достигает больших значений. Так, чтобы выдернуть из бетона стержень диаметром 30 мм, введённый в бетон на глубину 300 мм, требуется сила не менее 10 кН. Сцепление стали с бетоном не нарушается и при сильных перепадах температуры, так как коэффициенты теплового расширения стали и бетона почти одинаковы. Хорошее сцепление стали с бетоном приводит к тому, что под нагрузкой эти два материала работают как одно целое.

Смысл армирования можно пояснить на элементах, работающих на изгиб (балки, ригели). В таких элементах часть поперечного сечения элемента подвергается сжатию, а другая – растяжению. Если балку изготовить из неармированного бетона, то вследствие низкой его прочности на растяжение (1...4 МПа) уже под небольшой нагрузкой бетон в растянутой зоне будет растрескиваться и балка разрушится. Если же в растянутую зону ввести стальную арматуру, то она примет на себя растягивающие напряжения (прочность стали при растяжении более 200 МПа), и балка, хотя на ней могут появиться трещины, не разрушится даже при больших нагрузках. В ряде случаев армируют элементы, работающие и на сжатие (колонны, сваи), так как на сжатие сталь в 5...10 раз прочнее бетона.

Причиной, почему арматура принимает на себя большую часть нагрузки, является различие в модулях упругости (физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации) стали  $2 \cdot 10^5$  МПа и бетона  $(2...3)10^4$  МПа. Из-за того, что модуль упругости стали в 10 раз выше модуля упругости бетона, при нагружении железобетонного элемента напряжения, возникающие в стали, приблизительно в 10 раз выше, чем напряжения в бетоне, т. е. в материале происходит как бы перераспределение нагрузки.

Бетон благодаря своей плотности и водонепроницаемости, с одной стороны, и щелочной реакции цементного камня в бетоне, с другой, защи-

щадит сталь от коррозии. Кроме того, бетон, как сравнительно плохой проводник теплоты, защищает сталь от быстрого нагрева при пожарах. Стальные конструкции при пожаре быстро нагреваются, сталь размягчается, и вся конструкция начинает деформироваться даже под собственным весом. В железобетонных конструкциях стальная арматура защищена от огня слоем бетона. Так, опыты показали, что при температуре поверхности бетона 1000 °С арматура, находящаяся на глубине 50 мм, через 2 ч нагреется лишь до 500 °С.

В современном строительстве все большее применение находит напряжённо-армированный бетон. Как уже говорилось, прочность бетона на растяжение в 10...20 раз ниже, чем прочность на сжатие. В железобетоне этот недостаток устраняют введением в растянутую зону арматуры. Однако вследствие малой растяжимости бетона в растянутой его зоне возникают трещины, после чего всю нагрузку воспринимает только арматура. Пока ширина трещины менее 0,1...0,2 мм (так называемые волосяные трещины), они не опасны с точки зрения сцепления арматуры с бетоном и коррозии арматуры.

При применении для армирования высокопрочных сталей полное использование их прочности сопровождается относительно большим удлинением арматуры, что приводит к сильному растрескиванию бетона, а это, в свою очередь, – к коррозии арматуры из-за обнажения её поверхности. Отсюда следует, что при обычном способе армирования применение высокопрочной арматуры нерационально. При армировании такой арматурой применяют метод предварительного натяжения арматуры, сущность которого состоит в том, что до загрузки железобетонной конструкции полезной нагрузкой её арматуру растягивают наподобие резинового жгута; упором при этом служит бетон. Естественно, что чем сильнее растянута арматура, тем больше будет сжат бетон. Когда же к конструкции приложена полезная нагрузка, напряжения от неё, возникающие в растянутой зоне бетона, частично компенсируются предварительно созданными сжимающими напряжениями. Поэтому в растянутой зоне бетона не возникнут трещины, а предварительно напряжённая арматура получит от нагрузки дополнительное напряжение и её высокая прочность будет реализована в большой степени.

В настоящее время применяют два способа получения напряжённо-армированного бетона. Один из них заключается в том, что арматуру натягивают и закрепляют на специальных анкерах, а затем укладывают бетон. После того как бетон достаточно затвердеет, арматуру освобождают и она, сжимаясь, сжимает бетон. Другой способ: в бетоне оставляют специальные каналы для напрягаемой арматуры. После затвердевания бетона арматуру вводят в каналы и натягивают, используя в качестве опоры затвердевший

бетон. При этом в бетоне возникают сжимающие напряжения. После натяжения арматуры каналы заполняют цементным раствором.

В предварительно напряжённых железобетонных конструкциях более полно используется прочность стали и бетона, поэтому уменьшается масса изделий. Кроме того, предварительное обжатие бетона, препятствуя образованию трещин, повышает его долговечность.

Благодаря универсальности и комплексу ценных свойств железобетон на тяжёлом и лёгком бетоне используют для строительства всех типов зданий и инженерных сооружений. Так, массовое строительство жилых зданий осуществляется из сборного железобетона, причём из него выполняют все элементы здания. В многоэтажных кирпичных зданиях фундаменты и перекрытия – железобетонные. Промышленные здания и инженерные сооружения в основном возводят из железобетона.

В зависимости от способа изготовления железобетонные конструкции могут быть монолитными или сборными.

### 3.3. Монолитный железобетон

Монолитным называют железобетон, изготавливаемый непосредственно на строительной площадке. На месте возведения конструкции устанавливают опалубку. Назначение опалубки – придать бетонной смеси при её укладке форму будущей конструкции. Опалубку выполняют из дерева, фанеры, стали или различных их комбинаций. Обычно применяют разборно-переставную опалубку из мелких или крупных щитов.

Для возведения высоких сооружений – резервуаров, труб, башен – используют скользящую или подъёмно-переставную опалубку. Когда бетон, уложенный в скользящую опалубку, достаточно затвердеет, опалубку вместе с рабочими подмостями двигают вверх и цикл повторяют. Такая опалубка была использована при строительстве Останкинской телевизионной башни.

В опалубку укладывают арматуру, а затем бетонную смесь. Бетонную смесь уплотняют глубинными или поверхностными вибраторами, навешиваемыми на опалубку.

Бетон после укладки первые 7...10 дней необходимо защищать от высыхания, а зимой – от замерзания. В противном случае мы не получим требуемой прочности бетона. Бетон твердеет обычно естественным путем, зимой возможен его подогрев.

Опалубку снимают по достижении бетоном достаточной прочности, чаще всего через 7...10 дней.

В последние годы монолитный железобетон применяют все шире (в начальный период своего развития железобетон в строительстве использовали только в монолитном варианте). Из монолитного бетона возводят

здания и сооружения, не поддающиеся разделению на однотипные элементы, при особенно больших или динамических нагрузках на конструкции зданий и сооружений (например, фундаменты и каркасы многоэтажных жилых и промышленных зданий, особенно в сейсмических районах), гидротехнические сооружения и т.п. С каждым годом расширяется строительство из монолитного бетона городских и сельских жилых зданий. Особенно эффективно такое строительство в случае применения специально изготовленной металлической опалубки многократного использования, что позволяет добиться большой точности изготовления строительных конструкций при низких трудозатратах.

Для монолитного строительства используют тяжёлые и лёгкие бетоны на быстротвердеющих цементах. При правильной организации труда скорость строительства из монолитного бетона не уступает скорости монтажа из сборных элементов.

За последние годы в городах России построено много нестандартных сооружений из монолитного бетона, в том числе и такие уникальные, как храм Христа Спасителя, подземный торговый комплекс на Манежной площади в Москве и др.

### 3.4. Сборный железобетон

Сборные железобетонные изделия и конструкции (сборный железобетон) представляют собой крупноразмерные железобетонные элементы, изготавливаемые на заводе или полигоне домостроительного комбината. Основное преимущество таких конструкций – высокомеханизированные и автоматизированные методы их изготовления; на строительной площадке эти элементы только монтируют, что резко сокращает сроки строительства, повышает производительность труда и позволяет широко применять новые эффективные материалы (лёгкие и ячеистые бетоны, отделочная керамика, пластмассы и т.п.).

Развитие сборного строительства нашло свое выражение в организации домостроительных комбинатов (ДСК). ДСК выпускают все необходимые для строительства здания железобетонные элементы, транспортируют их на стройку и осуществляют монтаж и окончательную отделку здания. Главнейшее звено ДСК – заводы, выпускающие железобетонные конструкции и детали.

Основные операции при производстве железобетонных изделий: приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, армирование и формование изделий и их ускоренное твердение.

Бетонную смесь готовят в бетоносмесительном цехе завода, арматуру – в арматурном цехе. Поступающую на завод арматурную сталь (в бухтах или прутках) на специальных станках очищают от ржавчины, пра-

вят и режут на стержни заданной длины. Необходимую форму стержням придают на гибочных станках. Отдельные стержни и проволоку соединяют в сетки и каркасы контактной сваркой на станках-автоматах. Готовые сетки и каркасы передают в формовочный цех.

Напрягаемую арматуру натягивают на анкера форм с помощью специальных механизмов или – реже – методом термического натяжения.

Перед укладкой арматуры и бетона формы очищают и покрывают смазочным материалом, препятствующим сцеплению бетона с металлом форм. Бетонная смесь из бетоносмесительного цеха поступает в приёмный бункер бетоноукладчика, который подаёт её в форму и разравнивает.

Уплотняют бетонную смесь на заводах центрифугированием, вибропрессованием, прокатом, но чаще на виброплощадках большой грузоподъёмности (до 5...10 т) с электромеханическим или электромагнитным приводом. Пустоты в изделиях формуют с помощью вибровкладышей.

Для ускорения твердения бетона его подвергают тепловлажностной обработке: нагреву до температуры 80...180 °С таким образом, чтобы в бетоне сохранялась вода в жидком состоянии, необходимая для твердения цемента. Применяют следующие виды тепловлажностной обработки: пропаривание при нормальном давлении и температуре 80...95 °С; контактный нагрев и электроподогрев до 100 °С; запаривание в автоклавах при давлении 0,9...1,6 МПа (оно необходимо, чтобы вода в бетоне оставалась жидкой) и температуре 175...200 °С.

Широко распространено пропаривание при нормальном давлении в камерах непрерывного или периодического действия. Изделия нагревают насыщенным паром.

Камеры непрерывного действия представляют собой туннель, в котором изделия в формах, установленных на вагонетках, проходят последовательно зоны подогрева, изотермической выдержки и охлаждения.

В камеры периодического действия изделия загружают краном и устанавливают в несколько рядов по высоте. Затем камеру закрывают крышкой и подают насыщенный пар. Продолжительность пропаривания 10...16 ч. За это время бетон набирает не менее 70 % марочной прочности.

После извлечения из форм изделия проходят технический контроль на соответствие требованиям ГОСТ или ТУ. Изделия, удовлетворяющие требованиям стандарта, маркируют несмываемой краской. В маркировке указывают паспортный номер изделия, его индекс, марку завода-изготовителя и пр. На каждую партию изделий составляют паспорт в двух экземплярах: для потребителя и завода-изготовителя.

Железобетонные изделия изготавливают способами: стендовым, кассетным, поточно-агрегатным, конвейерным и вибропрокатным.

При стендовом способе изделия получают в неподвижных формах (на стенде). Механизмы (бетоноукладчики, вибраторы и др.) поочередно под-

ходят к стенду для выполнения необходимых операций. Этим способом изготавливают, как правило, крупногабаритные изделия (фермы, колонны, балки) на полигонах.

Кассетный способ – вариант стендового способа, основой которого является формование изделий в стационарно установленных кассетах, состоящих из нескольких вертикальных металлических форм-отсеков. В форму закладывают арматурный каркас и заполняют её бетонной смесью. Тепловую обработку производят контактным обогревом через стенки форм. После тепловой обработки стенки форм раздвигают и изделия вынимают мостовым краном. Кассетным способом изготавливают плоские изделия (панели перекрытий, стеновые панели и т.п.).

При поточно-агрегатном способе формы с изделиями перемешаются от одного технологического агрегата к другому краном, а при конвейерном они стоят на вагонетках, движущихся по рельсовому пути. При конвейерном способе тепловлажностную обработку осуществляют непрерывным методом. Конвейерный способ – высокопроизводительный, но на каждой нитке конвейера можно выпускать изделие только одного типоразмера.

При вибропрокатном способе процессы получения железобетонного изделия происходят на одной установке непрерывного действия – вибропрокатном стане. Вибропрокатный стан – это конвейер из стальной обрешеченной формирующей ленты, движущейся вдоль постов укладки арматуры и бетона, виброуплотнения бетона и контактной тепловой обработки. Вибропрокатным способом получают плиты перекрытий, лёгкобетонные панели наружных стен, перегородочные панели. Этот способ самый производительный, но переход с выпуска одного вида изделий на другой затруднен, так как связан с полной переоснасткой стана.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое бетон?
2. Как классифицируют бетоны по материалу вяжущего?
3. Как классифицируют бетоны по плотности и назначению?
4. В чём отличие бетона от железобетона?
5. Что такое монолитный или сборный железобетон?

## 4. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Самый популярный композиционный материал – это асбестоцемент.

Исходным материалом для производства асбестоцемента является асбест (от греч. *asbestos* – неразрушаемый) – собирательное название группы тонковолокнистых минералов, образующихся в земной коре при воздействии геотермальных вод на ультраосновные магматические породы. Асбест известен очень давно. В древности его называли горным льном, минеральной пряжей, горным волокном, саламандрой (так как особенностью асбеста является способность его минеральных агрегатов разделяться (распушаться) на тончайшие (диаметром в доли микрона) мягкие волокна).

Асбест поистине удивительный материал, обладающий огнестойкими свойствами. Упоминание об этом можно найти в записках итальянского путешественника Марко Поло, который писал, что асбест находят в саламандре и, если животное бросить в огонь, оно не сгорит.

Автор 37-томной «Естественной истории» Плиний Старший писал, что этот загадочный материал «обитает» в безводных пустынях Индии, а потому высокие температуры не оказывают на него никакого действия.

Несмотря на ореол загадочности, в древности из асбеста добывали волокна и пряли пряжу. Например, на северо-западе Италии жили мастера, славившиеся искусством выделки изящных перчаток, кружев и салфеток из асбестовой пряжи.

Примерно с 1720 года асбест стал известен и в России, где его называли каменной куделькой. Купец Демидов как-то подарил Петру I красивую скатерть серебристого цвета. На обеде Демидов якобы нечаянно опрокинул на скатерть бокал с вином и тарелку с жирным блюдом, затем прямо на глазах у изумленного царя снял скатерть со стола и швырнул её в камин. Спустя несколько минут Демидов вынул скатерть, дал ей немного остыть и заново расстелил. На скатерти не было ни пятнышка.

Спустя много лет горный лён получил признание во всем мире и стал называться «асбест», что в переводе с греческого означает «несгораемый». Добыча асбеста стала крупнейшей отраслью промышленности.

Асбест представляет собой волокнистые разновидности минералов двух групп – амфибола и серпентина (змеевика). К группе серпентина относится хризотил-асбест, а к группе амфибола – амфибол-асбест. Наибольшее применение получил хризотил-асбест: он бывает белого, серебристо-белого, золотисто-жёлтого и зеленого цветов и способен расщепляться на гибкие и тонкие волокна. Медики считают, что хризотил-асбест при соблюдении правил работы с ним не представляет опасности для здоровья человека. В асбестоцементных материалах асбест заключён в цементной матрице, что исключает контакт человека с ним и делает его безвредным во всех случаях применения.



Асбест добывают в горных отвалах змеевика предварительным дроблением кусков. Затем после дробления из кусков змеевика извлекают волокна и раскладывают их по сортам в зависимости от длины волокон: чем они длиннее, тем выше сорт асбеста. Высшие сорта асбеста используются в текстильной промышленности, а низшие – в строительстве. Кстати, первое применение асбеста в строительстве относится к 1788 году.

На основе асбеста был разработан новейший композиционный материал – асбестоцемент, обладающий определёнными физико-механическими свойствами. Асбестоцемент – искусственный каменный материал, получаемый при затвердевании смеси портландцемента, асбеста (15...20 % от массы цемента) и воды. Асбест обладает высокой адсорбционной способностью, особенно активно он адсорбирует ионы кальция  $\text{Ca}^{2+}$ , поэтому его волокна хорошо сцепляются с твердеющим цементом, и благодаря высокой прочности при растяжении асбестовое волокно армирует материал по всему объёму. В союзе асбестоцемента асбест принял на себя армирующую роль: прочность на растяжение у него значительно превосходит прочность цемента.

Кроме того, асбестоцемент обладает низкой теплопроводностью (0,35...0,41 Вт/(м·К), электропроводностью, звуко- и теплоизоляционными свойствами, кислото- и щёлочестойкостью, устойчивостью к повышенным температурам (нагрев до 400...500 °С не вызывает в асбесте необратимых изменений), высоким коэффициентом трения (например, по стали – 0,8).

Из асбестового волокна изготавливают ткани, картон, бумагу, шнуры, которые благодаря огнестойкости асбеста используют для высокотемпературной тепловой изоляции. Из смеси асбеста с синтетическими смолами получают асбестотехнические изделия для автотракторной (тормозные колодки и т.п.) и электротехнической (электроизоляционные материалы) промышленности.

В строительной промышленности из асбестоцемента изготавливают следующие изделия: листы, трубы, плиты, панели, некоторые фасонные детали.

Асбестоцементные изделия в основном производят путём отливки жидковязкой массы на частую металлическую сетку с последующим обезвоживанием и формованием. Таким образом получают плоские и волнистые листы и трубы.

Используется и другой способ формования асбестоцементных изделий – экструзия – выдавливание пластичной массы, как при производстве кирпича. Таким образом получают погонажные изделия: подоконные плиты, швеллеры, пустотелые плиты и панели.

Асбестоцемент при сравнительно небольшой плотности (1600...2000 кг/м<sup>3</sup>) обладает высокими прочностными показателями (предел прочности при изгибе до 30 МПа, а при сжатии до 90 МПа). Он долговечен, морозо-

стоек (через 50 циклов замораживания-оттаивания теряет не более 10 % прочности) и практически водонепроницаем.

Недостатками асбестоцемента являются хрупкость (асбестоцемент не выдерживает сильных ударных нагрузок), набухание и усадка при изменении влажности асбестоцемента, сопровождающиеся короблением.

Волнистые кровельные листы («шифер») – основной вид листовых асбестоцементных изделий. Шифер широко используют в качестве кровельного материала (его доля в общем объеме производства кровельных материалов около 50 %). Кровельные листы выпускают 6 типоразмеров: длиной 1,2...2,5 м; шириной 0,69...1,15 м; толщиной 5,5...7,5 мм.

Кроме обычных изготавливают листы, окрашенные атмосферостойкими красками как в массе, так и с поверхности. В последнее время начался выпуск плоских с фигурной кромкой листов, имитирующих мелкоштучную черепицу. Долговечность асбестоцементных изделий более 50 лет.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие материалы являются исходными при производстве асбестоцементных материалов?
2. Что такое асбест?
3. Какие свойства присущи асбесту?
4. Какими свойствами обладает асбестоцемент?
5. Где применяют асбестоцементные материалы и изделия?

## 5. ПОЛИМЕРБЕТОНЫ

### 5.1. Общая характеристика полимербетонов

Полимербетон (П-бетон) – это бетон, при приготовлении которого в качестве вяжущего используются полимерные смолы или они входят в состав вяжущего в значительных количествах и существенно влияют на свойство материала. Заполнителями служат обычно песок и щебень. Для экономии дорогостоящих смол в состав материала можно вводить тонкомолотые наполнители. В полимербетонах помимо обычных заполнителей песка и щебня применяется тонкомолотый минеральный наполнитель с размером частиц не более 0,15 мм. Содержание наполнителей и заполнителей в полимербетонах высоко (94...95 %), что позволяет уменьшить расход связующего, стоимость которого в основном и определяет стоимость полимербетона.

П-бетоны подразделяются на полимерцементные (вяжущее цемент + водорастворимая полимерная добавка), полимерсиликатные (вяжущее жидкое стекло + фуриловый спирт или диизоцианаты), бетонополимеры (бетоны, пропитанные полимерами) и собственно полимербетоны.

В свою очередь, полимербетоны бывают: на термореактивных смолах (например, карбамидных, фенольных, полиэфирных, фурановых, полиуретановых, эпоксидных) и термопластичных смолах (например, инден-кумароновых, метилметакрилате). Как правило, термопластичные полимеры используются в том случае, если только полимербетон не предназначен для несущих конструкций.

Кроме того, П-бетоны делятся на сверхтяжёлые, тяжёлые, лёгкие и сверхлёгкие.

То есть в зависимости от назначения различают конструкционные полимербетоны (плотность 1800...2100 кг/м<sup>3</sup>) с плотным минеральным заполнителем; конструкционно-теплоизоляционные лёгкие бетоны (плотность 900...1200 кг/м<sup>3</sup>) с пористым минеральным заполнителем; теплоизоляционные особо лёгкие бетоны (плотность 140...450 кг/м<sup>3</sup>) с высокопористым заполнителем из пенополистирола, пробки и др.

Полимербетоны на основе фурановых смол при необходимости армируют стальной или стеклопластиковой арматурой или прибегают к дисперсному армированию стекловолокном.

Полимербетон – это бетон, поры которого заполнены полимером. Бетонное или железобетонное изделие высушивают, вакуумируют в камере и пропитывают легкоподвижным мономером (метилметакрилатом или стиролом), который полимеризуется в порах бетона. Для ускорения полимеризации в мономер вводят инициаторы, а изделия подвергают термической обработке или облучению. Изделие может быть пропитано полностью (при

толщине до 20 см) или на некоторую глубину. В результате пропитки бетон становится водонепроницаемым и коррозионно-стойким. Возрастает его прочность. Из бетона прочностью 30...50 МПа получают П-бетоны с прочностью при сжатии 120...300 МПа, при растяжении – 12...20 МПа. При этом в 3...4 раза возрастает сопротивление истиранию, в 2 раза – предельная растяжимость, в 1,5 раза – модуль упругости. Морозостойкость возрастает до 7000 циклов. Пропитка удорожает бетон, но снижает материалоемкость и повышает долговечность конструкций, особенно в агрессивной среде.

К недостаткам этого материала можно отнести низкие термостойкость и горючесть.

## 5.2. Компоненты полимербетонов

**Смолы**, рекомендуемые для приготовления полимербетонов:

– мочевиноформальдегидные (карбамидные) смолы типа «КМ» (крепитель м) и «УКС» (универсальная карбамидная смола), МФ-17, М-60, М-19-62, и другие стойкие в кислотах, но недостаточно стойкие в щелочах. Их получают в результате реакции поликонденсации мочевины и формальдегида в водной или водно-спиртовой среде;

– фурфуролацетоновая смола ФАМ или ФА (ТУ 6-05-1618-73);

– ненасыщенная полиэфирная смола ПН-1 (МРТУ 6-05-1082-76) или ПН-63 (ОСТ 6-05-431-78);

– карбамидоформальдегидная КФ-Ж (ГОСТ 14231-78);

– фураноэпоксидная смола ФАЭД-20 (ТУ-59-02-039.13-78);

– эфир метиловый метакриловой кислоты (мономер метилметакрилат) ММА (ГОСТ 16505).

В качестве *отвердителей* синтетических смол используются:

✓ для мочевиноформальдегидных смол – щавелевая, лимонная, уксусная, серная, соляная, фосфорная кислоты, хлориды аммония и цинка;

✓ для фурфуролацетоновых смол ФАМ и ФА – бензолсульфокислота БСК (ТУ 6.1425);

✓ для полиэфирных смол ПН-1 и ПН-63 – гидроперекись изопропил бензола ГП (ТУ 38-10293-75);

✓ для карбамидоформальдегидной КФ-Ж – солянокислый анилин СКА (ГОСТ 5822);

✓ для фураноэпоксидной смолы ФАЭД-20 – полиэтиленполиамин ПЭПА (ТУ 6-02-594-70);

✓ для метилметакрилата ММА – система, состоящая из технического диметиланилина ДМА (ГОСТ 2168) и перекиси бензоила ПБ (ГОСТ 14888).

В качестве ускорителя твердения полиэфирных смол используется нефтенат кобальта НК (МРТУ 6-05-1075-76).

В качестве *пластифицирующих добавок* следует применять:

- катапин (ТУ 6-01-1026-75);
- алкамон ОС-2 (ГОСТ 10106);
- меламиноформальдегидную смолу К-421-02 (ТУ 6-10-1022-78);
- сульфированные нафталинформальдегидные соединения – пластификатор С-3 (ТУ 6-14-10-205-78).

Полимербетоны очень плотные и стойкие в различных агрессивных средах материалы. Наибольшей прочностью и универсальной стойкостью обладают полимербетоны на эпоксидных смолах к эпоксидным смолам относятся ЭД-5, ЭД-6, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22 и компаунды с каучуками, фурановыми (фураноэпоксидная смола ФАЭД-20) и другими смолами. Для пластификации композиции в качестве пластификатора применяют диметилфталат, дибудилфталат и др., которые вводят в количестве 15...20 % от массы смолы. Катализаторами твердения являются третичные амины, хлористая сурьма, фтористые соединения и др. Для холодного отверждения применяют полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин или жидкие полиамиды.

Фурановые смолы (ФА, ФАМ, 2-ФА и др.) получают конденсацией фурфурола и фурфурилового спирта с фенолами и кетонами. Они являются наиболее дешёвыми. Широкое распространение в строительстве получил мономер ФА, получаемый при взаимодействии фурфурола и ацетона в щелочной среде.

Исходными продуктами для получения фурфуролкарбамидных смол служат фурфурол, мочевины и наполнители из кислотостойких пород. В качестве катализатора применяют хлорное железо, а ускорителя твердения – анилин.

В качестве **крупного заполнителя** для тяжелых полимербетонов может использоваться щебень из естественного камня или щебень из гравия. Щебень и щебень, дроблённый из гравия, должны отвечать требованиям ГОСТ 8267, ГОСТ 8268, ГОСТ 10260.

Применение щебня из осадочных горных пород не допускается.

В качестве **крупных пористых заполнителей** для полимербетонов используют керамзитовый гравий, шунгизитовый гравий и алгопоритовый щебень, соответствующие требованиям ГОСТ 9759, ГОСТ 19345, ГОСТ 11991.

Для приготовления тяжелых полимербетонов высокой плотности следует применять щебень следующих фракций:

- щебень одной фракции 10...20 мм при наибольшем диаметре, равном 20 мм;
- щебень из двух фракций 10...20 и 20...40 мм при наибольшем диаметре, равном 40 мм.

Состав полимербетона подбирают опытным путём. В соответствии с рекомендациями Ю.М. Баженова, вначале экспериментальным путём под-

бирают наиболее плотную смесь заполнителей и наполнителя с минимальной пустотностью, а затем определяют расход смолы и отвердителя. При этом количество смолы устанавливают таким, которое обеспечивает получение заданной подвижности бетонной смеси. Обычно расход смолы превышает объём пустот микронаполнителя на 10...20 %.

Лучше состав полимербетона устанавливать с применением метода математического планирования эксперимента, варьируя содержание песка, наполнителя, смолы и отвердителя.

После выполнения эксперимента, обработки полученных результатов на ЭВМ и получения зависимостей свойств полимербетона от вышеуказанных факторов можно рассчитывать оптимальный состав материала с требуемыми характеристиками.

На основе карбамидных и других смол и лёгких заполнителей (перлита, бисипора ячеистого стекла и др.) получают особо лёгкие полимербетоны с средней плотностью от 70 до 500 кг/м<sup>3</sup> и с прочностью до 5 МПа.

Твердение отформованных изделий должно происходить при температуре не менее 15 °С и нормальной влажности окружающего воздуха в течение 28 суток, для изделий из полимербетонов ММА – в течение 3 суток.

Для ускорения процесса твердения изделия из полимербетонов должны подвергаться термообработке, которую следует проводить в камерах сухого прогрева. Сухой прогрев осуществляется электронагревателями, паровыми регистрами.

Длительность выдержки в формах полимербетонных изделий до распалубки и последующей термообработки должна быть при температуре окружающей среды: (17±2) °С – 12 ч, (22±2) °С – 8 ч, более 25 °С – 4 ч.

Распалубленные полимербетонные изделия подвергаются термообработке по следующим режимам:

– для полимербетонов ФАМ (ФА), ПН, КФ-Ж: подъём температуры до (80±2) °С – 2 ч, выдержка при температуре (80±2) °С – 16 ч, спуск температуры до 20 °С – 4 ч;

– для полимербетонов ФАЭД: подъём температуры до (120±5) °С – 3 ч, выдержка при температуре (120±5) °С – 14 ч, спуск температуры до 20 °С – 6 ч.

Термообработку полимербетонных изделий объёмом не менее 0,2 м<sup>3</sup> допускается производить в формах по следующим режимам:

– для полимербетонов ФАМ (ФА), ПН, КФ-Ж: выдержка при 20 °С – 1,5 ч, подъём температуры до (80±2) °С – 1 ч, выдержка при температуре (80±2) °С – 16 ч, спуск температуры до 20 °С – 4 ч;

– для полимербетонов ФАЭД: выдержка при 20 °С – 1,5 ч, подъём температуры до (120±5) °С – 2 ч, выдержка при температуре (120±5) °С – 14 ч, спуск температуры до 20 °С – 6 ч;

– для полимербетонов ФАМ (ФА), ПН, КФ-Ж: выдержка при 20 °С – 1,5 ч, подъём температуры до (80±2) °С – 1 ч, выдержка при температуре (80±2) °С – 16 ч, спуск температуры до 20 °С – 4 ч.

– для полимербетонов ФАЭД: выдержка при 20 °С – 1,5 ч, подъём температуры до (120±5) °С – 2 ч, выдержка при температуре (120±5) °С – 14 ч, спуск температуры до 20 °С – 6 ч.

Изделия из полимербетона ММА запрещается подвергать термообработке.

### 5.3. Применение полимербетонов

При соответствующем технико-экономическом обосновании полимербетоны целесообразно применять для изготовления конструкций, работающих в условиях сильноагрессивных сред (химические предприятия) (химически стойкие полы, лотки, сточные каналы, травильные ванны, сливные колодцы, химически стойкие трубы и т.д.) или находящихся под воздействием электрических токов (траверсы ЛЭП, контактных опор и подобных конструкций с высоким электросопротивлением).

Возможно изготовление из полимербетонов износостойких покрытий плотин, шахтных стволов, кольцевых коллекторов подземных сооружений, емкостей для хранения агрессивных жидкостей и других аналогичных сооружений.

В строительной практике из полимербетона изготавливались тубинги для крепи подземных выработок, шпалы, электролизные ванны и эстакады под них, плиты для полов животноводческих ферм, предприятий полиграфической промышленности, башмаки фундаментов, коллекторные кольца, дренажные и водные трубы, лестничные марши, подоконные доски, декоративно-отделочные и другие изделия.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое полимербетоны? Где применяют полимербетоны?
2. Перечислите основные компоненты для изготовления полимербетонов.

## 6. ОРГАНОПЛАСТИКИ

Органопластики – композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже – природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д. В термореактивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиамиды. Материал содержит 40...70 % наполнителя. Содержание наполнителя в органопластиках на основе термопластичных полимеров – полиэтилена, ПВХ, полиуретана и т.п. – варьируется в значительно больших пределах – от 2 до 70 %.

Органопластики обладают низкой плотностью ( $1,1...1,4 \text{ г/см}^3$ ), они легче стекло- и углепластиков, отличаются относительно высокой прочностью при растяжении, высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но в то же время низкой прочностью при сжатии и изгибе. Обладают хорошими диэлектрическими и теплоизоляционными характеристиками, ударной вязкостью, химической стойкостью, радиопрозрачностью, более высокой способностью демпфировать механическую и звуковую вибрацию по сравнению с стеклопластиками и другими композиционными материалами. Свойства определяются природой волокна и связующего, видом, ориентацией и содержанием наполнителя, взаимодействием на границе волокно – связующее, технологией изготовления.

Наиболее высокими механическими свойствами обладают органопластики на основе арамидных волокон. По ударной прочности при растяжении они превосходят стеклопластики в 1,5...1,8 раза, а по ударному модулю упругости – более чем в 2 раза. При растяжении у органопластиков на основе непрерывных ориентированных арамидных волокон в интервале от  $-250$  до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдаются линейная зависимость деформации от нагрузки, а также рост модуля упругости с понижением температуры. При сжатии у арамидных органопластиков, а также при растяжении и сжатии у органопластиков, армированных большинством других волокон, проявляются пластические свойства.

Основной недостаток арамидных органопластиков – низкая прочность при сжатии вдоль волокон (в 5...10 раз меньше, чем при растяжении).

Арамидные органопластики способны выдерживать в течение 1000 ч статические нагрузки, по величине равные 90 % от разрушающего напряжения при растяжении, длительно работают при повышенных температурах ( $180...200 \text{ }^\circ\text{C}$ ), обладают высокой усталостной прочностью. Способность поглощать механические вибрации и звук у них в 2...4 раза выше, чем у стеклопластиков, и в 10...40 раз выше, чем у алюминиевых сплавов.

Теплопроводность органопластиков (наполнитель – ткани, жгуты или нити) в направлении, перпендикулярном слоям, составляет  $0,012...0,020 \text{ Вт/(см}\cdot\text{K)}$ , а коэффициент линейного термического расширения



ния вдоль волокон может иметь отрицательные значение (например, от  $-2 \cdot 10^{-6}$  до  $-4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Для арамидных органопластиков характерна высокая химическая стойкость к действию органических растворителей, смазочных масел, жидких топлив и воды. Арамидные органопластики на основе полиамидных и фенольных связующих обладают огнестойкостью и низким дымовыделением при горении.

Важную роль в улучшении механических характеристик органопластика играет степень ориентации макромолекул наполнителя. Макромолекулы жёсткоцепных полимеров, таких, как полипарафенилтерефталамид (кевлар), в основном ориентированы в направлении оси полотна и поэтому обладают высокой прочностью при растяжении вдоль волокон. Из материалов, армированных кевларом, изготавливают пулезащитные бронежилеты.

Технология производства органопластиков и изделий из них такая же, как технология изготовления стеклопластиков. Органопластики находят широкое применение в авиа- и космической технике, авто- и судостроении, машиностроении для изготовления элементов конструкций, пулезащитной брони, радиопрозрачного материала; в электро-, радио- и электронной технике – для обмотки роторов электродвигателей, производства электронных плат с регулируемой жёсткостью и высокой стабильностью размеров; в химическом машиностроении – для производства трубопроводов, емкостей; для производства спортивного инвентаря и в других отраслях промышленности.

К наиболее распространённым органопластикам относятся древесные композиционные материалы.

## 6.1. Древесно-цементные композиционные материалы

### 6.1.1. Арболит

#### 6.1.1.1. Общие сведения об арболите

Арболит – разновидность лёгкого бетона. Изготавливают его из смеси органических целлюлозосодержащих заполнителей растительного происхождения (дроблёных отходов деревообработки, костры конопли, льна, сечки стеблей хлопчатника, камыша и т.д.), минерального вяжущего (обычно портландцемента), химических добавок и воды. Предназначен для строительства малоэтажных сельскохозяйственных, промышленных, жилых и культурно-бытовых зданий.

Производство арболита – один из наиболее эффективных и рентабельных способов использования древесных отходов, так как технология изготовления этого древесно-цементного композита (ДЦК) относительно проста и не требует больших капитальных вложений.

Изделия из арболита, имея сравнительно невысокую среднюю плотность ( $400\text{...}850 \text{ кг/м}^3$ ), характеризуются отличными строительными, физико-техническими и гигиеническими свойствами, поддаются сверлению, обработке режущим инструментом и оштукатуриванию. В них можно забивать гвозди и ввинчивать шурупы. Они трудногоряемы, не разрушаются в воде, морозо- и биостойки, негигроскопичны и малотеплозвукпроводны.

Конструкции и изделия из арболита в зависимости от средней плотности разделяют:

- ✓ по назначению – на теплоизоляционные (плотность  $400\text{...}500 \text{ кг/м}^3$ ) и конструкционные (плотность  $500\text{...}850 \text{ кг/м}^3$ );
- ✓ по структуре – на обычный и поризованный;
- ✓ по армированию – на армированные и неармированные;
- ✓ по количеству слоёв – на однослойные и многослойные (конструкции с наружным и внутренним отделочными слоями из цементно-песчаного раствора толщиной до 2 см относятся к однослойным).

Арболит в зависимости от прочности на сжатие образцов-кубов подразделяют на классы:

- ✓ теплоизоляционный арболит – классы В035, В075, В1;
- ✓ конструкционный арболит – классы В1,5, В2, В2,5, В3,5.

Для изделий и конструкций, спроектированных без учёта требований СТ СЭВ 1406–78, показатель прочности при сжатии характеризуют марками: М5, М10, М15 – для теплоизоляционного арболита; М25, М35, М50 – для конструкционного арболита.

Многолетняя эксплуатация зданий и сооружений из бетона на органическом целлюлозном заполнителе в различных регионах нашей страны, а также в зарубежных странах убедительно подтверждает долговечность арболита (срок эксплуатации зданий 20...40 лет).

Производство и использование арболита имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными строительными материалами, а именно: утилизируются отходы деревообработки, используемые для получения заполнителя; снижается масса зданий; упрощается монтаж конструкций при строительстве; отпадает необходимость в высококвалифицированных рабочих-монтажниках и в механизмах большой грузоподъёмности для монтажа зданий; сокращаются трудоёмкость производства и монтажа, а также удельные капиталовложения на изготовление  $1 \text{ м}^2$  конструкций; уменьшается толщина стен благодаря лучшим теплотехническим характеристикам этого материала; снижается расход цемента до 35 кг на  $1 \text{ м}^2$  изделия при равном термическом сопротивлении по сравнению с керамзитобетоном (хотя на  $1 \text{ м}^3$  арболита расход цемента выше); уменьшается стоимость конструкций в «деле».

По энергоёмкости, трудозатратам и удельным капиталовложениям на получение заполнителя для лёгких бетонов органический целлюлозный заполнитель экономичнее искусственных пористых заполнителей, которые требуют создания карьерного хозяйства, строительства специального производства – заводов по вспучиванию (керамзита, перлита, аглопорита и т.д.) с энергоёмким и дорогостоящим оборудованием.

Плиты покрытий и перекрытий из арболита используют в зданиях различного назначения с относительной влажностью воздуха помещений не более 60 % и при отсутствии агрессивных сред только в виде составных конструкций в сочетании с железобетоном. Арматуру в конструкциях из арболита необходимо защищать антикоррозионными покрытиями.

Наружная поверхность конструкций из арболита, соприкасающаяся с атмосферной влагой, независимо от влажностного режима помещений должна иметь отделочный (фактурный) слой, обеспечивающий защиту арболита от увлажнения.

Из арболита изготавливают теплоизоляционные и конструкционные материалы и изделия, применяемые в зданиях различного назначения. При соблюдении требований строительных норм и правил по защите строительных конструкций от коррозии допускается использовать арболит в стенах зданий с относительной влажностью воздуха помещений более 60 % и при наличии слабо- и среднеагрессивных газовых сред.

#### 6.1.1.2. Основные свойства арболита

Средняя плотность арболита в зависимости от его вида и класса (марки), а также от вида заполнителя составляет от 400 до 850 кг/м<sup>3</sup>; фактическая средняя плотность арболита не должна быть больше проектной более чем на 5 %, а для изделий высшей категории качества – на 3 %.

Арболит со средней плотностью 400...850 кг/м<sup>3</sup> имеет предел прочности при сжатии 0,5...5 МПа. Такие невысокие прочностные характеристики могут объясняться химической агрессивностью органического целлюлозного заполнителя.

Теплопроводность высушенного до постоянной массы арболита, определяемая при температуре (20±5) °С, не должна превышать: 0,07...0,09 Вт/(м·°С) – при средней плотности 400...500 кг/м<sup>3</sup>, 0,095...0,14 Вт/(м·°С) – при средней плотности 550...700 кг/м<sup>3</sup> и 0,15...0,17 Вт/(м·°С) – при средней плотности 750...850 кг/м<sup>3</sup>.

Прочность сцепления арболита с металлической арматурой составляет 0,1...0,4 МПа, в зависимости от класса арболита, профиля стержней (гладкий, периодический) и защитной обмазки; сцепление фактурного слоя из цементно-песчаного раствора 1:3 (цемент : песок) с арболитом – 1,5...1,6 МПа.

Деформация арболита при кратковременной нагрузке (показатель сжимаемости) равняется  $7,5 \cdot 10^{-3}$ , что примерно в 8...10 раз больше, чем у бетонов на минеральных пористых заполнителях.

Сорбционное увлажнение арболита зависит от его средней плотности, применяемого органического целлюлозного заполнителя и введённых добавок; при относительной влажности воздуха 40...90 % оно находится в пределах 10...15 %. Так как сорбционное увлажнение арболита невелико – материал негигроскопичен.

Арболит характеризуется достаточно высоким водопоглощением, однако преимущество этого материала в том, что он легко отдаёт поглощённую воду, т.е. быстро высыхает. Уменьшить водопоглощение арболита в конструкциях можно, защитив открытые поверхности различными покрытиями.

Ограждающие конструкции из арболита характеризуются III степенью долговечности. В соответствии с классификацией, предложенной ЦНИИСКом, арболит по биостойкости относится к V группе.

Арболит со средней плотностью выше  $400 \text{ кг/м}^3$  трудносгораем. Применяют его для изготовления изделий, эксплуатируемых в сборных и монолитных зданиях различного назначения.

Наружная поверхность ограждающих конструкций из арболита, соприкасающаяся с атмосферной влагой, независимо от влажностного режима внутренних помещений должна иметь защитный отделочный слой. С внутренней стороны панелей предусматривается фактурный слой из цементно-песчаного раствора толщиной до 2 см. Арболит обладает более высокими теплозащитными и звукоизоляционными свойствами, по сравнению с бетонами на минеральных пористых заполнителях.

Морозостойкость арболита в изделиях конкретных видов в зависимости от режима их эксплуатации и климатических условий района строительства должна соответствовать нормам проектирования, она указывается в стандартах или технических условиях на конкретные изделия и не должна быть менее F25.

Марка арболита и бетона (раствора) наружных отделочных слоёв по морозостойкости должна соответствовать указанной в рабочих чертежах и быть не менее: F25 – для конструкций, применяемых в зданиях с относительной влажностью воздуха помещений не более 60 %; F35 – то же, от 60 до 75 %; F50 – то же, свыше 75 %, а также для бетона (раствора) наружного отделочного слоя.

### 6.1.1.3. Технология изготовления арболитовых изделий и конструкций

Технологический процесс производства арболитовых изделий и конструкций состоит из следующих операций: дробления и подготовки заполнителя по гранулометрическому составу, его обработки, приготовления хи-

мической добавки, дозировки компонентов арболита, приготовления арболитовой смеси, укладки её в формы и уплотнения, термообработки сформованных изделий, вызревания при положительных температурах и транспортирования изделий на склад.

#### 6.1.1.4. Эффективная область применения арболита

Благодаря положительным свойствам арболитовые изделия нашли широкое применение в строительстве. Это стеновые панели и блоки, плиты покрытия для совмещённых кровель и плиты перекрытия, усиленные железобетонными брусками или несущей основой, перегородочные плиты для первых этажей культурно-бытовых зданий и магазинов, тепло- и звукоизоляционные плиты, объёмно-пространственные конструкции, монолиты и т. п. Имеется опыт производства и применения в жилищном строительстве плит сборной стяжки под линолеум и паркет.

Арболит зарекомендовал себя отличным стеновым материалом. Благодаря крупнопористой структуре этот лёгкий бетон обладает ценными, особенно для сельскохозяйственного строительства, качествами: высокой теплоизоляцией и способностью поддерживать осушающий режим в помещениях, не конденсируя влаги на поверхности и не повышая влагосодержания в стенах.

Номенклатура панелей из арболита включает прямоугольные изделия толщиной 200, 250, 300, 350 мм.

Арболит широко применяется в сельском жилищном строительстве. Эффективность использования арболита в качестве стенового материала обусловлена его малой средней плотностью, хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

В практике строительства в нашей стране нашли применение три типа конструктивных систем применительно к сельским домам усадебного типа: дома из мелкоштучных элементов; крупноблочные дома; крупнопанельные дома с панелями размером на комнату.

В настоящее время широкое распространение получило строительство крупноблочных домов из арболита 115 серии. Плотность арболита для изготовления блоков принята  $600...700 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $0,15...0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , прочность  $2,5...3,5 \text{ МПа}$ .

#### 6.1.2. Королит

Королит – разновидность арболита, полученная из смеси окорки, обработанной химическими веществами, цемента и воды. Состав смеси по расходу компонентов на  $1 \text{ м}^3$  уплотнённой массы для получения конструктивно-теплоизоляционного материала следующий, кг: дроблёная кора сухая –

300...320, портландцемент М400 – 380...420, минерализатор – 15,2...16,8, вода – 420...460.

Прочность королита при сжатии соответствует его марке и составляет 0,5...3,5 МПа при плотности в сухом состоянии 550...800 кг/м<sup>3</sup>. Предел прочности королита на растяжение при изгибе материала марки В2 составляет 0,5...0,7 МПа.

Увеличение теплопроводности королита при увлажнении на 1 % в пределах увлажнения до 20 % составляет 0,0043 Вт/(м·°С).

При строительстве зданий с применением королита необходимо защищать конструкции от увлажнения с помощью защитных фактурных растворов или водоотталкивающих покрытий. Максимальное водопоглощение королита в зависимости от средней плотности колеблется в пределах 70...110 %, его морозостойкость – не менее 25 циклов.

Кора несколько отличается от древесины, особенно содержанием водорастворимых веществ: в коре ели содержится всего 10...13 % водорастворимых веществ (в том числе сахаров 0,2...0,4 %), а в коре сосны – 10...12 % (в том числе сахаров 0,2...0,3 %). Среди этих веществ в коре большую долю занимают таниды. Таниды не оказывают отрицательного воздействия на прочность цементных систем, приготовленных с добавками дубильных веществ. Это происходит потому, что конденсированные таниды не растворяются в воде и слабых щелочах, а гидролизующие таниды содержат галловые кислоты, обладающие вяжущими свойствами. «Отравляющее» действие на цемент оказывают легкорастворимые сахара. Во время сплава древесины, хранения её с корой, а в дальнейшем при хранении коры отдельно от древесины часть сахаров вымывается или окисляется на воздухе, что играет положительную роль при использовании отходов окорки в качестве заполнителя. При длительном хранении во влажных условиях кора поражается плесневыми грибами, и материал получается непрочным, имеет гнилостный запах. В целях повышения биостойкости королита заполнитель обрабатывают 2 %-м раствором оксидифенолята натрия, что снижает прочность королита только на 5...8 %.

Для нейтрализации действия сахаров на цемент в королит, как и в арболит, вводится «минерализатор» – хлорид кальция (4...5 %).

Фракционный состав заполнителя оказывает значительное влияние на свойства материала. Лучшие результаты по прочности и средней плотности получены у королита, изготовленного на заполнителе 15/3, 10/2.

Природный состав заполнителя из коры существенно влияет на качество королита. Так, королит на основе сосны и лиственницы более прочен, чем королит на основе коры ели, так как кора ели содержит больше легкорастворимых сахаров.

Важным технологическим фактором, определяющим свойства королита, является степень уплотнения смеси: более высокие коэффициенты уп-

лотнения королитовых смесей можно получить прессованием. Однако при виброуплотнении с пригрузом получается достаточно плотный материал. Хорошие результаты получены при удельном давлении прессования 0,3...0,8 МПа и следующих параметрах виброуплотнения: пригруз – не менее 0,8 МПа; амплитуда колебаний – 0,8...1,2 мм, время вибрирования – не более 1 мин (при длительном вибрировании смесь расслаивается). Для предотвращения разуплотнения смеси при значениях коэффициента уплотнения в пределах 1,6 и выше необходимо принимать меры к фиксации достигнутой толщины запирающими крышками.

Технология производства королита следующая. Отходы окорки поступают на приёмный склад предприятия, затем их измельчают на мельницах, сепарируют на виброгрохотах, антисепарируют и через промежуточный склад направляют в бункер готового заполнителя по линии, а потом через дозатор – в бетономешалку для приготовления смеси. Далее процесс аналогичен практикуемому в цехах, где изготавливается арболит: укладывают нижний фактурный слой; устанавливают арматуру и закладные детали; укладывают королитовую смесь в верхний фактурный слой; уплотняют смесь; изделия подвергают термообработке, распалубливают и направляют на склад.

### 6.1.3. Фибролит

#### 6.1.3.1. Основные свойства фибролита

Фибролитовые плиты изготавливают из смеси специально нарезанной древесной стружки, портландцемента, химических добавок и воды. Применяют их в качестве теплоизоляционного, конструктивно-теплоизоляционного и акустического материала в строительных конструкциях зданий и сооружений с относительной влажностью воздуха в помещении не выше 75 %. Фибролитовые плиты относятся к трудногораемым и биостойким материалам.

Основной характеристикой цементного фибролита является средняя плотность. По этому показателю он делится на три марки: Ф-300, Ф-400 и Ф-500. От средней плотности зависят прочность, теплопроводность, стойкость, звукопоглощение и другие свойства фибролита. С увеличением плотности повышается прочность материала, снижается горючесть, но ухудшаются теплозащитные свойства.

В зависимости от назначения фибролитовые плиты подразделяются на марки: Ф-300 используется в качестве теплоизоляционных материалов; Ф-400 – теплоизоляционно-конструктивных и звукоизоляционных; Ф-500 – конструктивно-теплоизоляционных и звукоизоляционных.

Изготавливаются плиты следующих размеров: длина – 2400, 3000 мм; ширина – 600, 1200 мм; толщина – 30, 50, 75, 100, 150 мм.

Влажность плит, аттестованных по высшей категории качества, должна составлять не более 15 %. Коэффициент звукопоглощения плит марок Ф-400 и Ф-500 толщиной 30 мм, предназначенных для акустической отделки помещений, не должен быть менее: 0,11 при частоте колебаний 125 Гц, 0,3 – при 500 Гц, 0,59 – при 2000 Гц, 0,65 – при 8000 Гц.

Цементный фибролит является достаточно долговечным материалом, если он конструктивно защищён от непосредственных климатических воздействий. В большинстве конструкций такая защита от внешних климатических воздействий предполагает укладку слоя штукатурки или бетона.

Сырьём для производства фибролитовых плит являются древесина, портландцемент, минерализатор и вода.

Структура фибролита и его свойства в основном зависят от состава фибролитовой массы и могут регулироваться в сравнительно широких пределах при принятой технологии изготовления.

#### 6.1.3.2. Технология производства фибролита

Цехи по производству цементного фибролита строятся в основном в районах лесозаготовок, при домостроительных или деревообрабатывающих комбинатах.

Технологический процесс производства цементного фибролита заключается в следующем. Поступающую на производство древесину окоривают, после чего направляют на склад для выдержки. По окончании выдержки в течение нескольких месяцев на складе её разрезают на чураки длиной 500 мм, из которых затем на древошёрстных станках изготавливают древесную шерсть – узкие и тонкие полоски древесины длиной около 500 мм. Древесную шерсть пропитывают раствором минерализатора и смешивают в определённом соотношении с цементом, получая шихту, которую затем укладывают в формы, прессуют и выдерживают в течение определённого периода времени. Цемент схватывается и достигает прочности, при которой извлекаемые из формы плиты не разрушаются. У извлечённых плит обрезают неровности боковых и торцевых кромок. После этого плиты отправляют для дальнейшего вызревания и сушки (летом плиты складировать в цехе, зимой и осенью – в сушилке). По окончании сушки их рассортировывают и отправляют потребителям.

В нашей стране цементный фибролит выпускают в цехах трёх типов, технологические схемы которых примерно одинаковы:

- цехи малой производительности (до 20 тыс. м<sup>3</sup> плит в год);
- цехи с полуавтоматизированными поточными линиями (производительностью 79 тыс. м<sup>3</sup> плит в год);
- цехи, работающие на финском оборудовании.



### 6.1.3.3. Эффективная область применения цементного фибролита

Из цементного фибролита изготавливают плиты, имеющие следующие размеры: по длине – 2000, 2400, 3000 мм; по ширине – 500, 550, 1150 мм; по толщине – 25, 35, 50, 75 и 100 мм. По длине и ширине плит допускаются отклонения  $\pm 5$  мм, по толщине  $\pm 3$  мм, причём плиты в одной партии могут иметь только однозначные отклонения, только плюсовые или только минусовые.

Заводы выпускают в основном плиты размером 2400×550×75 мм. Последние должны быть прямоугольной формы – на 500 мм длины грани отклонения от прямого угла не могут превышать 3 мм. Плиты не должны иметь трещин, расслоений, глубоких впадин или выпуклостей, отколотых или надломанных ребёр и углов, комков непромешанного цемента, а также не покрытой цементным раствором древесной шерсти. На поверхности плит не должно быть высолов в виде белых пятен. Поверхностный слой плит не должен осыпаться.

Фибролитовые плиты изготавливают следующих видов:

- теплоизоляционные;
- конструкционные;
- конструктивные;
- акустические.

Применяют их для различных целей. Теплоизоляционные цементно-фибролитовые плиты марок Ф-300 используют для утепления ограждающих конструкций. Конструктивные фибролитовые плиты повышенной прочности марок Ф-400 и Ф-500 могут служить теплоизоляционным материалом для устройства наката перекрытий, перегородок и покрытий сельскохозяйственных и складских зданий, а также стен в деревянном стандартном домостроении.

Акустические цементно-фибролитовые плиты толщиной 35 мм как отделочный материал применяют в помещениях производственных и общественных зданий, где требуется специальная звукоизоляция (здания аэропортов, помещения машиносчетных станций, фойе театров, кинотеатров, кафе, рестораны и т.п.).

Акустические цементно-фибролитовые плиты используют в жилищном строительстве для звукоизоляции лестничных клеток, вестибюлей, холлов и т.п. При облицовке конструкций плиты устанавливают на некотором расстоянии от стен или потолков, так как коэффициент звукопоглощения облицовки в этом случае увеличивается.

Цементно-фибролитовые плиты используют в качестве конструктивно-теплоизоляционного заполнения в стандартных деревянных домах щитовой и каркасной конструкции (стены, перекрытия).

Фибролитовые плиты применяют и для утепления утончённых кирпичных и бетонных стен в сельскохозяйственных постройках различного

назначения. Эффективно использование цементно-фибролитовых плит в качестве опалубки при строительстве различных бетонных сооружений, их оставляют в конструкции, и они выполняют роль теплоизоляции.

Помимо широкого использования в сельском строительстве, цементный фибролит нашел применение в крупнопанельном жилищном и промышленном строительстве. В жилищном строительстве его используют в качестве теплоизоляционного слоя в стеновых панелях различных конструкций, для утепления чердачных перекрытий, совмещённых кровель, карнизных панелей, вентиляционных каналов и т.п. В промышленном строительстве цементный фибролит применяют для утепления различных покрытий, а также в целях утепления и звукоизоляции кирпичной кладки.

Для придания фибролитовым плитам повышенной прочности, а также с целью более эффективного их использования в облегчённых конструкциях покрытий зданий плиты усиливают с продольных сторон стальными профилями, либо армируют деревянными или железобетонными брусками.

Окрашивание поверхностей, облицованных акустическими цементно-фибролитовыми плитами, производится после установки плит и разделки швов. Для окрашивания могут использоваться красящие составы на основе поливинилацетатной эмульсии с добавлением различных пигментов. Окраску производят обычно за 2 раза.

#### 6.1.4. Цементно-стружечные плиты

Цементно-стружечные плиты – конструктивный листовой материал, обладающий рядом свойств основных компонентов цемента и древесины: высокой прочностью, влагостойкостью, трудной сгораемостью, биостойкостью, отсутствием токсичности, лёгкостью обработки. Эти свойства позволяют использовать ЦСП в качестве обшивки ограждающих конструкций (плит покрытий и перекрытий, панелей стен и перегородок) взамен традиционных листовых материалов – асбестоцемента, фанеры, древесных плит. Они могут быть применены также в качестве материала для огнестойких дверей, потолочной облицовки и подвесных потолков, для элементов фронтонов, крыш, полов и вентиляционных каналов.

Для производства ЦСП (дюрипанель) используется стружка, средняя длина которой должна быть по меньшей мере в 3 раза больше средней ширины. Оптимальные размеры стружки, мм: толщина – 0,3, длина – 25...31, ширина – 1,6...4,8.

При увеличении В/Ц от 0,5 до 0,9 плотность образцов ЦСП уменьшается незначительно, а предел прочности при изгибе снижается существенно. Если отношение В/Д увеличивать с 1,8 до 2,2, Ц/Д – соответственно с 3 до 4, то при перемешивании образуются комки, что приводит к неудовлетворительному настилу ковра по плотности. При меньших значениях В/Д получается рыхлая мелкодисперсная цементно-стружечная смесь, ко-

торая легко поддаётся укладке на поддоны формирующими машинами с воздушной сепарацией частиц. Преимущество данного метода формования ковра – возможность рационального распределения частиц по сечению плиты на одной позиции. Мелкие частицы образуют наружные, а более крупные – внутренние слои плиты, благодаря чему достигаются хорошее качество поверхности и высокая однородность структуры и плотности в пределах одной плиты.

Количество воды (В/Ц и В/Д) в цементно-стружечной смеси при изменении Ц/Д в пределах от 1,5 до 5 существенно влияет на реологические свойства смеси, качество укладки ковра и прочностные показатели плиты. При удовлетворительном качестве ковра практически весь цемент удерживается в виде тонкой плёнки из цементного теста на поверхности влажных стружек в процессе приготовления цементно-стружечной смеси и формования ковра. В процессе формования стружки не слипаются и не образуют комков, а при сепарировании сбрасываются на движущийся поддон как отдельные покрытые цементом частицы.

С целью нейтрализации экстрактивных веществ древесины и снижения их отрицательного воздействия на процессы твердения цемента используют различные химические добавки, в частности:  $Al_2(SO_4)_3 + CaCl_2 + ЖС$  (сульфат алюминия + хлорид кальция + жидкое стекло);  $Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 + ЖС$  (сульфат алюминия + известь + жидкое стекло);  $Fe_2(SO_4)_3 + CaCl_2 + Ca(OH)_2$  (сульфат железа + хлорид кальция + известь);  $Al_2(SO_4)_3 + CaCl_2$  (сульфат алюминия + хлорид кальция).

Процесс производства ЦСП включает следующие технологические стадии: хранение древесного сырья на лесобирже; нарезание стружки; гомогенизацию стружки в дробилках; приготовление цементно-стружечной смеси; фракционирование стружки, формование пакетов плит; прессование, отверждение плит, созревание, кондиционирование, конечную отделку (шлифование, отделка поверхностей лакокрасочными материалами).

ЦСП имеют среднюю плотность 1100...1400 кг/м<sup>3</sup>, размеры листов 1,2×3,2 м (1,25×3,6 м) и толщину 8...40 мм.

Плиты ЦСП выпускаются двух марок – ЦСП-1 и ЦСП-2. К первому типу плит предъявляются более высокие требования.

ЦСП также можно применять в качестве обшивок стеновых панелей.

### 6.1.5. Ксилолит

Ксилолит – разновидность лёгкого бетона на магниезиальном вяжущем и органическом целлюлозном заполнителе (древесные опилки или другие измельчённые целлюлозосодержащие частицы растительного происхождения – отсевки костры конопли, джута, кенафа).

Ксилолит несгораем и малотеплопроводен, достаточно морозостоек и водостоек, не боится ударов и выдерживает значительные нагрузки, имеет

высокий показатель на истирание. Что особенно важно для конструкции пола – ксилолит не скользит, будучи покрыт минеральными и растительными маслами, и при их воздействии не только не разрушается, а приобретает ещё бóльшую прочность.

Благодаря высокой прочности и совершенно незначительному истиранию ксилолитовые полы с успехом могут применяться в промышленном, жилищном и культурно-бытовом строительстве: на текстильных и прядильных фабриках, на пищевых, винодельческих и консервных производствах; в помещениях с интенсивным движением – в вестибюлях клубов, кинотеатров, столовых, в коридорах школ, детских садов, больниц и т.д. Особо эффективно применение ксилолитовых полов во взрывоопасных помещениях там, где необходимо иметь неискрящие полы.

По величине сопротивления истиранию ксилолит не уступает таким прочным материалам, как порфир, базальт, гранит. В зависимости от практической необходимости и технических возможностей он может быть, как монолитным (свободного формования), так и плиточным материалом (прессованным при значительном удельном давлении).

#### 6.1.5.1. Сырьевые компоненты для изготовления ксилолита

Составляющими ксилолита как искусственного строительного материала являются магнезиальное вяжущее, затворитель и органический наполнитель – древесные опилки.

Для улучшения таких свойств ксилолита, как сопротивление ударным нагрузкам и истиранию, уменьшения теплопроводности и гигроскопичности применяются минеральные добавки – асбест, тальк, измельчённый кварцевый песок или камень. Для придания ксилолиту требуемой окраски используют различные красители – пигменты.

Очень низкая растворимость и слабо выраженные основные свойства  $Mg(OH)_2$  по сравнению с известью, а также присутствие в затвердевшем растворе оксидов и хлоридов магния обуславливают нейтральный характер магнезиально-каустического цемента. Органические целлюлозные наполнители совершенно не разрушаются в изделиях на нём, цемент препятствует развитию микроорганизмов и мицелия.

Применение в качестве затвердителей магнезиально-каустических цемента, растворов хлористых солей, являющихся хорошей огнестойкой пропиткой, делает ксилолит с древесным наполнителем огнестойким материалом. Поэтому такой цемент имеет значительное преимущество перед другими минеральными вяжущими для производства материала, где в качестве органического наполнителя используются древесные опилки.

Использование магнезиально-каустических цемента для получения ксилолита вызвано следующими соображениями. Цементы, содержащие в своём составе едкую известь, при длительном воздействии на органические

вещества – древесные опилки – постепенно разрушают их. Образующиеся при этом продукты распада (легкогидролизуемые вещества и гемицеллюлоза), в свою очередь, отрицательно воздействуют на вяжущие вещества (известь, портландцемент). Разрушение органических целлюлозных заполнителей, а затем и вяжущего усугубляется развитием в щелочной среде бактерий.

Магнезиальное вяжущее готовят из каустического магнезита и его заменителя – полуобожжённого доломита.

Каустический магнезит получают обжигом природного магнезита при 750...850 °С с последующим измельчением полученного продукта в тонкий порошок; при этой температуре происходит диссоциация карбоната магния:



Магнезиально-каустический цемент можно получить также из электронного шлака, содержащего более 32 % MgO.

При затворении каустического магнезита водой процессы гидратации протекают чрезвычайно медленно, поэтому его затворяют водными растворами MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub> или других солей, увеличивающих растворимость оксида магния.

Каустический магнезит хорошо твердеет только при положительных температурах (не ниже 12 °С). Это очень гигроскопичный материал (может гидратироваться за счёт поглощения влаги из воздуха), поэтому его доставляют на строительство в запаянных металлических барабанах или в особой бумажной таре.

Магнезиальные вяжущие материалы характеризуются хорошим сцеплением с органическими заполнителями (древесные опилки, стружка), причём последние не подвергаются разложению и загниванию. Каустический магнезит применяют для изготовления ксилолита, фибролита, пеномагнезита, а также магнезиальных штукатурных растворов.

Каустический доломит получают обжигом природного доломита CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> при температуре 650...800 °С; при этой температуре происходит диссоциация карбоната магния (каустический магнезит). Карбонат кальция при этом не разлагается и является инертным материалом, поэтому каустический доломит по качеству уступает каустическому магнезиту. Каустический доломит – заменитель более дорогого каустического магнезита – может применяться там же, где и последний.

Плотность магнезиально-каустического цемента должна быть 3,1...3,4 г/см<sup>3</sup>.

Ксилолит, полученный на основе каустического магнезита, обладает большей прочностью, чем ксилолит на основе полуобожжённого доломита. Начало схватывания должно наступить не ранее чем через 20 мин, а конец – не позднее 6 ч с момента затворения.

Каустический доломит получают неполным обжигом доломита-сырца при температуре выше температуры диссоциации карбоната кальция (около 700 °С). Плотность каустического доломита должна быть 2,78...2,85 г/см<sup>3</sup>.

Прочность ксилолита увеличивается пропорционально содержанию каустического вяжущего в смеси, однако при этом растёт и теплопроводность материала, что отрицательно влияет на свойства последнего.

Для максимального использования вяжущих свойств магнезиально-каустического цемента его затворяют не водой, а основными растворами MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>. В качестве затворителя вяжущего широко применяется технический хлорид магния – бишофит (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O).

Для затворения магнезиального цемента могут использоваться также отходы производства травильных цехов в смеси с серной кислотой, дисульфат натрия, хлорид цинка, нитрат магния, карнолит, или магнезиальная рапа солевых озёр.

Так как магнезиальное вяжущее затворяют не водой, а растворами солей, его прочность зависит не только от водомagneзитового отношения (понятие, аналогичное водоцементному), но и от массового соотношения магнезита и введённой соли.

Для производства ксилолита используются главным образом опилки лесопиления как наиболее однородные по форме (структуре) и крупности, не содержащие примесей в виде коры и щепы. Опилки, направляемые на производство ксилолита, должны быть просеяны на виброгрохотах через сито с ячейками 5 мм.

В качестве добавок, улучшающих свойства ксилолита, применяются асбест (повышает сопротивление покрытия ударным нагрузкам), трепел (понижает теплопроводность), измельчённый кварцевый песок или камень (повышает прочность и сопротивление поверхности к истиранию) и тальк (повышает водостойкость).

В качестве красителей, используемых для окраски фактурного слоя ксилолита, широкое распространение получили следующие пигменты: железный сурик, мумия (красный цвет), охра, сиена (жёлтый цвет), кобальт (синий цвет). В ксилолитовую массу краска добавляется в количестве 5 % от общей массы сухих компонентов. Минеральные пигменты-красители для ксилолита должны быть тонкомолотыми, однородными по составу, без посторонних включений, стойкими к действию света, щелочей и соляной кислоты.

#### 6.1.5.2. Технология ксилолита

Технология производства прессованного ксилолита сводится к следующим процессам. Исходные компоненты для изготовления материала хранятся в складах: магнезиально-каустический цемент – в силосах, опилки – под навесом, хлорид магния поставляется в металлических барабанах,

краски и добавки поступают на крытые склады. Со складов сырья компоненты, обработанные соответствующим образом, поступают в дозировочно-смесительное отделение. Магнезиальное вяжущее подаётся пневмотранспортом после тонкого измельчения; подсушку опилок совмещают с процессом пневмотранспортирования при пневматической подаче их со склада, используя в качестве теплоносителя нагретый воздух. Раствор  $MgCl_2$  готовят плотностью 1,21 в металлических баках, покрытых изнутри асфальтовым лаком, во избежание коррозии используется трубопровод из оцинкованных труб. Для обеспечения ритмичного поступления в производство исходных материалов в дозировочно-смесительном отделении устраиваются соответствующие расходные бункеры, оборудуемые автоматическими весами.

Средний расход материалов для изготовления  $1\text{ м}^3$  прессованного ксилолитового изделия составляет, кг:

магнезиально-каустический цемент	640
древесные опилки крупностью 2...5 мм (при влажности 15 %)	560
раствор $MgCl_2$ плотностью 1,21, $\text{кг/м}^3$	640
краски-пигменты	56

Важным и наиболее ответственным процессом в технологии производства ксилолита является приготовление формовочной массы, которое осуществляется в следующей последовательности. Сначала в растворомешалку загружают и в ней перемешивают магнезиально-каустический цемент и краску, в полученную массу добавляют и замешивают опилки. Приготовленная таким образом сухая смесь затворяется раствором  $MgCl_2$  и снова тщательно перемешивается. Продолжительность перемешивания сухих компонентов составляет 30...40 с и еще 60...90 с после затворения раствором  $MgCl_2$ . Общая продолжительность цикла с учётом времени, затрачиваемого на загрузку и выгрузку растворомешалки, равняется 3,5 мин.

Приготовление формовочной массы обычно осуществляется в растворомешалке. Готовая масса выгружается в объёмный дозатор, откуда выдаётся в формы. Форма представляет собой жёсткую разъёмную раму из двух оцинкованных металлических листов толщиной 6 мм. Ввиду значительной упрессовки массы (порядка 35 % первоначального объёма) при наборе пакета и прессовании пользуются рамой-подставкой.

Ксилолитовые плиты для пола прессуются на гидравлических прессах, причём осуществляется прессование всего пакета (40...50 плит), набранного в прессовой вагонетке. Цех оборудуется кран-балкой для механизации транспортировки форм и изделий в соответствии с установленной технологией. Формы с запрессованными плитами не могут быть раскрыты до затвердевания магнезиально-каустического цемента. Естественное протекание этого процесса привело бы к увеличению количества форм и вагонеток, к расширению производственных площадок. Для ускорения процесса

твердения и сокращения цикла формования ксилолитовых плит их подвергают термообработке в специальных камерах при температуре 30...40 °С с последующим медленным остыванием до температуры 15...18 °С. Продолжительность двух циклов термообработки составляет 24 ч.

После термообработки ксилолитовые плиты затвердевают и могут быть распалублены. Освободившиеся формы, очищенные и смазанные, транспортируются кран-балкой в формовочное отделение. Плиты подаются к фрезерному отделению, где их рёбра обрабатывают на фрезерных станках со специальными фрезами. После обработки плиты выкладываются в металлическую этажерку для осуществления процесса выщелачивания (в течение 12...24 ч) – удаления избыточных солей магния в ваннах с циркулирующей подогретой водой.

Выщелоченные ксилолитовые плиты в этажерках направляются в камерные сушила с многократным насыщением, где высушиваются в течение 32...24 ч при 60...70 °С. Подъём температуры выше 60...70 °С не рекомендуется во избежание коробления плит и снижения их прочности. Заключительной операцией процесса производства ксилолитовых плит является их механическая обработка для придания изделиям точных размеров, правильной формы и хорошего внешнего вида (фрезеровка, шлифовка, полировка воском и маслом). При необходимости плиты разрезаются на станках карборундовыми дисками или алмазными пилами толщиной 3 мм. От размеров плит существенно зависят трудоёмкость их изготовления и устройство пола.

### 6.1.5.3. Эффективная область применения ксилолита

Ксилолит используется для устройства монолитных полов, чаще двухслойных (нижний слой более тощего состава, отличающийся большей упругостью, предохраняет верхний слой от появления трещин); толщина каждого слоя 10 мм. Толщина однослойного пола 10...15 мм. Монолитные ксилолитовые полы устраиваются по выровненной бетонной подготовке не ниже М500.

## 6.2. Древесно-полимерные композиционные материалы

В современной мебельной отрасли для удешевления выпускаемой продукции массивную древесину в виде пиломатериалов заменяют древесные композиционные материалы, получаемые путём предварительного деления древесины и последующего её склеивания.

Древесно-полимерные композиционные материалы (ДПК) – искусственные многокомпонентные материалы, состоят из древесных структурных элементов, соединённых друг с другом полимерной матрицей и вклю-



чают, при необходимости, другие химические добавки и физические структурные элементы.

По данным ФАО ООН («Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций»), к концу 20 века мировое производство древесных композиционных материалов в объёмных единицах уже превосходило производство сталей, пластмасс и алюминия.

Материалы, полученные на основе переработки натуральной древесины, соединённые синтетическими смолами, называют также древесными пластиками.

Идею древесно-полимерных композитов можно представить следующим образом: круглое и не вполне однородное по свойствам бревно разделяется на фрагменты меньшего размера, которые затем вновь соединяются в другие, технологически более удобные формы.

После дезинтеграции худшие фрагменты материала могут быть изъяты или более равномерно распределены внутри композита.

Первым индустриальным ДПК можно считать листовую клееную фанеру, производство которой было организовано в 19 веке из строганого и лущёного древесного шпона и природных клеев. Однако важнейшей технической и экономической предпосылкой для развития производства ДПК стало изобретение и освоение производства синтетических полимеров, в первую очередь фенолоформальдегидных смол.

В первой половине прошлого века ДПК широко применялись в автомобилестроении, самолетостроении, вагоностроении, судостроении, в производстве разнообразных станков и машин, во второй его половине на основе ДПК начинается индустриальное производство деревянных домов и мебели. Сегодня ДПК считаются в мире одним из наиболее современных и передовых направлений среди конструкционных материалов.

Наряду с синтетическими, в ДПК используют связующие матрицы из природных полимеров, а также различных комбинированных (смесь термопластичных и термореактивных полимеров).

Кроме используемых в ДПК традиционных пород древесины, растёт интерес к применению других целлюлозосодержащих материалов – бамбука, тростников, соломы, конопли, отходов производства льна, шелухи зерновых культур, стеблей хлопчатника, ореховых скорлуп, различных видов соломы и т.д.

В качестве наполнителей в ДПК могут использоваться самые разнообразные искусственные и природные вещества в различных формах (крупноразмерные, листовые, волокнистые, дисперсные, мелкодисперсные, микродисперсные, наночастицы).

В зависимости от исходного материала различают массивные клееные материалы (из пиломатериалов), слоистые (из шпона), комбинированные (сочетание пиломатериалов и шпона), клееные (из стружек и волокон).

## 6.2.1. Древесностружечные плиты

### 6.2.1.1. Классификация древесностружечных плит

Древесностружечные плиты (ДСП) можно классифицировать по способу прессования, конструкции плиты, виду измельчённой древесины, типу применяемого связующего, физико-механическим свойствам и другим признакам.

По способу прессования ДСП подразделяются на плиты плоского и экструзионного прессования. Плиты плоского прессования изготавливают с приложением прессующего усилия перпендикулярно пласти (рис. 4, а); плиты экструзионного прессования – путём выдавливания осмолённой стружки между двумя обогреваемыми плитами с приложением прессующего усилия параллельно пласти (рис. 4, б).

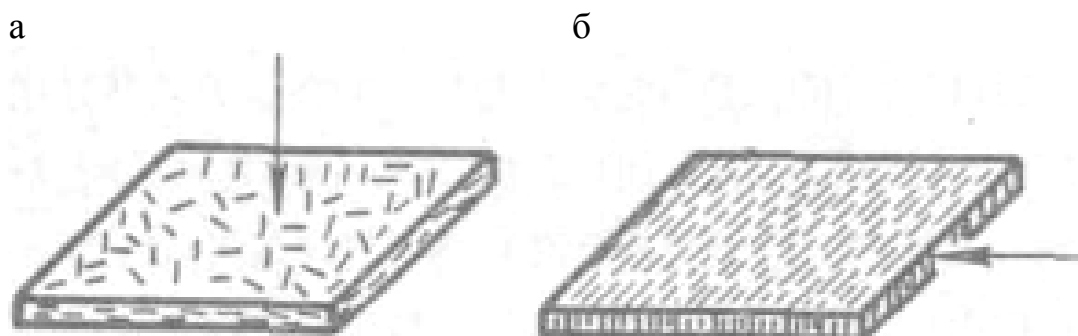


Рис. 4. Направление усилия прессования при изготовлении ДСП:  
а – плоского прессования; б – экструзионного прессования

При плоском прессовании древесные частицы расположены в плоскости плиты. Такие плиты в зависимости от степени ориентации стружек имеют одинаковую или разную прочность вдоль и поперёк плиты, наибольшее разбухание при увлажнении в направлении прессования, т.е. по толщине плиты. При экструзионном прессовании древесные частицы расположены перпендикулярно плоскости плиты. Прочность таких плит вдоль пласти (в направлении прессования) ниже, чем поперёк, и значительно меньше в обоих направлениях по сравнению с прочностью плит плоского прессования. Однако при облицовывании даже одним слоем шпона или бумагой прочность плит экструзионного прессования значительно возрастает.

ДСП выпускают шлифованные с двух сторон или нешлифованные, необлицованные и облицованные. Плиты плоского прессования могут быть однослойными, трёхслойными, пятислойными и многослойными, плиты экструзионного прессования – однослойными, сплошными и многопустотными (с внутренними каналами), облицованными лущёным или строганым шпоном или бумагой.

В однослойных плитах размеры древесных частиц и содержание связующего одинаковые по всей толщине плиты. В трёхслойных и пятислойных плитах один или оба наружных слоя изготавливаются из более тонких частиц с повышенным содержанием связующего. Внутренний слой в трёхслойных плитах выполнен из более грубых частиц с меньшим содержанием связующего по сравнению с остальными слоями плит, а в пятислойных плитах в среднем слое используют самые грубые частицы с корой. Эти плиты имеют гладкие наружные поверхности и характеризуются высокой прочностью. В многослойных плитах размер частиц постепенно возрастает от поверхности к середине плиты. Поверхностные слои многослойных плит формируют из тонких частиц с большим содержанием связующего, а внутренний слой – из грубых частиц с меньшим содержанием связующего. Однако в отличие от трёхслойных плит, в которых границы между наружными и внутренними слоями резко выражены, в многослойных плитах таких границ нет.

Для облагораживания поверхности, а также для повышения прочности плиты облицовывают. Плиты облицовывают одним или двумя слоями лащёного или строганого шпона, бумагой, пропитанной синтетическими смолами, синтетическими плёнками (поливинилхлоридными, полиэтиленовыми и др.), бумажно-слоистым пластиком.

Для получения плит применяют специально изготовленную стружку, которую получают на стружечных станках, стружку-отходы и опилки. Плиты из специально изготовленной стружки имеют гладкую поверхность и высокую прочность. У плит из стружки-отходов менее гладкая поверхность, они уступают по прочности плитам из специально изготовленной стружки. Плиты из опилок имеют сравнительно гладкую поверхность, но отличаются наименьшей прочностью.

Для изготовления плит используют связующие на основе карбамидоформальдегидных, фенолоформальдегидных и карбамидомеламиноформальдегидных смол.

ДСП с применением карбамидоформальдегидных связующих считаются гидрофобными. Однако они сохраняют прочность и восстанавливают первоначальные размеры лишь при воздействии холодной или тёплой (температура не более 60 °С) воды и теряют её при дальнейшем нагревании во влажной среде. Кроме того, эти плиты не сохраняют прочность в переменных влажностно-температурных условиях (увлажнение – сушка – увлажнение – сушка и т.д.). Вследствие наличия свободного формальдегида плиты более устойчивы к действию насекомых и грибов, чем древесина.

Плиты с применением фенолоформальдегидных связующих характеризуются высокой водоупорностью. В отличие от плит на карбамидоформальдегидных связующих они даже при одновременном воздействии влаги и тепла (кипячение) и последующей сушке теряют свою прочность незна-

чительно. Кроме того, их можно эксплуатировать в переменных влажно-температурных условиях.

Наличие в плитах кроме свободного формальдегида также и свободного фенола обеспечивает их ещё более повышенную стойкость к воздействию насекомых и грибов. Однако при применении фенолоформальдегидных смол происходит пятнистое потемнение древесины и создаются вредные условия работы. Продолжительность прессования плит на фенолоформальдегидных связующих больше по сравнению с плитами на карбамидоформальдегидных связующих. Вследствие указанных недостатков, а также из-за дефицитности и высокой стоимости фенола плиты на фенолоформальдегидных связующих изготавливают в ограниченном количестве на отдельных предприятиях.

Плиты на карбамидомеламиноформальдегидных связующих имеют высокие прочность и гидрофобность при нормальной температуре и кипячении. Как и плиты на фенолоформальдегидных связующих, эти плиты можно эксплуатировать в переменных влажно-температурных условиях. Карбамидомеламиноформальдегидные смолы не меняют цвета древесины, менее токсичны, не имеют запаха. Широкое их применение ограничивается вследствие дефицитности и высокой стоимости меламина. Поэтому на карбамидомеламиноформальдегидных смолах изготавливают только плиты специального назначения в ограниченном количестве. С ростом выпуска меламина и снижением его стоимости выпуск плит на таких смолах может быть значительно увеличен.

По плотности плиты можно разделить на плиты малой плотности (до  $550 \text{ кг/м}^3$ ), средней плотности ( $550 \dots 750 \text{ кг/м}^3$ ) и высокой плотности (свыше  $750 \text{ кг/м}^3$ ). Плиты малой плотности используются как изоляционный материал или в изделиях, не несущих нагрузки, и их выпускают в небольших количествах. Основным видом ДСП являются плиты средней плотности, применяемые в изделиях, несущих нагрузки. Плиты высокой плотности изготавливают в малом количестве и используют для устройства полов и других специальных целей.

Плиты выпускают двух типов: с нормальным и пониженным разбуханием. Для уменьшения разбухания и водопоглощения в плиты в процессе изготовления вводят специальные гидрофобные добавки. Плиты с такими добавками называют гидрофобированными.

#### 6.2.1.2. Физико-механические свойства древесностружечных плит

**Физические свойства ДСП.** При применении ДСП в различных отраслях народного хозяйства и промышленности большое значение имеют такие показатели свойств ДСП, как плотность, разбухание, водопоглощение, гигроскопичность, равновесная влажность, огне- и биостойкость.

*Цвет плит* зависит от породы древесины, вида связующих, наличия коры в древесных частицах, условий обработки и других факторов. При применении карбамидо- и карбамидомеламинформальдегидных смол плиты сохраняют естественный цвет древесины. Использование фенолоформальдегидных смол придаёт им коричневый (пятнистый) оттенок. Наличие коры, особенно крупных частиц, нарушает однородность цвета плиты. Длительная термическая обработка готовых плит приводит к потемнению их поверхности.

*Шероховатость поверхности* является следствием того, что поверхность ДСП образуется большим количеством древесных частиц, между которыми имеются неплотности (щели). Кроме того, частицы, лежащие на поверхности плит, не сплошным слоем закрывают частицы, лежащие под ними. В результате поверхность плит получается чешуйчатой.

Шероховатость поверхности ДСП зависит от вида и размеров древесных частиц, из которых они получены от способа прессования и вида обработки. Плиты, изготовленные из тонкой и плоской стружки, отличаются более гладкой и ровной поверхностью по сравнению с плитами, изготовленными из толстой стружки. Наиболее гладкая поверхность у плит, наружные слои которых произведены из волокна, волокнистой стружки или мельчайших древесных частиц и пыли. Поверхность необлицованных плит плоского прессования менее шероховата по сравнению с плитами экструзионного прессования.

*Покоробленность* ДСП является следствием нарушения симметричности их слоёв относительно нейтральной плоскости. К таким нарушениям относятся различия толщины, влажности, плотности и фракционного состава стружки в симметрично расположенных слоях, а также неправильное хранение плит. При соблюдении технологии производства ДСП покоробленность не превышает 1...2 мм.

*Плотность* существенно влияет на физико-механические свойства ДСП.

В трёхслойных и многослойных плитах свойства наружных и внутренних слоёв плит различны. Даже в однослойных плитах к середине плотность уменьшается, а в трёхслойных и многослойных плитах это различие еще больше.

*Абсолютная влажность.* Влажность ДСП обычно составляет 5...10 %. При увеличении содержания связующего в плитах с 6 до 12 % равновесная влажность плит снижается почти на 20 %. С повышением температуры среды равновесная влажность плит уменьшается.

*Влагопоглощение, или гигроскопичность,* ДСП является показателем их способности поглощать пары воды из воздуха. Величина влагопоглощения, как и водопоглощения, определяется отношением массы впитавшихся в плиту паров воды к первоначальной массе плиты. Степень поглощения па-

ров воды из воздуха зависит от его температуры и относительной влажности, а также от вида ДСП, плотности и массы плит, количества связующего, вида измельчённой древесины и от наличия гидрофобных добавок. Чем больше плотность плит и содержание в них связующего, тем меньше влагопоглощение.

*Водопоглощение* характеризует способность ДСП поглощать воду и определяется отношением массы впитавшейся в плиту воды к начальной массе плиты. Величина водопоглощения ДСП зависит от плотности плит, размеров стружки, вида и количества связующего и от наличия гидрофобных добавок.

С увеличением плотности плит водопоглощение снижается. Это объясняется тем, что в плитах большей плотности количество пор (внутренних пустот) меньше, чем в плитах меньшей плотности. Поэтому водопоглощение плит высокой плотности происходит главным образом вследствие проникновения влаги внутрь клеток, а этот процесс протекает значительно медленнее, чем заполнение влагой пор.

Водопоглощение плит из специально изготовленной стружки выше, чем плит из стружки-отходов. Это объясняется тем, что толстая стружка-отходы в большей степени покрыта плёнкой связующего, затрудняющего проникание влаги в древесину по сравнению с тонкой, специально изготовленной стружкой, имеющей значительно большую поверхность. Вследствие несовершенства конструкции смесителей не обеспечивается равномерное распределение связующего по всей поверхности древесных частиц. Поэтому при смешивании со связующим смеси стружки различной фракции и пыли основная часть связующего попадает на мелкую стружку, а крупная остаётся недостаточно покрытой плёнкой связующего.

С увеличением расхода связующего водопоглощение резко уменьшается, так как древесные частицы в большей степени обволакиваются плёнкой связующего.

При введении в стружечную массу гидрофобных добавок водопоглощение плит уменьшается примерно в два раза и более.

Водопоглощение плит экструзионного прессования выше, чем водопоглощение плит плоского прессования, вследствие разницы в содержании связующего в них. Оно также уменьшается с увеличением их плотности аналогично уменьшению водопоглощения плит плоского прессования. Так, при увеличении плотности плит экструзионного прессования с 600 до 800 кг/м<sup>3</sup> водопоглощение уменьшается со 100...125 до 70...95 %.

*Разбухание (набухание)* – свойство кондиционированных плит увеличивать свои размеры после выдержки в воде или во влажной среде. Разбухание плит в различных направлениях происходит по-разному. Это зависит от строения плиты, определяемого способом ее прессования. Экструзион-

ные плиты разбухают в основном в направлении прессования, а плиты плоского прессования – по толщине.

Разбухание ДСП плоского прессования по длине и ширине составляет 0,3...1,0 % (при выдержке в воде в течение 24 ч). Экструзионные плиты разбухают по длине больше, чем плиты плоского прессования. Однако разбухание и этих плит после их облицовывания шпоном находится в пределах 1...4 %.

Разбухание ДСП зависит от их плотности и содержания в плитах связующего. При увеличении содержания связующего уменьшается разбухание вследствие большего обволакивания древесных частиц плёнкой связующего, препятствующего проникновению воды внутрь древесных частиц. Таким образом, влияние связующего на разбухание идентично его влиянию на водопоглощение. С увеличением плотности водопоглощение плит уменьшается, а разбухание возрастает. В плитах с высокой плотностью в процессе их прессования деформирование и упрессовка древесных частиц больше, чем в плитах с малой плотностью. Под влиянием воды, поглощённой плитами, изменяются форма древесных частиц и их распрессовка. Тем самым нарушается их первоначальная структура, что выражается увеличением толщины плит.

Если в процессе изготовления ДСП вводят гидрофобные добавки, то величина разбухания таких плит по толщине резко падает и составляет примерно 5...15 %.

*Тепловые свойства* ДСП характеризуются коэффициентами теплопроводности и температуропроводности, удельной теплоёмкостью и коэффициентом температурного расширения.

Коэффициент теплопроводности ДСП возрастает с увеличением их плотности и влажности.

При повышении температуры плит наблюдается увеличение коэффициента их теплопроводности, особенно в интервале температуры 20...60 °С. Коэффициент температуропроводности плит плотностью 500...800 кг/м<sup>3</sup> при температуре 20 °С и влажности 6...10 % находится в пределах  $9,7 \cdot 10^{-8} \dots 11 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с, а удельная теплоёмкость – 1,68...1,88 кДж/(кг °С). С повышением влажности плит их удельная теплоёмкость возрастает.

Увеличение удельной теплоёмкости ДСП по мере повышения их влажности объясняется различной теплоёмкостью древесины и воды. Как известно, удельная теплоёмкость воды значительно выше, чем древесины. В результате этого при повышении влажности плит, соответствующем увеличению в них количества воды, возрастает удельная теплоёмкость.

С увеличением температуры растёт и удельная теплоёмкость древесины.

*Звукоизолирующая способность* ДСП характеризует снижение звука при его прохождении через плиту.

ДСП плотностью 500...700 кг/м<sup>3</sup> в пределах нормируемого спектра частот (100...3200 Гц) имеют звукоизолирующую способность, плиты плотностью 800 кг/м<sup>3</sup> при высоких частотах (3100...3200 Гц) не имеют такой способности.

*Биостойкостью* ДСП называется способность их противостоять разрушающему действию грибов и насекомых. Стойкость ДСП к воздействию различных грибов и насекомых зависит от биостойкости древесины и связующего, из которых изготовлены плиты, а также от вида разрушителей.

Древесные породы, применяемые в производстве ДСП, отличаются низкой стойкостью к воздействию грибов, особенно берёза и осина. Биостойкость связующих зависит от содержания в них токсичных веществ. Наиболее распространённые в производстве плит связующие на основе карбамидоформальдегидных смол содержат карбамид и формальдегид. Карбамид не является токсичным веществом, а формальдегид в основном находится в связанном состоянии. Количество свободного формальдегида, как правило, не превышает 0,3 %, что недостаточно для придания ДСП биостойкости. Значительно большей биостойкостью отличаются связующие на основе фенолоформальдегидных смол. В этих связующих содержится некоторое количество свободного фенола, обладающего значительной токсичностью. Однако связующие на основе фенолоформальдегидных смол сравнительно мало применяются в производстве плит.

Биостойкость ДСП выше биостойкости натуральной древесины и древесноволокнистых плит, но всё же недостаточна и ограничивает применение ДСП в народном хозяйстве. Для повышения биостойкости в древесную массу в процессе производства вводят антисептики.

*Огнестойкость* ДСП. Огнестойкость ДСП выше, чем натуральной древесины и древесноволокнистых плит. Это объясняется наличием на древесных частицах тонкой плёнки связующего, благодаря чему детали из ДСП могут более длительное время, чем натуральная древесина, противостоять огню. Для повышения огнестойкости в древесные частицы вводят антипирены, хотя большинство из них отрицательно влияет на прочность плит. При введении антипиренов ДСП становятся трудновоспламеняемыми и даже трудносгораемыми. Чтобы сохранить прочность при одновременном повышении огнестойкости, применяют поверхностное покрытие плит огнезащитными составами. Плиты с такими покрытиями могут быть отнесены к трудносгораемым материалам.

**Механические свойства** ДСП в основном определяют область их применения. В настоящее время из этих свойств стандартом нормируют только пределы прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно пласти и твёрдость. Для ряда же областей применения плит большое значение имеют модуль упругости при статическом изгибе, пре-



делу прочности при растяжении и сжатии, сопротивление плит выдёргиванию шурупов и гвоздей и др.

*Предел прочности при статическом изгибе ДСП.* Предел прочности при статическом изгибе считается важным показателем механических свойств плит, так как в большинстве случаев плиты работают на изгиб. Предел прочности при статическом изгибе зависит от ряда факторов, прежде всего от способа прессования плит. Прочность необлицованных плит экструзионного прессования значительно меньше прочности плит плоского прессования. Однако в результате облицовки плит одним слоем шпона прочность их вдоль волокон облицовочного слоя приближается к прочности плит плоского прессования, хотя и значительно уступает последним по прочности поперёк волокон. Для повышения прочности плит экструзионного прессования вдоль и поперёк плит их облицовывают двумя слоями шпона с каждой пласти.

Существенно влияют на прочность ДСП их плотность и вид древесных частиц, из которых они изготовлены. При увеличении плотности плит предел их прочности повышается, так как увеличивается количество древесных волокон на единицу объёма плиты. Таким образом, наиболее прочные плиты получают из специально изготовленной плоской стружки. Несколько уступают им по прочности плиты, изготовленные из отходов фанерного производства. В этом случае дроблёнка, как и специально изготовленная стружка, имеет плоскую форму, но большую толщину. Прочность плит из стружки-отходов и особенно из опилок намного ниже, что объясняется значительным перерезанием в них древесных волокон, которые придают плитам прочность.

Значительное влияние на прочность плит при статическом изгибе оказывает их влажность. Если принять прочность плит при влажности 8 % за 100 %, то уменьшение влажности до 2 % приводит к увеличению их прочности на 8 %, а повышение влажности до 16 % – к снижению прочности на 22 %.

На прочность плит влияет также конструкция ДСП (число слоёв). Предел прочности при статическом изгибе многослойных плит выше примерно на 13 %, а трёхслойных – на 19 %, чем однослойных (при прочих равных условиях). Поэтому выпускают в основном трёхслойные и многослойные ДСП. Важно также расположение стружки в плоскости плиты: целесообразна ориентация древесных частиц в плите для повышения её прочности при статическом изгибе. Предел прочности плит при статическом изгибе вдоль направления ориентации больше примерно на 50 %, а поперёк меньше на 10 % по сравнению с плитами, изготовленными при тех же условиях, но без ориентации.

*Ударная вязкость ДСП* характеризует их способность сопротивляться динамическим нагрузкам. Необходимость знания этого показателя выяви-

лась в связи с расширением области применения плит и особенно в связи с их широким использованием в строительстве в качестве материала для полов.

Ударная вязкость ДСП ( $\text{Дж/м}^2$ ) зависит от их типа. Ударная вязкость трёхслойных плит плоского прессования в основном колеблется в интервале 2900...8800  $\text{Дж/м}^2$ , а ударная вязкость сплошных плит экструзионного прессования, облицованных одним слоем шпона, немного ниже и колеблется в интервале 3400...7350  $\text{Дж/м}^2$ .

*Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти* ДСП характеризует качество склеивания между собой древесных частиц.

Поскольку при растяжении перпендикулярно пласти решающим условием является прочность склеивания древесных частиц, необходимо учитывать влияние на это различных технологических факторов. Предел прочности плит плоского прессования при растяжении перпендикулярно пласти в большой степени зависит от их плотности, с повышением которой резко возрастает. Такая закономерность объясняется увеличением площади контакта стружки по мере повышения степени сжатия стружечного ковра при получении плит высокой плотности.

Вид древесных частиц также влияет на предел прочности ДСП при растяжении перпендикулярно пласти. Наибольшая прочность обеспечивается при использовании специально изготовленной стружки, а наименьшая – опилок. Стружка-отходы занимает промежуточное положение между специально изготовленной стружкой и опилками. Предел прочности плит при растяжении перпендикулярно пласти зависит от вида древесных частиц меньше, чем предел прочности при статическом изгибе. Это можно объяснить тем, что при статическом изгибе основную разрушающую нагрузку принимают на себя волокна древесины. Поэтому значительное перерезание волокон в стружке-отходах и особенно в опилках резко снижает предел прочности при статическом изгибе. При растяжении перпендикулярно пласти основные разрушающие усилия направлены на разрыв клеевых соединений древесных частиц и в значительно меньшей степени воспринимаются древесными волокнами, так как большая часть древесных частиц в плитах плоского прессования расположена параллельно плоскости плиты.

Одним из основных технологических факторов, влияющих на предел прочности ДСП при растяжении перпендикулярно пласти, является содержание связующего в плитах.

На прочность плит при растяжении перпендикулярно пласти существенно влияет их влажность. Если принять прочность плит при 8 % за 100 %, то как при уменьшении влажности до 2 %, так и при повышении её до 16 % прочность плит снижается примерно на 15 %.

*Предел прочности при растяжении вдоль пласти* ДСП. На предел прочности при растяжении вдоль пласти плиты большое влияние оказыва-

ют её плотность и вид измельчённой древесины, из которой она изготовлена. Значения предела прочности при растяжении вдоль пласти плиты (МПа) приведены ниже:

✓ для плит из специально изготовленной стружки:	
– при плотности, кг/м <sup>3</sup> :	
• 500...600	7...10
• 600...700	10...13
• 700...800	13...16
✓ для плит из стружки-отходов:	
– при плотности, кг/м <sup>3</sup> :	
• 500...600	5...7
• 600...700	7...9
• 700...800	9...12

*Твёрдость* ДСП (МПа) имеет большое значение при их применении в качестве материала для пола, а также при облицовывании плит бумагами, пропитанными синтетическими смолами. Твёрдость в основном зависит от плотности плиты, особенно плотности наружных слоёв плит. Твёрдость ДСП плоского прессования составляет (МПа): 0,2...0,4 – при плотности 600...700 кг/м<sup>3</sup>; 0,3...0,5 – при плотности 700...800 кг/м<sup>3</sup>.

*Истираемость* характеризуется способностью поверхности плит сопротивляться постепенному царапанию, что особенно важно при использовании ДСП в качестве материала для полов. Истираемость ДСП, изготовленных из мягколиственных пород древесины, составляет (мкм): 60...120 – при плотности 600...700 кг/м<sup>3</sup>; 80...140 – при плотности 700...800 кг/м<sup>3</sup>.

*Удельное сопротивление выдёргиванию шурупов*, Н/мм, характеризует способность ДСП удерживать ввинченные в них шурупы. Большое влияние на удельное сопротивление плит выдёргиванию шурупов оказывают способ прессования и направление завинчивания шурупов. Удельное сопротивление ДСП выдёргиванию шурупов также зависит от вида древесных частиц и плотности плит. С повышением плотности увеличивается сопротивление плит выдёргиванию шурупов, что объясняется большей упаковкой частиц в плитах высокой плотности. На сопротивление выдёргиванию шурупов влияет также содержание связующего в плитах.

*Удельное сопротивление выдёргиванию гвоздей* (МПа) характеризует способность ДСП удерживать забитые в них гвозди. Удельное сопротивление выдёргиванию гвоздей, как и шурупов, зависит от способа прессования плит и направления, в котором забиты гвозди. На удельное сопротивление выдёргиванию гвоздей большое влияние оказывает плотность плит.

### 6.2.1.3. Применение древесностружечных плит

Древесностружечные плиты применяют в строительстве для отделки помещений, устройства ограждений, оснований под полы и для звукоизоляции. Коэффициент звукопоглощения экструзионных древесностружечных плит плотностью 350... 500 кг/м<sup>3</sup> для диапазона частот 600...900 Гц составляет 0,5...0,7. Там, где возможно увлажнение, следует применять только гидрофобизованные или защищённые покрытиями плиты. Применять плиты в помещениях с повышенной влажностью не рекомендуется.

Древесностружечные плиты, покрытые прозрачной или полупрозрачной цветной поливинилхлоридной плёнкой, используют для изготовления щитовых дверей.

Во многих случаях плиты являются составной частью трёхслойных панелей. В этом случае обшивками служат сверхтвёрдые древесноволокнистые плиты, а средним слоем – древесностружечные. Такие панельные конструкции, обладающие высокой прочностью и отличными теплозвукоизоляционными свойствами, идут на строительство стандартных малоэтажных домов. Древесностружечные плиты, полученные на малотоксичных смолах разных типов, используют для устройства встроенных шкафов, антресолей, перегородок и т. п. При отделке потолков и стен общественных зданий древесностружечные плиты покрывают бесцветным лаком. Древесностружечные плиты могут с успехом применяться для устройства сплошного основания под кровлю из рулонных или плиточных материалов.

### 6.2.1.4. Основные моменты технологического процесса производства древесностружечных плит

Технологический процесс производства ДСП включает следующие основные операции: складирование древесины и сортировку древесного сырья по видам и породам; гидротермическую обработку и окорку древесины; разделку древесного сырья по длине и диаметру; измельчение древесины; измельчение стружки, сушку измельчённой древесины; сортировку измельчённой древесины; приготовление рабочего раствора смолы, отвердителя и добавок; дозирование и смешивание компонентов связующего, гидрофобных и антисептических добавок и измельчённой древесины; формирование стружечного ковра или пакетов; подпрессовку (предварительное уплотнение) стружечного ковра или пакетов; прессование плит; обрезку по формату, выдержку; калибрование и шлифование плит; сортировку и складирование плит.

В зависимости от вида применяемого сырья и требуемых конструкции и качества плит некоторые из перечисленных операций могут быть исключены или, наоборот, введены дополнительные.

## 6.2.2. Древесноволокнистые плиты

### 6.2.2.1. Классификация древесноволокнистых плит

Древесноволокнистые плиты (ДВП) – листовой материал, изготовленный в процессе горячего прессования или сушки массы из древесного волокна, сформированного в виде ковра. Древесные волокна – это мелкие древесные частицы, представляющие собой отдельные клетки, их обрывки или группы клеток древесины. В зависимости от принятой технологической схемы производства получают различные виды древесноволокнистых плит.

Древесноволокнистые плиты классифицируют по следующим основным признакам:

– по плотности:

- мягкие – плотностью 100...400 кг/м<sup>3</sup>; обладают большой пористостью и малой теплопроводностью;
- полутвёрдые (ПТ) – плотностью 400...800 кг/м<sup>3</sup>; такие плиты можно сравнить с толстым картоном;
- твёрдые (Т) – плотностью более 800 кг/м<sup>3</sup>; характеризуются высокими показателями физико-механических свойств;
- сверхтвёрдые (СТ) – плотностью более 950 кг/м<sup>3</sup>; показатели физико-механических свойств таких плит выше, чем у твёрдых;

– по способу производства:

- мокрого;
- сухого;
- полусухого;
- мокросухого.

В нашей стране плиты выпускают преимущественно по мокрому (без добавки связующего вещества) и сухому (требующий введения в измельченную древесину 4...8 % синтетической смолы) способам производства. При сухом способе волокнистая масса перед формованием подсушивается;

– по внешнему виду (твёрдые и полутвёрдые плиты):

- односторонней гладкости (при мокром способе производства лицевая сторона гладкая, а обратная – сетчатая);
- двусторонней гладкости (при сухом способе производства);

– по виду лицевой поверхности:

- с необлагороженной лицевой поверхностью;
- с лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;
- с подкрашенным лицевым слоем;
- с подкрашенным лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;
- с рельефным рисунком (фактурная поверхность); с профилированной поверхностью;

– по механической обработке:

- рустованные с продольными и поперечными канавками;
- перфорированные с круглыми или щелевидными отверстиями;
- шлифованные и нешлифованные;

Рустованные и перфорированные плиты получают в результате механической обработки твёрдых или сверхтвёрдых плит.

– по назначению:

- общего назначения;
- для изготовления деталей к автомобилям;
- для покрытия полов;
- для устройства санитарно-технических кабин и др.;

– по специальным свойствам:

- огнестойкие;
- биостойкие;
- атмосферостойкие;
- звукопоглощающие;

– по виду отделки:

- с эмалевым покрытием;
- облицованные синтетическими плёнками;
- облицованные декоративной бумажно-смоляной плёнкой и т.п.

В настоящее время принята более общая классификация древесноволокнистых плит, а именно в зависимости от назначения их подразделяют на твёрдые и мягкие.

Твёрдые плиты в зависимости от прочности и вида лицевой поверхности подразделяют на марки:

Т – твёрдые плиты с необлагороженной лицевой поверхностью;

Т-С – твёрдые плиты с лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;

Т-П – твёрдые плиты с подкрашенным лицевым слоем;

Т-СП – твёрдые плиты с подкрашенным лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы;

СТ – твёрдые плиты повышенной прочности (сверхтвёрдые) с необлагороженной лицевой поверхностью;

СТ-С – твёрдые плиты повышенной прочности (сверхтвёрдые) с лицевым слоем из тонкодисперсной древесной массы.

Твёрдые плиты марок Т, Т-С, Т-П, Т-СП в зависимости от значения показателей физико-механических свойств подразделяют на группы качества: А и Б. Мягкие плиты в зависимости от плотности подразделяют на марки: М-1, М-2 и М-3.

#### 6.2.2.2. Свойства древесноволокнистых плит

Древесноволокнистые плиты изготавливают из неделовой, в основном низкокачественной древесины и древесных отходов. Хотя эти плиты представляют собой анизотропный материал, который имеет неодинаковые свойства в различных направлениях, они обладают более высокими показателями физико-механических свойств по сравнению с материалами, из которых изготавливают плиты.

Различают общие, физические, механические, технологические, биохимические и временные свойства древесноволокнистых плит.

**Общие свойства.** К общим свойствам относятся: размеры, цвет и характеристика поверхности древесноволокнистых плит.

Размеры плит, предназначенных для экспорта, устанавливают по спецификациям в соответствии с условиями поставок товаров для экспорта, с учётом возможностей изготовителя.

*Цвет плит* коричневый: от светлого до тёмного тона. При поверхностной окраске плит в процессе мокрого способа производства могут быть получены и другие цвета.

*Шероховатость лицевой поверхности* твёрдых плит находится в диапазоне 15...31 мкм. Средние размеры макронеровностей на поверхности плит составляют, мм: длина – 15...50, ширина – 12...15, глубина – 0,15...0,25.

**Физические свойства.** К физическим свойствам относятся: плотность, влажность, водопоглощение, разбухание, усадка, линейное удлинение, теплопроводность, звукопоглощение и др.

*Плотность* – это масса плиты в единице объёма. Плотность древесноволокнистых плит составляет 100...1100 кг/м<sup>3</sup>. Плотность твёрдых плит (800...1100 кг/м<sup>3</sup>) несколько выше, чем плотность сухого дерева.

Поглощение воды за счёт адсорбции составляет 5...6 % от абсолютно сухой древесноволокнистой массы. При влажности воздуха около 100 % и комнатной температуре (18...20 °С) твёрдая древесноволокнистая плита поглощает капиллярно-конденсированной влаги до 25 %, а в целом плита достигает влажности около 30 %. Этот показатель, который называют точкой насыщения волокон, у сверхтвёрдых плит, пропитанных смесью таллового и льняного масел, вдвое ниже, чем у твёрдых. Наиболее интенсивное влагопоглощение из воздуха происходит в первые 40...45 суток. При разной влажности воздуха у древесноволокнистых плит разная равновесная влажность, %: при влажности воздуха 20 % – 2...3, при 50...60 % – 7...10, при 80 % – 11...13, при 97 % – около 27.

Гигроскопичность плит зависит от технологического режима их изготовления – степени помола массы, температуры и продолжительности прессования, режима термообработки. Например, с повышением степени помола гигроскопичность плит увеличивается.

*Водопоглощение* – способность плит поглощать воду при погружении в неё при температуре  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ ; определяется отношением (в %) массы поглощённой воды к первоначальной массе плиты. Водопоглощение сопровождается разбуханием по толщине.

*Разбухание* – свойство плит увеличивать свои размеры при нахождении в воде или влажной среде. Эта величина определяется отношением (в %) прироста толщины к первоначальной толщине образца.

При водопоглощении и разбухании влага проникает главным образом через пласти плиты; через кромки увлажнение осуществляется лишь на очень малой зоне по периметру образца плиты шириной до 10 мм. Интенсивное водопоглощение твёрдых плит при погружении в воду наблюдается в первые 6...10 суток; по истечении 14 суток этот процесс значительно замедляется, а к 40 суткам практически прекращается.

Плиты, как и древесина, представляют собой пористую систему. В плите содержится огромное количество микрокапилляров диаметром  $10^{-3} \dots 10^{-5}$  см. С увеличением плотности плиты уменьшаются количество микрокапилляров и их размеры. Плотность также влияет и на другие свойства плит. Например, с повышением плотности плит увеличивается их прочность и уменьшается водопоглощение, что повышает их эксплуатационную способность как конструкционного материала.

Плиты с малой плотностью (мягкие плиты) имеют наибольшее количество микрокапилляров, поэтому у них слабые прочностные показатели, но зато высокие показатели теплоизоляционных свойств, так как воздушные прослойки обладают низкой теплопроводностью.

*Влажность* – это содержание влаги в плите, определяемое отношением массы влаги к абсолютно сухой массе древесины в плите и выраженное в процентах. При длительном нахождении древесноволокнистой плиты в определённых атмосферных условиях, т.е. при определённой влажности воздуха, плита имеет соответствующую влажность.

*Гигроскопичность* – способность поглощать влагу из воздуха, что происходит в результате процессов адсорбции и капиллярной конденсации. Адсорбция – это свойство поверхностного слоя вещества или материала к поглощению. Капиллярная конденсация – образование жидкости в капиллярах, порах, микротрещинах пористых тел за счёт разности давлений. Этот процесс – следующая стадия после адсорбции.

Если водопоглощение и разбухание после первых суток вымачивания плиты составляет соответственно около 30 и 20 %, то после 40 суток – около 70 и 45 %.

Интенсивность водопоглощения плит зависит как от физико-механических свойств плиты, так и от температуры воды.

*Линейное удлинение* – изменение длины плиты по её пласти; это свойство зависит от гигроскопичности плит. Изменение размеров плит по дли-



не в зависимости от их гигроскопичности может составлять: для плит длиной 3 м – около 1 мм при поглощении плитой из воздуха 1 % влаги.

*Теплопроводность* – способность плит проводить теплоту от более нагретых поверхностей к менее нагретым. Коэффициент теплопроводности характеризуется количеством теплоты (Дж), проходящей в течение 1 ч через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup>, при разности температур между наружной и внутренней поверхностями в один градус; выражается коэффициент в Вт/(м·К).

Теплопроводность – важная характеристика древесноволокнистых плит как материала, используемого в строительных конструкциях.

Мягкие древесноволокнистые плиты обладают высокими теплоизоляционными свойствами. Даже коэффициент твёрдых плит несколько ниже, чем древесины сосны.

*Звукопоглощение* – степень поглощения звука древесноволокнистой плитой; *звукоизоляция* – ослабление звука при его проникновении через ограждающие конструкции.

Для снижения уровня различных видов шума применяют акустические материалы, которые подразделяются на звукопоглощающие и звукоизоляционные. Звукопоглощающие материалы предназначены для снижения уровня шума в помещении за счёт поглощения падающей на них звуковой энергии, звукоизоляционные – для ослабления шума, передающегося через ограждающие конструкции зданий из одного помещения в другое. Чем больше пористость материала, тем больше его звукопоглощение. Для звукопоглощения используют перфорированные материалы.

В качестве звукопоглощающих материалов применяют панели из древесноволокнистых плит, конструкция которых состоит из твёрдой перфорированной (акустической) плиты, установленной на лицевой стороне, и мягкой плиты.

Древесноволокнистые плиты обладают и хорошей звукоизоляцией в конструкциях междуэтажных перекрытий, во внутренних стенах и перегородках.

**Механические свойства.** К механическим свойствам древесноволокнистых плит относятся: прочность на изгиб, на растяжение параллельно и перпендикулярно пласти, модуль упругости, твёрдость и др.

*Прочность ДВП на изгиб* – один из основных нормируемых показателей, зависящий при обычной технологии изготовления от плотности материала.

Для мягких плит предел прочности при изгибе составляет 0,4...2 МПа, для полутвёрдых – 10...22 МПа, для твёрдых – 33...50 МПа. При увеличенном расходе вяжущего или специальной пропитке плит этот показатель может быть увеличен.

Прочность на растяжение параллельно и перпендикулярно пласти плит, модуль упругости и твёрдость – для большинства выпускаемых древесноволокнистых плит не нормируемые показатели, однако их часто используют для дополнительной характеристики твёрдых и сверхтвёрдых плит.

*Предел прочности при растяжении параллельно пласти* составляет 0,6...0,8  $R_{изг}$ .

*Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти* ДВП зависит от плотности, а также от степени помола волокон, условий формирования ковра, прессования плит и других технологических факторов и составляет 0,07...0,8 МПа.

*Модуль упругости при изгибе*, МПа составляет: при изгибе плит мягких – 170...880, твёрдых – 2860...5600, сверхтвёрдых – 5600...7000 МПа.

Для плит специального назначения номенклатура показателей механических свойств может быть значительно расширена (модуль упругости при растяжении, ударная вязкость, коэффициент поперечной деформации и модуль сдвига, влияние длительной нагрузки и т.п.).

**Технологические свойства.** Эти свойства характеризуются податливостью при обработке резанием, способностью к пробиванию гвоздями, склеиваемостью, возможностью обработки поверхности с применением различных видов отделки.

Податливость при обработке резанием зависит от следующих факторов: физико-механических свойств материала и резца, геометрических параметров резца, режимов и размеров обработки. Плотность твёрдых и сверхтвёрдых древесноволокнистых плит выше плотности древесины, поэтому при пилении плит сила резания больше, чем при пилении древесины. Кроме того, в плитах содержатся химические добавки, поэтому дереворежущий инструмент испытывает условия совместного механического, химического и абразивного изнашивания. Учитывая эти условия, для обработки древесноволокнистых плит резанием применяют пилы с вставным зубом из быстрорежущей стали или твёрдого сплава, например вольфрамокобальтовые металлокерамические твёрдые сплавы.

*Способностью к пробиванию гвоздями* обладает большинство ДВП. Однако сверхтвёрдые плиты трудно пробиваются, поэтому предварительно в них сверлят отверстия или применяют гвоздезабивной инструмент.

*Склеиваемость* древесноволокнистых плит хорошая. Они могут склеиваться между собой, с древесиной, линолеумом и даже с листовыми металлами (алюминиевой фольгой, оцинкованным железом). Для холодного склеивания используют карбамидный, силикатно-битумный, цементно-казеиновый клеи, поливинилацетатную эмульсию, холодные битумные мастики. При склеивании мягких плит, обладающих большой пористостью, в клеющие материалы добавляют наполнитель, например древесную муку. При горячем склеивании плит применяют карбамидные и феноло-

формальдегидные связующие. Твёрдые плиты перед склеиванием прошлифовывают.

Поверхность ДВП легко подвергается различным видам отделки. Плиты можно оклеивать бумажными и синтетическими обоями, плёнками, тканями. Твёрдые и мягкие плиты хорошо окрашиваются масляными, вододисперсионными и различными синтетическими эмалями. Отделку твёрдых плит можно осуществлять декоративным бумажно-слоистым пластиком, строганым или лущёным шпоном.

**Биохимические свойства.** К ним относятся: биостойкость, огнестойкость, стойкость к различным химикатам и т. п.

*Биостойкость* характеризует способность ДВП противостоять разрушающему действию микроорганизмов (грибов). Во время эксплуатации плит в замкнутом пространстве, особенно при неблагоприятном температурно-влажностном режиме, при непосредственном контакте с кирпичными стенами, железобетонными изделиями, цементной штукатуркой, под влиянием появляющегося конденсата на них развивается грибная флора. Мягкие ДВП разрушаются быстрее вследствие большой пористости. Около 10 % мягких плит, используемых в строительстве, поражается грибами через 3...4 года. Плиты, изготовленные по мокрому способу производства, меньше обрастают плесневыми грибами, чем плиты, полученные сухим способом. Твёрдые и сверхтвёрдые ДВП мокрого способа производства поражаются дереворазрушающими грибами идентично натуральной древесине.

Древесноволокнистые плиты, предназначенные для строительных конструкций, работающих в условиях увлажнения, требуют специальной биохимической защиты.

*Огнестойкость* характеризует способность древесноволокнистых плит выдерживать без разрушения воздействия высоких температур. По степени огнестойкости материалы подразделяют на группы: негорючие (несгораемые), не способные к горению в воздухе; трудногорючие (трудносгораемые), способные возгораться на воздухе от источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления; горючие (сгораемые), способные самовозгораться, а также возгораться от источников зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Древесноволокнистые плиты, как и все древесные материалы, горючи. Для придания плитам огнестойкости в древесноволокнистую массу вводят антипирены или осуществляют поверхностную защиту плит.

*Стойкость древесноволокнистых плит к воздействию различных химикатов* не одинакова. Твёрдые плиты обладают высокой стойкостью по отношению к слабым кислотам и щелочам, концентрированным органическим кислотам, спиртам, растительному и минеральному маслам, углеводородам, но они не стойки по отношению к концентрированным неорганическим кислотам, концентрированным щелочам. При воздействии послед-

них происходит набухание плит. Сверхтвёрдые плиты более стойкие к воздействию химикатов.

### 6.2.2.3. Применение древесноволокнистых плит

Древесноволокнистые плиты находят широкое применение во всех отраслях народного хозяйства, особенно в строительстве и производстве мебели.

**Строительство.** Древесноволокнистые плиты – эффективный конструкционно-отделочный материал. Их широко используют в малоэтажном строительстве, деревянном домостроении, в инвентарных (временных) зданиях и сооружениях в качестве облицовочного материала для стен, потолков, межэтажных перекрытий, внутренних перегородок. Для этих целей применяют все виды плит.

Мягкие плиты – это, как правило, теплоизоляционный материал, но они могут быть использованы и как отделочный. Плиты со специальными свойствами применяют для настила полов и устройства оснований под различные покрытия полов. Твёрдые плиты толщиной 4 мм предназначены для изготовления дверных полотен внутри зданий. Водостойкие плиты могут быть использованы для санитарно-технических кабин (ванных комнат, душевых).

В малоэтажном деревянном домостроении под надёжную дощатую обшивку можно подшивать твёрдые ДВП, которые обеспечивают непродуваемость стен

В жилищном и общественном строительстве используют щитовые двери и встроенную мебель, изготовленные с применением древесноволокнистых плит.

Твёрдые древесноволокнистые плиты толщиной 8...10 мм, облицованные антиадгезионной плёнкой, и с торцами, покрытыми водостойким составом, успешно заменяют деревянную и металлическую опалубку в сооружениях из монолитного железобетона.

**Производство мебели.** Из твёрдых и полутвёрдых плит изготавливают конструкционные элементы мебели: задние стенки шкафов и тумб; нижние полки у диванов, выдвижные ящики, полки, боковины шкафов, перегородки, спинки кроватей, основания изделий для лежания и многие другие.

ДВП применяют для гнutoкклееных деталей, внешние слои которых изготавливают из строганого шпона ценных пород.

**Производство тары.** Твёрдые древесноволокнистые плиты, обладающие высокой прочностью, большой ударной вязкостью, применяют в производстве тары. Для того чтобы качество плит не снижалось под воздействием влаги, их обрабатывают гидрофобизирующим составом или наносят на поверхность водостойкое покрытие.

Тару из твёрдых ДВП используют в промышленности: пищевой в виде ящиков и лотков для упаковки и перевозки овощей и фруктов, хлебобулочных изделий, конфет и других продуктов питания; химической в виде коробов и барабанов для транспортирования сыпучей и пастообразной продукции; металлообрабатывающей в виде ящиков для упаковки небольших деталей: катушек, трубок, роликов и других деталей, а также в других отраслях промышленности, например мебельной, электротехнической, парфюмерной и др.

**Машиностроение.** Твёрдые плиты мокрого способа производства применяют для внутренней облицовки или в качестве закладных деталей у автомобилей, автобусов, троллейбусов, трамваев, пассажирских вагонов, речных судов и других видов машин и оборудования.

**Радио- и электротехническая промышленность.** Сверхтвёрдые плиты обладают высокими диэлектрическими свойствами, поэтому они находят применение для изготовления электропанелей, щитков и т.п.

#### 6.2.2.4. Способы производства древесноволокнистых плит

Существующие способы производства древесноволокнистых плит в зависимости от условий формирования ковра и прессования плит можно разделить на четыре вида:

- мокрый (МС), при котором осуществляется мокрое формирование ковра и мокрое прессование плит;
- сухой (СС), заключающийся в сухом формировании ковра и сухом прессовании плит;
- полусухой (ПСС), сочетающий в себе элементы сухого (сухое формирование ковра) и мокрого способов (мокрое прессование плит);
- мокросухой (МСС), при котором происходит мокрое формирование ковра и сухое прессование плит.

Принято условно называть:

- ✓ мокрое формирование (МФ) – процесс, когда древесноволокнистый ковёр формируют в водной среде путём отсоса и отжима воды из древесноволокнистой массы;
- ✓ сухое формирование (СФ) – процесс, когда древесноволокнистый ковёр формируют в воздушной среде путём отсоса воздуха из высушенной древесноволокнистой массы;
- ✓ мокрое прессование (МП) – процесс, при котором горячее прессование древесноволокнистого полотна осуществляют на подкладной сетке, обеспечивающей отвод отжимаемой воды и удаление большого количества пара;
- ✓ сухое прессование (СП) – процесс, когда горячее прессование древесноволокнистого полотна производят непосредственно между плитами пресса без подкладной сетки, поскольку количество удаляемого пара небольшое.

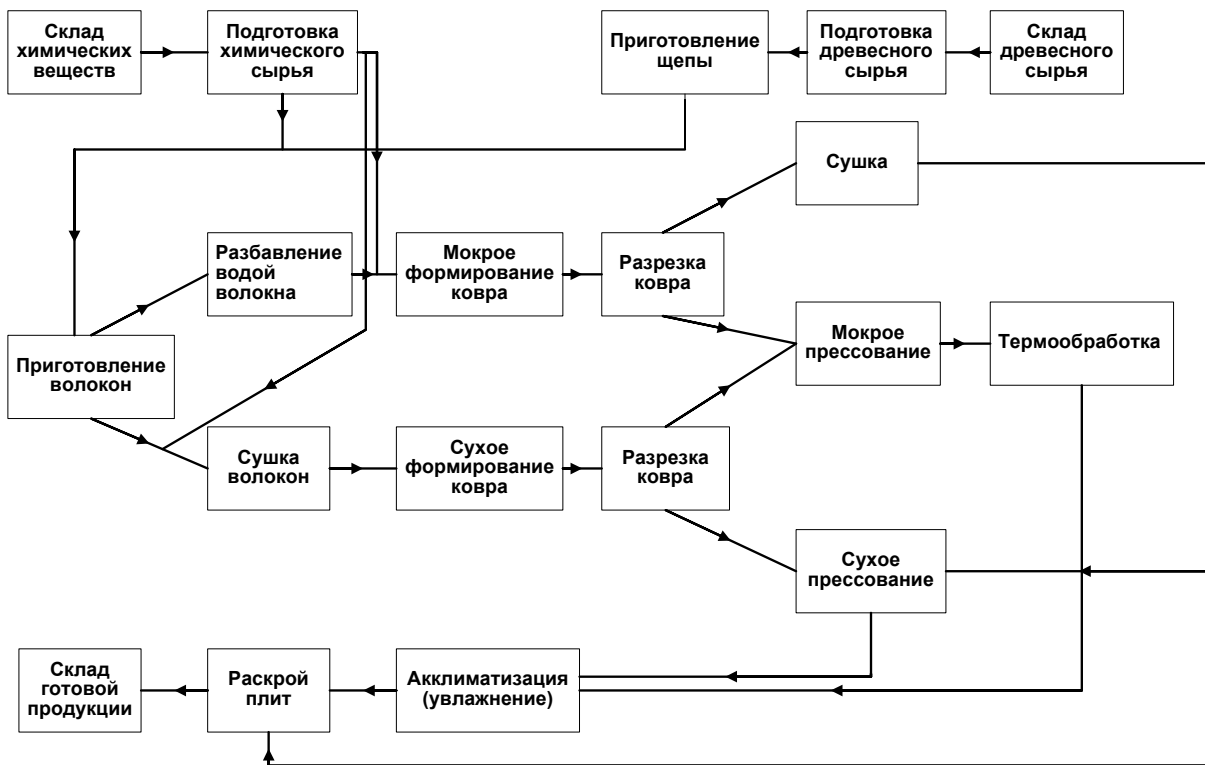


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема изготовления ДВП

### 6.2.3. MDF-панели

#### 6.2.3.1. Общая характеристика MDF-панелей

MDF-панели (middle density fibreboard – среднеплотное волокнистое покрытие) – это древесноволокнистая плита средней плотности, изготовленная из высушенных древесных волокон, обработанных синтетическими связующими веществами и сформированных в виде ковра, с последующим горячим прессованием (плотностью 700...870 кг/м<sup>3</sup>) и шлифовкой. MDF-плита производится из очень мелких древесных опилок. Частицы дерева скрепляются лигнином и парафином (рис. 6, 7).



Рис. 6. MDF-панели



Рис. 7. Структура MDF-плиты

Лицевая поверхность панелей из древесных материалов отделывается либо лакированным шпоном из ценных пород дерева, либо соответственным образом окрашенной и покрытой меламином бумагой, а также бумгосмоляной плёнкой, плёнкой ПВХ (поливинилхлорид). Защитный лаковый слой и меламин предотвращают образование устойчивых загрязнений и проникновение влаги в тело панели, спасают от воздействия ультрафиолета, поэтому панели не выцветают даже при попадании на них прямых солнечных лучей. И то, и другое покрытие не притягивает пыль и считается гигиеничным. Рисунки могут быть самые различные: под дерево, мрамор, камень, абстрактные, орнаменты и т.д. Очень популярна облицовка плит MDF ламинатом. Покрытие из ламината делает плиту MDF более долговечной, а разнообразные расцветки и фактуры покрытия способны удовлетворить самому взыскательному вкусу.

Панели, покрытые меламином, можно мыть, используя мягкие моющие средства. Лаковое покрытие обильно смачивать не рекомендуется, его обычно протирают чуть влажной тряпочкой или губкой. Трудновыводимые пятна с меламиновой или лаковой поверхности удаляются с помощью слабого растворителя. При этом нельзя использовать абразивы или сильные растворители.

Выпускаются также панели с антистатичным слоем с добавлением минеральных частиц (корунда), что не только придает поверхности оптический эффект, но и повышает их износостойкость (рис. 8).

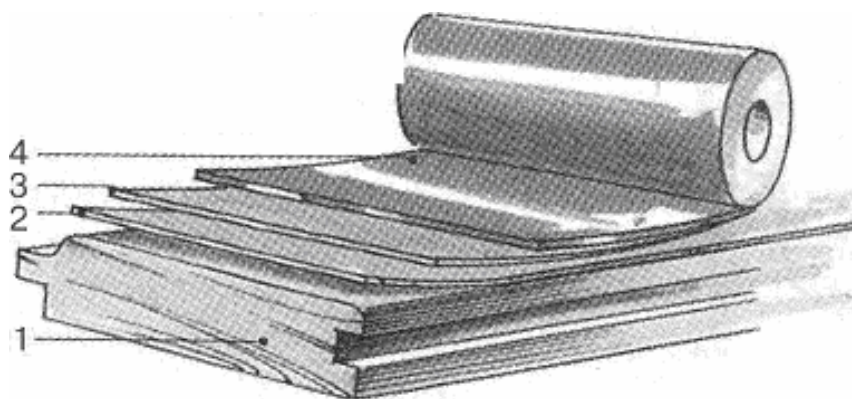


Рис 8. Наборные панели фирмы HDM со специальной облицовкой поверхности по методу ELESKO:  
1 – MDF; 2 – бумага с декором; 3 – антистатичный слой с добавлением минеральных частиц (корунда)

Панели могут быть отделаны также текстилем или высококачественными бумажными или виниловыми обоями, которые наклеиваются на плиты с помощью специального клея. Такие декоративные панели обеспечивают хорошую изоляцию тепла и звукопоглощение.

Для панелей ведущих производителей характерны стабильность и повторяемость цвета. Причём различаются они не только по цвету и фактуре, среди представленного ассортимента можно выбрать длину и профиль панелей. Используя панели «паз – гребень» (с укрупнённой расшивкой), можно без особых усилий и профессиональных навыков оригинально оформить интерьер. Панели «паз – паз» (с независимой расшивкой) требуют более тщательного монтажа, но большое разнообразие декоративных элементов и планок даёт больше свободы в оформлении интерьера. Стильно и необычно смотрится разноцветная расшивка панелей. Совершенно новое веяние – это закруглённый кант со всех четырёх сторон, позволяющий достичь исключительной гармонии рисунка.

#### *Основные виды MDF-панелей.*

В настоящее время по способу декоративной отделки плиты MDF подразделяются на три основных вида: ламинированные, шпонированные и окрашенные.

Ламинирование панелей осуществляется покрытием их лицевой поверхности плёнкой ПВХ. Плёнка может быть как матовой, так и глянцевой, как однотонной, так и с рисунком, имитирующим натуральную древесину или природный камень. Процесс ламинирования проходит на прессе, где плёнка ПВХ под давлением приклеивается к плите-основе. MDF-панели такого вида износостойки, антистатичны, устойчивы к воздействию солнечного света и химических веществ.

Шпонирование или фанерование панелей – это процесс приклеивания к плите МДФ шпона ценных пород древесины. Иногда фанерование проводится с использованием технологии интарсии – сочетания нескольких видов шпона. Полученные изделия внешне выглядят так же, как изготовленные из древесного массива, при этом обладают рядом преимуществ: они не коробятся, не рассыхаются, имеют более высокие показатели по влагостойкости и долговечности.

Окрашивание панелей производится красками или эмалями, обладающими хорошей растекаемостью, эластичностью и придающими изделиям не только привлекательный внешний вид, но и высокую стойкость к механическим и физическим воздействиям. Краска может наноситься как вручную, так и с помощью автоматического оборудования.

Помимо этого, панели из MDF могут подвергаться рельефной отделке, позволяющей придать им более привлекательный декоративный вид. Фрезеровка панелей выполняется на специальных станках и используется при изготовлении фасадов мебели и стеновых панелей.



Новым решением стало производство рельефных 3D-панелей для облицовки стен, создания офисных перегородок и декоративных изделий для украшения офиса. Завершающим этапом при изготовлении таких изделий является их внешняя отделка – любым из трёх вышеперечисленных способов. Особенно эффектно выглядят объемные шпонированные панели: сочетание различных форм поверхности и естественной текстуры древесины даёт потрясающие результаты.

Панели крепятся к обрешётке специальными скобами (кляймерами), которые прикручиваются шурупами с их тыльной стороны. Есть два основных классических способа установки наборных панелей. Первый – соединение скрытой вставной раскладкой (в этом случае панели приставляются вплотную друг к другу). Второй – соединение видимой вставной раскладкой (между панелями остаётся небольшой зазор). Популярностью пользуется также установка панелей: промежуточными декоративными рейками и так называемая комбинированная – с горизонтальным, вертикальным и наклонным расположением панелей.

Следует помнить, что если на стену, облицованную панелями, необходимо будет навесить тяжёлое оборудование, то его придётся крепить с помощью длинных шурупов либо к обрешётке, либо непосредственно к капитальной стене.

#### *Свойства и характеристики MDF-плит.*

Плотность выпускаемых плит MDF находится в пределах от 600 до 1200 кг/м<sup>3</sup>.

По своим механическим свойствам MDF не уступает, а даже превосходит дерево. Так, для того чтобы согнуть и сломать плиту, необходимо приложить давление более 10...15 МПа. Данный показатель прочности позволяет использовать материал не только в качестве плоских панелей, но при необходимости гнуть плиты, изготавливать из них закругленные фасады и другие элементы. Панели MDF выдерживают достаточно большие нагрузки, на них можно вешать шкафчики, картины. MDF-плита трудногорючая (выпускаются огнеупорные MDF-панели), биостойкая, атмосферостойкая и дешевле дерева. Применяется в основном для фасадных элементов и для корпусов мебели.

Что касается уровня влагостойкости и устойчивости к перепадам температур, то и здесь материал показывает себя с лучшей стороны: он не разбухает под действием влаги, не коробится. В связи с этим стало возможным применять материал в самых различных областях и местах, в частности на кухне для сборки фасадов, фартуков для кухни. С точки зрения гигиеничности он также отвечает высоким стандартам: древесноволокнистые панели невосприимчивы к микроорганизмам, грибкам, в том числе и к плесени. Водостойкость панелей на основе MDF делает их пригодными для использования в ваннных комнатах и кухнях, что отмечено соответствующо-

щим знаком на вкладыше упаковки («капля воды»), при этом они пригодны для мокрой уборки.

Стоит упомянуть и такой немаловажный факт, что в производстве стеновых панелей на основе MDF не используются вредные для здоровья эпоксидные смолы и фенол. А значит, стеновые панели на основе MDF можно применять в местах с повышенными требованиями к гигиене, например в комплектах детской и кухонной мебели. Плиты MDF – отличный экологически чистый материал для производства экологичной, долговечной, прочной и красивой мебели. Класс эмиссии (выделение свободного формальдегида со 100 г массы) для любого сорта MDF – E1, т.е. не превышает 10 мг.

Кроме того, MDF – достаточно мягкий материал – может подвергаться любым способам обработки. Поэтому это любимый фасадный материал современных дизайнеров. Резные шкафчики кухонь, изящные спинки кроватей – всё это мебель из MDF. MDF обладает всеми достоинствами дерева, но стоит намного дешевле, да и служит дольше.

Важной характеристикой панелей является их несложная механическая обработка (фрезеровка, шлифовка, сверление, склеивание, крепление), которая может осуществляться с использованием тех же инструментов и материалов, что предназначены для дерева. При наличии необходимых инструментов можно выпилить в панели любые узоры, украсить декоративной вырезкой. Благодаря своей идеально гладкой поверхности, MDF легко окрашивается и ламинируется.

#### *Плюсы и минусы MDF-панелей.*

##### Положительные свойства:

– влагостойкость. Высокая плотность и однородность структуры плит, которую обеспечивают древесные волокна, совместно с внешним декоративным покрытием значительно повышают влагостойкость, допускающую, к примеру, периодическую влажную уборку. Тем не менее панели MDF не рекомендуется устанавливать в помещениях с постоянно высоким уровнем влажности воздуха, за исключением их водостойких модификаций;

– прочность. Панели MDF обладают прочностью, практически равной прочности древесины и значительно более высокой, чем прочность ДСП, поэтому применяются в создании конструкций функционального и декоративного назначения;

– низкая цена. Стоимость ламинированной панели MDF толщиной 16 мм составляет примерно 300 руб. за м<sup>2</sup>, что дешевле натурального дерева;

– долгий срок службы. Поверхности панелей сохраняют свою форму при перепадах температур, особые пропитки защищают их от грибка, насекомых и плесени. Прочное покрытие не требует периодической окраски или лакировки и, при условии соблюдения инструкции по эксплуатации, прослужит несколько десятилетий;

– декоративная отделка. Существующие способы отделки панелей MDF, возможность сочетания нескольких способов (окраска и шпонирование), создают большие возможности в построении интерьеров;

– простой монтаж. Панели MDF легко устанавливать – для этого не требуется какая-то специальная подготовка и инструмент. В случае повреждения фрагмента отделки MDF-панелями, его просто заменить новым, т.к. заводские размеры стандартны;

– лёгкая обработка. Высокая плотность плит MDF допускает фрезерную обработку, с созданием разнообразного рельефа.

**Отрицательные свойства:**

– большой вес. В отличие от древесины аналогичной ширины плиты MDF более увесисты;

– пыление. При обработке и фрезеровке плит образуется много пыли – обязательно использование респиратора;

– необходимость сверления отверстий. Вбить гвоздь или вкрутить шуруп в MDF будет практически невозможно, требуется предварительное высверливание отверстия под крепление;

– недостаточная несущая прочность. Если для вертикальных стоек плиты MDF вполне подходят, то для горизонтальных не особо – длинные книжные полки, к примеру, из таких плит лучше не устраивать;

– содержание формальдегидных смол. Несмотря на заявляемую некоторыми производителями экологичность, это не совсем так. Да, класс эмиссии MDF низок и практически равен природной древесине, но выделение формальдегида всё же присутствует.

*Размеры MDF-плит.*

Следует учитывать, что каждая фирма-изготовитель предлагает свои размеры MDF-панелей. Рассмотрим наиболее популярные торговые марки, под которыми выпускаются эти материалы.

Компания «KRONOSPAN» выпускает панели следующих размеров:

– 2600×200 мм толщиной 14 мм;

– 2600×325 мм толщиной 9 мм;

– 2600×153 мм толщиной 8 мм;

– 2600×200 мм толщиной 7 мм;

– 2600×153 мм толщиной 7 мм.

Размеры панелей, выпускаемых компанией «HDM»:

– 1300×198 мм толщиной 6 мм;

– 2600×198 мм толщиной 6 мм.

MDF-панели от торговой марки «Союз» Россия выпускаются размером 2600×238 мм и толщиной 7 мм.

Многие производители плит MDF изготавливают изделия по индивидуальному заказу или же производят нарезку MDF панелей по желанию клиента.

Общемировое развитие данного вида плит происходит с чёткой ориентацией на мебельное производство. Начало промышленного производства MDF датируется 1966 годом (США). Технология основывалась на мокром способе. В семидесятых годах прошлого столетия получило развитие производство по сухому способу с годовым выпуском MDF 380 тыс. м. куб. (1975 год). Совершенствованием производства плит занималась шведская фирма «Sunds Defibrator». На конец 1990 года в мире уже работало 74 завода с общей мощностью в 6.8 млн м куб.

В нашей стране выпуск MDF начат в 1997 году. Первая линия была запущена с производственной мощностью 50 тыс. м куб. в год. Вторая, имевшая меньшую мощность линия введена в строй в г. Балабаново. Перспективные потребности мебельной промышленности оцениваются в 200 тыс. м куб. в год, что потребует введения дополнительных мощностей по производству ДВП средней плотности. В настоящее время дефицит покрывается за счёт импорта.

На российском рынке наборные панели на основе MDF представлены следующими фирмами: «СОЮЗ» (Россия), АТЕХ (Германия), CLASSEN (Германия), HDM (Германия), KOSCHE (Германия), KRONOSPAM (Польша) и другими.

#### 6.2.3.2. Основные стадии производства MDF

Плита изготавливается методом сухого прессования мелкодисперсной древесной стружки в условиях высокого давления и температуры. Связующим элементом является лигнин, который выделяется при нагревании древесины.

Технологический процесс производства MDF включает:

1. Переработка сырья (используется круглая древесина):
  - получение стружки. Используются комплексные линии подачи сырья и оборудование для его переработки, включая: окорочные станки, рубительные машины, системы транспорта и сортировки щепы и коры.
2. Подготовка древесного волокна:
  - промыв стружки. Для максимального освобождения от примесей;
  - пропаривание стружки. Для разделения на волокна.
3. Сушка.
4. Система подготовки смол.
5. Просеивание и кондиционирование волокна. Предназначено для удаления из потока волокна посторонних включений.
6. Формирование ковра.
7. Подпрессовка и сбор отходов.
8. Прессование.

Используются одноэтажные линии прессования малой и средней мощности для MDF (с электронным контролем толщины и встроенной систе-

мой общего контроля) или многоэтажные линии для MDF (средней и большой мощности, с механическим или электронным контролем толщины и встроенной системой общего контроля); системы загрузки с транспортёром, предварительными загрузчиками.

9. Транспортировка, промежуточный склад и финишная обработка плит MDF:

– транспортировка. Транспортировка плит является одним из ключевых процессов в производстве плит MDF;

– разгрузка пресса. Разгрузка пресса начинается с обрезки кромок, которая отслеживает траекторию перемещения плит и обеспечивает минимизацию отходов, образующихся при обрезке. Происходит непрерывное обрезаение кромок с помощью пилы для поперечной резки.

10. Шлифование, нанесение покрытий и другие формы конечной обработки значительно повышают конечную стоимость плит.

11. Раскрой по размерам и штабелирование. Используются системы для конечного раскроя плит в размер как в продольном, так и в поперечном направлении. После поперечной распиловки производится штабелирование плит.

12. Упаковка штабелей в плёнку и обвязка лентами.

Процесс производства стеновых панелей начинается с нарезки листов MDF на полосы заданного размера с использованием станков проходного типа. Затем на специальном фрезерном станке обрабатываются продольные боковые кромки и специальным термоклеем приклеивается декоративная облицовочная плёнка, которая придает стеновым панелям окончательный вид. Ассортимент продукции разделён на семь серий: Оригами, Classic, Economy, Modern, Medium, Fantasy, различающихся по типу используемых декоративных плёнок (матовые, глянцевые или текстурные). Габаритные размеры одной панели 2600×238×6 мм.

### 6.2.3.3. Применение MDF-плит

Области применения MDF (рис 9):

- панели из этого материала широко используются в декоративном оформлении интерьеров – в отделке потолков и построении воздуховодов, в производстве межкомнатных дверей;

- более плотная модификация MDF, именуемая HDF, применяется в качестве основы для ламинированных напольных покрытий, для создания декоративных перфорированных плит, применяемых в построении офисных перегородок и для сокрытия отопительных батарей;

- в строительстве популярны тавровые балки из MDF, применяемые в качестве сердечника балок межэтажных перекрытий при монолитном строительстве;

- водостойкое MDF применяется для обрешётки крыш – элементы такой обрешетки окрашиваются для более долгой службы масляной краской;
- особенно популярен этот материал у мебельщиков. Существующая методика гнутья элементов из MDF позволяет применять их в создании стульев и кресел. Из ламинированного и шпонированного MDF производится корпусная мебель, предназначенная для жилых помещений и для кухонь;
- из MDF и HDF, кроме того, производятся: ножки музыкальных инструментов; перила, ступени и балясины лестниц внутри зданий; корпуса динамических колонок; внутренняя отделка общественного транспорта, грузовых автомобилей и т.д.

С не меньшим успехом MDF используется:

- в качестве черновых полов перед укладкой основного напольного покрытия;
- как основа для производства ламината;
- для изготовления декоративных стеновых панелей, погонажных изделий (карнизы, плинтуса, наличники, цоколи, подоконники и не только);
- для выравнивания стен под финишную отделку;
- для изготовления подвесных потолков;
- для производства складских упаковок, тары многоразового использования;
- в других областях, в частности в строительстве.

а



б



в



Рис. 9. Примеры применения MDF-панелей:  
а – стеновые панели из MDF; б – Потолок из MDF;  
в – обрешётка крыши из MDF

#### 6.2.3.4. Ориентированно-стружечные плиты OSB

OSB (Oriented Strand Board) – ориентированно-стружечные плиты – являются новым высокотехнологичным материалом, применяемым для устройства полов, а также обшивки стен, крыш, потолков и др.

Ориентированно-стружечная плита – это плотная спрессованная трёхслойная древесная плита из крупной ориентированной щепы хвойных пород. Плита состоит из трёх слоёв: в наружных (верхнем и нижнем) слоях щепы расположена продольно, а во внутреннем слое – поперечно. Каждый слой проклеен водостойкими смолами и спрессован под воздействием высокого давления и температур. В результате этой технологической особенности плиты OSB приобретают водостойкость, упругость и устойчивость к растяжению и строительным нагрузкам. Древесностружечные плиты с ориентированной структурой (OSB) изготавливаются методом горячего прессования древесной щепы, смешанной со связующим материалом (рис. 10).



Рис. 10. Плиты OSB

Материал OSB впервые появился на рынке в 1978 г. в США и благодаря своим свойствам получил высокую оценку. Первоначально OSB позиционировался исключительно как строительный материал. Сегодня все строительные кодексы США и Канады признают панели OSB как альтернативу фанеры.

Согласно технологии производства OSB, разработанной в США, брёвна сначала сортируют, затем проводят специальную обработку и окаривают. Затем брёвна строгают вдоль волокон в целях максимального сохранения прочности структуры древесины для получения щепы. Средняя длина щепы составляет 80 мм, а ширина варьируется в зависимости от части ствола.

Таким образом, плиты OSB изготавливают только из частиц размером 75...150 мм в длину, 10...25 мм в ширину и 0,5...0,75 мм в толщину. Более мелкие фракции (20...30 % общего выхода) либо сжигают, либо используют в производстве ДСП и MDF (тонкомерная и неделовая древесина хвойных и лиственных пород). Это гарантирует однородность структуры плиты. Далее полученную щепу сушат и пропитывают водостойкими смолами

с добавлением синтетического воска. Применение воска обеспечивает высокое качество продукции. Затем щепу укладывают конвейерным способом в двух направлениях, создавая так называемый ковёр. В наружных слоях плиты стружка будет ориентирована по длине, а во внутреннем – поперёк. После этого ковёр прессуют на многоярусном прессе при воздействии высоких температур и давления. В заключение полотно плиты OSB разрезают на стандартные форматы и шлифуют. По физическим свойствам плиты OSB схожи с хвойной фанерой, однако гораздо более дешёвы в изготовлении за счёт низких требований к качеству древесного сырья. Из-за более низкой стоимости при одинаковых потребительских качествах ориентированно-стружечные плиты постепенно вытесняют фанеру во многих традиционных областях применения.

В основном в качестве сырья для производства плит использована древесина хвойных пород среднего и низкого качества. В летний период – 100 % сосна. В зимний период – 60 % сосна, 10 % ель, 10 % лиственница, с добавлением лиственной древесины (берёзы) в количестве до 20 %.

Для производства может использоваться тонкомерная древесина диаметром от 70...100 мм, которая не может быть переработана в лесопилении и/или производстве фанеры. При этом, что очень важно, древесные отходы не используются. Благодаря низким требованиям к качеству сырья существенно сокращаются расходы на сырьё и материалы.

Одной из основных особенностей производства плит OSB является устранение мелкой стружки и измельчённого продукта. В результате достигается уменьшение количества используемого клея в плитах OSB (2...3 %) по сравнению с другими древесными плитами. Технология производства плит OSB постоянно совершенствуется. В качестве связующих широко используются фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные смолы класса E1, а также эфиры изоцианатов, которые применяются для повышения стабильности свойств плит и повышения экологической безопасности, оцениваемой эмиссией свободного формальдегида в окружающую среду. В настоящее время в мировой практике широко распространено производство плит новыми методами формования, заменяющими существующее производство плит. К ним относится производство многослойных древесностружечных плит с ориентированной структурой (OSB).

#### *Технические характеристики плит OSB.*

Характеристики современных OSB-плит имеют довольно высокие показатели – именно благодаря им этот материал широко используется в строительстве для достижения различных целей. К основным характеристикам ориентированно-стружечных плит можно отнести следующие:

- высокая прочность. Повышенные механические свойства по сравнению с обычной ДСП достигаются именно за счёт создания эффекта различной ориентации стружки во внешних и внутренних слоях плит OSB.



Прочность таких плит плотностью 650...720 кг/м<sup>3</sup> при статическом изгибе составляет 40...50 МПа в продольном и 20...25 МПа в поперечном направлениях.

В зависимости от толщины OSB-плиты могут выдерживать нагрузки, исчисляемые порой не одной сотней килограмм на квадратный метр;

- однородность структуры, исключая такие недостатки, как расслоение, покоробленность, внутренние пустоты, трещины, выпадающие сучки и обеспечивающая целостность материала при нагрузках на изгиб (в отличие от фанеры он не расслаивается);

- гибкость и лёгкость, которые позволяют использовать этот материал при обшивке криволинейных поверхностей, имеющих большой радиус закругления;

- влагостойкость (разбухание при нахождении в воде в течение 24 ч составляет 17...25 %, при этом материал не разрушается и сохраняет свою прочность, поэтому OSB можно использовать для возведения опалубки);

- простота в обработке (достаточно легко режется, сверлится, распиливается, может краситься и склеиваться клеями и красками, предназначенными для дерева);

- очень высокая звукоизоляция и теплоизоляция OSB-плит по сравнению с другими подобными материалами;

- способность прочно удерживать гвозди и шурупы (физико-механические показатели у OSB в 2,5 раза выше, чем у ДСП);

- стойкость к механическим повреждениям и химическому воздействию;

- антисептичность – специальные добавки при изготовлении препятствуют размножению грибка и плесени;

- соответствие экологическим и гигиеническим требованиям (OSB соответствует классу гигиены E-1).

- неизменность заданных форм в процессе эксплуатации на протяжении длительного срока эксплуатации.

OSB-плита имеет все положительные качества натуральной древесины, но в отличие от неё ориентированно-стружечная плита лишена таких недостатков, как нестабильность формы в зависимости от влажности, гигроскопичности и возникновения всевозможных дефектов в процессе эксплуатации.

Размеры OSB-плит могут быть разными – при стандартных габаритах листа с длиной 2500 мм и шириной 1250 мм их толщина может варьироваться с шагом в 2 мм от 8 до 26 мм.

Тонкие листы OSB, толщина которых менее 16 мм, применяют для обшивки конструкций, не предполагающих высокие нагрузки на лист, – с их помощью создают стены, делают основание для мягкой кровли, обшивают существующие деревянные полы, а также стены. Более толстые плиты

применяют для конструкций, нагрузка на которые исчисляется сотнями килограмм на квадратный метр. Как правило, их используют в качестве настилов для пола и кровельных конструкций, на которые планируется установка тяжеловесного оборудования.

На сегодняшний день промышленность производит четыре основных вида ориентированно-стружечных плит – OSB1, 2, 3 и 4. Все они различаются своими техническими характеристиками и, как следствие, назначением и областью применения.

OSB1 – этот тип древесностружечных плит характеризуется низкой плотностью материала и практически не выносит воздействия влаги. Как правило, его используют исключительно в мебельном производстве.

OSB2 – плиты этого типа имеют уже более высокую плотность и прочность, но, как и предыдущие, не способны противостоять влажности. Увеличенная плотность таких листов позволяет использовать их при обшивке несущих конструкций внутри помещений с нормальной влажностью.

OSB3 – самая распространённая на сегодняшний день плита – обладает как высокой прочностью, так и стойкостью к эксплуатации во влажной среде. Речь не идет о стопроцентной влажности – она выдерживает исключительно кратковременные воздействия воды. Если применять её снаружи помещения, то для долговечной эксплуатации этого материала понадобится дополнительная защита в виде покраски или соответствующей пропитки.

OSB4 – такая плита является сверхпрочным материалом и способна противостоять повышенной влажности в течение длительного времени без какой-либо дополнительной защиты. Ограничивает её применение в ремонтно-строительной сфере только стоимость таких плит – как правило, цена этого материала на два порядка выше, чем стоимость у OSB3.

Основными потребителями OSB являются строительная индустрия, транспортное строительство, производство тары и мебельная промышленность. Области применения материала чрезвычайно обширны:

- обшивка стен, крыш и потолков;
- черновые и мозаичные полы;
- мебельные каркасы и рекламные щиты;
- заменитель пиломатериалов и фанеры;
- заборы и временные ограждения;
- плиты, облицованные шпоном;
- использование для декоративных целей и отделки интерьеров благодаря оригинальной текстуре поверхности;
- изготовление конструктивных элементов мебели (где необходима механическая прочность выше, чем у обычного ДСП), стеллажей, полок, многоразовой и долговечной упаковки (ящики, обкладки, поддоны).

### *Принципы работы с OSB-плитами.*

Технические характеристики OSB-плит позволяют использовать их во многих сферах строительства. В настоящее время этот материал широко применяется:

- для устройства стен каркасных строений и межкомнатных перегородок (рис. 11);
- для монтажа напольных настилов и выравнивания уже существующих полов (рис. 12);
- OSB-плиты служат прекрасным материалом для устройства основания для некоторых видов кровельного материала.



Рис. 11. Стены из OSB



Рис. 12. Пол из OSB

Ориентированно-стружечные плиты имеют практически одинаковый способ крепления – независимо от того, для каких целей его применяют, плиты фиксируются на деревянном или металлическом каркасе с помощью саморезов.

Если речь идёт о создании напольных покрытий, то монтаж OSB выполняется на предварительно установленные лаги, при изготовлении кровли в качестве опорной конструкции для плит служит деревянная обрешётка, набранная на стропильную часть крыши, ну а при изготовлении или обшивке стен OSB преимущественно монтируется на металлический каркас, набираемый из специальных профилей. В любом случае для достижения прочности конструкции, профили, обрешетка или лаги устанавливаются с максимальным шагом 400 мм.

Как и говорилось выше, плиты OSB достаточно легко поддаются обработке – при желании их можно резать обыкновенной ножовкой. Но занятие это очень утомительное, поэтому для порезки плит, как правило, используют электрический лобзик, оснащённый пилкой по дереву, имеющей крупный зуб.

В общем, как бы там ни было, а плиты OSB являются настоящей находкой для строителей, позволяющей строить полноценные дома по каркасной технологии, включая стены, крышу и пол, за максимально короткие сроки, причем служат такие дома долго (рис. 13).



Рис. 13. Дом из OSB

Российский рынок довольно долго ждал появления первых отечественных производителей OSB-плит. В настоящее время на территории России функционируют всего 2 завода по выпуску OSB, оба они были введены в строй в 2012 году:

1. В конце июля 2012 года на Нововятском лыжном комбинате (Киров) было запущено первое в России производство плит OSB. Общая стоимость новой линии, на которой будут выпускаться плиты ДСП и OSB, составляет 1,8 млрд руб. Проект продолжится до 2014 года и предусматривает полную реконструкцию цеха древесностружечных плит. Заявленный объём произ-

водства ориентированно-стружечной плиты – 100 тыс. м<sup>3</sup> в год, ДСП – 130 тыс. м<sup>3</sup> в год. Запуск данной линии был давно ожидаемым. Так, о начале производства на комбинате вначале сообщалось в октябре 2011 года, после чего информация была скорректирована в сторону 2012 года.

2. Второе производство запущено во Владимирской области (г. Костерево) на промышленной площадке бывшего ЗАО НПП «Интехпласт». Линия была официально открыта 21 ноября 2012 г. Компания-производитель – ООО «Хиллман Лимитед», плиты будут выпускаться под торговой маркой Hillman OSB. Общий объем инвестиций в реализацию данного проекта составил более 300 млн. рублей. Для стабильной работы предприятию необходимо ежегодно 30...40 тыс. м<sup>3</sup> древесины, планируемый выпуск готовой продукции – 20...30 тыс. м<sup>3</sup> в год.

#### 6.2.4. Древесные формовочные прессмассы

В 1911 г. американский химик Л. Бакеланд нашел способы поликонденсации фенолоформальдегидной смолы и наполнения её различными материалами, из которых наиболее распространённым является древесная мука. В нашей стране этот материал был назван карболитом или древесным пресс-материалом. Это изобретение оказало значительное влияние на все последующее развитие полимерных композиционных материалов. Технология приготовления бакелита проста: смесь частично отвержденного полимера и наполнителя помещается в пресс-форму и отверждается при повышении температуры.

Из бакелитовых пресс-масс изделия формуют в горячих прессах и лют в термопластавтоматах. Получаемые изделия обладают высокой прочностью и устойчивостью к воздействию воды, масел и растворителей. Бакелиты наполненные растительными и другими волокнами, называются волокнитами.

Из пропитанных бакелитовой смолой хлопчатобумажных и других тканей изготавливают текстолиты, а из пропитанных смолой бумаг – гетинаксы (бумажные слоистые пластики).

#### 6.2.5. Термопластичные древесно-полимерные композиционные материалы

Длительное время древесно-полимерные композиционные материалы (ДПКМ) развивались на основе использования в качестве связующих материалов терморезистивных смол. Однако в начале 1990-х годов, преимущественно в США, начинается освоение древесно-полимерных композитов на основе термопластичных смол – полиолефинов, ПВХ и др.

Для термопластичных ДПК используется мелкоизмельчённая древесина – опилки, древесная мука и другие целлюлозосодержащие материалы.

Первоначально было освоено производство методом экструзии тонких листовых материалов для нужд автомобильной промышленности. Вскоре было налажено производство террасных досок (декинг-продуктов) и др. изделий. Успехи в экструзии стимулировали разработку методов производства изделий методом литья под давлением. В настоящее время опробованы также плоское непрерывное формование (прокатка) и ротационное формование.

Для ДПКТ предлагается самый широкий спектр применений. Этот вид композитов отличается исключительной стойкостью к атмосферным воздействиям, а также высокой технологичностью.

#### 6.2.6. Фанера и древесно-слоистые пластики

Основной древесный материал для изготовления фанеры и древесно-слоистых пластиков – лущёный шпон.

Шпон лущёный получают, разрезая стволы древесины по спирали, при этом выходят листы 1...3 мм большого формата. Изготавливают лущёный шпон из древесины клёна, ясеня, ильма, дуба, липы, осины, тополя, ели, пихты, кедра, лиственницы, но чаще берёзы и ольхи. Основное направление использования лущёного шпона – производство фанеры, древесных пластиков, гнуто-клеёных деталей. Текстура шпона лущёного, за редким исключением, имеет невысокие декоративные свойства, поэтому в качестве облицовочного материала его применяют для отделки внутренних, невидимых поверхностей изделий.

*Фанера* – слоистая древесина, склеенная из трёх или более листов лущёного шпона, расположенных так, что в соседних листах направления волокон древесины оказываются взаимно перпендикулярными. Равнослойную фанеру получают из листов шпона одной толщины, неравнослойную – из листов разной толщины. Фанера, один или оба наружных слоя которой изготовлены из строганого шпона, считается облицованной, её широко используют для изготовления различных деталей мебели, при производстве встроенной мебели.

Фанера декоративная облицовывается пленочными покрытиями в сочетании с декоративной бумагой или без нее. Она может быть облицованной с одной или двух сторон, по внешнему виду – глянцевой или матовой, толщиной от 3 до 12 мм.

Следует отметить некоторые преимущества фанеры по сравнению с пиломатериалами:

- почти равная прочность по всем направлениям как следствие изотропности свойств фанеры;
- малое коробление при способности гнуться;

- меньшая предрасположенность к растрескиванию и усушке;
- отсутствие сквозных трещин;
- большая площадь поверхности при малой толщине, что обуславливает лёгкость и изящный вид изделий.

Фанера характеризуется умеренной токсичностью (классы эмиссии формальдегида E1 и E2), пластичностью и упругостью. Ее прочность зависит от толщины (количества склеенных листов шпона). Так, фанера 3...5-слойная применяется для изготовления задних стенок шкафов, боковых стенок и днищ выдвижных ящиков, филёнок щитовых деталей рамочно-филенчатой конструкции; фанера из 5...7 слоёв – для формирования жёстких оснований мягкой мебели, изготовления полок и небольших щитов мебели; более толстая фанера – для изготовления деталей, несущих большие нагрузки, но детали эти в силу высокой прочности могут иметь небольшие размеры сечения.

Фанера может быть декорирована прорезной резьбой, детали из нее часто имеют волнообразные края. Мебель из фанеры характеризуется высокой прочностью, долговечностью, лёгкостью и оригинальностью внешнего вида.

*Древесно-слоистые пластики (ДСП)* получают в процессе термической обработки под большим давлением из листов шпона, склеенных синтетическими клеями. В зависимости от назначения ДСП выпускают 11 марок с различными типами укладки шпона. Большинство марок ДСП имеют техническое назначение: применяются в электротехнике, судо- и машиностроении, в качестве конструкционного самосмазывающегося антифрикционного материала.

ДСП выпускают по ГОСТ 13913–78 в виде листов толщиной от 1 до 12 мм и плит толщиной от 15 до 60 мм. Длина пластиков – от 750 до 5600 мм, а ширина – от 750 до 1500 мм. По сравнению с фанерой ДСП имеют более высокую плотность – от 1230 до 1330 кг/м<sup>3</sup>.

Из фанеры и древесно-слоистых пластиков часто делают гнуто-клеёные сложные криволинейные детали (спинки и сиденья стульев, ножки, переходящие в сиденья и опоры для спинки стульев, закруглённые двери и т.п.).

*Гнуто-клеёные детали* получают склеиванием шпона или фанеры с одновременным гнутьём. Для этого листы шпона нужных размеров склеивают мочевиноформальдегидным клеем, помещают в пресс-формы, где обрабатывают паром и подвергают гнутью. Изгибанием брусков получают гнуто-пропильные детали, так как в месте изгиба брусок пропиливают, а в пропили помещают шпон, пропитанный клеем.

Из гнуто-клеёной и гнуто-пропильной древесины изготавливают криволинейные детали стульев, столов, спинки и т.д.

### 6.2.7. Столярные плиты

Столярные плиты представляют собой щиты, склеенные из реек древесины хвойных, мягких лиственных пород и березы и оклеенные с обеих сторон двумя слоями лущёного шпона – наружным и подслоем. Все слои должны иметь одинаковое направление волокон древесины и располагаться перпендикулярно к рейкам. Плиты изготавливают необлицованными и облицованными строганым шпоном с одной или двух сторон. Применяют плиты для изготовления щитовых деталей мебели: боковых стенок, дверок, крышек столов. Характеризуются столярные плиты повышенной массой и специфической волнистостью поверхности.

В современном мебельном производстве столярные плиты всё чаще используют необлицованными, а только покрытыми лаком, так как при этом остается незакрытой естественная текстура древесины, а изделия выглядят похожими на престижную мебель из массивной древесины. Многие производители часто так и называют выпускаемую продукцию из столярных плит – мебель из массивной (натуральной) древесины.

### 6.2.8. Плетёные изделия и декоративные щиты

Основным сырьём для плетеных изделий у российских производителей является древесина ивовых пород, в первую очередь кустарниковых. Используют 1...4-летнюю иву осенне-зимней заготовки в виде прутьев диаметром в концевом срезе 10 мм и палок диаметром 11...40 мм. Для плетения берутся однолетние прутья с зелёно-жёлтой или жёлтой корой, на палки идут 2...4-летние прутья с зелёно-коричневой корой.

Ротанг, или ротанговая пальма, представляет собой тропическую лиану, это самое длинное растение в мире (до 200 м). Ствол ротанга гладкий, тонкий, стелющийся, диаметром от 5 до 70 мм. Его родина – острова Индонезии.

Древесина ротанговой пальмы имеет трёхслойную структуру и состоит из высокопрочной коры, более мягкого, пористого среднего слоя и твёрдой сердцевины. Из коры ротанга, разрезанной на тонкие узкие ленты, изготавливают сиденья для стульев и разнообразные декоративные панели с мелкоузорчатым плетением.

Для производства несущих частей мебели используют очищенные от коры и среднего слоя стволы растения, прошедшие калибровку (выравнивание по ширине) и паровую обработку. При этом детали мебели получаются гладкими, с плавными изгибами. Благодаря природным свойствам тропического растения ротанг выдерживает перепады температуры и влажности. Губчатая внутренняя структура ствола ротанга предохраняет изделия от деформации при эксплуатации как на открытом воздухе, так и внутри помещений с повышенной влажностью (например в саунах).



Плетёная мебель из стволов ротанга может иметь любую конструкцию: столы, кресла, стулья, кровати, шкафы, тумбы, полки и другие изделия. Достоинство такой мебели наряду с лёгкостью и изящным внешним видом – в минимальном числе стыков, что обеспечивает высокую прочность. Так, стулья и кресла ажурного плетения из ротанга выдерживают нагрузку до 700 кг. Расчётный срок службы такой мебели составляет 20...25 лет.

Ротанговое полотно – декоративный отделочный материал, изготовленный из средней части ротанга – мягкой и невлагостойкой. Её расщепляют на отдельные волокна, из которых плетут полотно с разнообразными рисунками. В ассортименте изготовителей может быть более десятка видов плетения – плотное или ажурное, из плоских или объемных волокон.

Один из крупнейших мировых производителей ротангового полотна для мебельной промышленности – голландская фирма Rodeka.

Плетёная мебель из ротанга занимает особую нишу среди изделий из натуральных материалов в стиле «кантри». Ротанговое полотно находит все больше вариантов применения: при оформлении мебели для дач, дверей в шкафах-купе, других фасадных элементов, декоративных вставок. Мебель с фасадами или вставками из этого материала выглядит оригинально и служит носителем модного направления в мебельном дизайне.

Производители мебели используют декоративные щиты на основе ДСтП толщиной 8 мм или МДФ толщиной 7 мм, у которых с одной стороны наклеено ротанговое полотно с плотным плетением, а с другой — нередко строганный шпон (например, дуба) или синтетический шпон с рисунком под текстуру древесины. Различаются щиты вариантами плетения.

Наклеенное ротанговое полотно может быть без отделки (светло-жёлтого или бежевого цвета), а может и окрашиваться в определённый цвет – от светлого «клёна» до тёмного «венге».

От воздействия света и влаги, загрязнений и слабых механических воздействий щиты с ротанговым полотном защищают полуглянцевые лаковые покрытия. Выпускают также щиты патинированные – окрашенные под старинную мебель.

На отечественном рынке декоративных материалов для мебельного производства предлагаются щиты с ротанговым полотном польского и российского производства.

### 6.2.9. SIP-панели

SIP-панели (сэндвич-панели) – это один из видов слоистых панелей, устроенных по типу «сэндвич», когда слой теплоизолирующего материала находится между двумя одинаковыми по размеру древесными плитами; предназначены для строительства малоэтажных зданий жилого, общественного и промышленного назначения (коттеджи, поликлиники, торговые павильоны, кафе, гостиницы, бытовки, склады, гаражи) (рис. 14).



Рис. 14. Дом из SIP-панелей

*Из чего делают SIP -панели.*

SIP – это аббревиатура от Structural Insulated Panel, переводится как Структурная Теплоизоляционная Панель (рис. 15). Более детальный перевод позволяет сразу понять назначение СИП-панелей: structural означает «структурный, строительный», словосочетание structural panel – несущий элемент, добавим insulate (изолировать) и получаем представление о сэндвич-панели, как о комплексном строительном изделии, способном воспринимать нагрузку и обеспечивать звуко- и теплоизоляцию.



Рис. 15. SIP-панель

Такое определение подходит, по сути, ко многим видам слоистых панелей: с листами из стали, алюминия, асбестоцемента, фольги, магнетита и пр., но закрепился термин за панелями с внешними слоями из древесных материалов:

– ориентированно-стружечная плита ОСП или Oriented Strand Board (OSB);

- фибролитовая плита Green Board;
- гипсокартонный лист;
- гипсоволокнистый лист;
- фанера.

В качестве внутреннего теплоизолирующего слоя используются пенопласты:

- пенополистирол;
- уретановая пена (пенополиуретан либо полиизоцианурат);
- фенолформальдегидный пенопласт ФРП-1 (преимущественно в ограждающих панелях);
- минеральная вата базальтовая (редко).

Кроме функции утеплителя средний слой выполняет конструкционную задачу – жёстко закрепляет обкладочные плиты строго параллельно друг другу, усиливая тем самым всю панель.

К настоящему времени оптимальным вариантом для производства SIP-панелей признано сочетание OSB класса 3 и пенополистирола марки ПСБ-С (с антипиреном) (рис. 16).

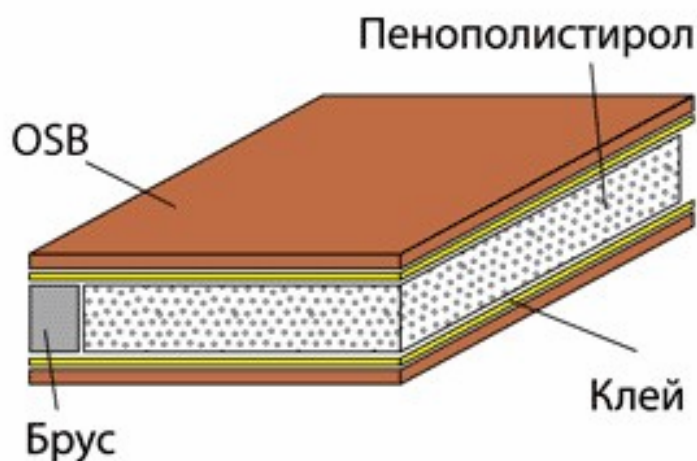


Рис. 16. Структура SIP-панелей

OSB-3 представляет собой влагостойкую древесностружечную плиту с упрочняющим ориентированием древесных частиц (стружек или щепы). Пенополистирол является одним из самых эффективных утеплителей – 10 см по теплоизоляции заменяют 2 метра кирпичной кладки или 50 см дерева. Находясь в почти безвоздушном пространстве (швы между SIP-панелями герметичны), этот пенопласт не теряет своих теплозащитных и прочностных свойств многие годы. Антипирен превращает его в противопожарный сорт, который при нагревании испаряется, не выделяя вредных газов, и самозатухает после удаления источника воспламенения.

Производители разрабатывают собственные технические условия на SIP-панели либо руководствуются существующими, например ТУ 5366–001–54083838–2006 «Панели многослойные», а также различными госстандартами в зависимости от используемых компонентов:

- ГОСТ 10632–2007 «Плиты древесно-стружечные»
- ГОСТ 8928–81 «Плиты фибролитовые на портландцементе»
- ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые»
- ГОСТ 15588–86 «Плиты пенополистирольные»
- ГОСТ 22546–77 «Изделия теплоизоляционные из пенопласта ФРП-1»
- ГОСТ 9573–96 «Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные».

*Классификация SIP-панелей и технология их изготовления.*

По форме SIP-панели полностью соответствуют общему для всех типов панелей описанию – это плоский крупногабаритный элемент, длина и ширина которого значительно превосходит толщину. Отличие в том, что внешние плиты с торцевых сторон выступают над пенополистирольным слоем (обычно на 50 мм), образуя паз на всей протяжённости торца. Такая конструктивная особенность необходима для фиксации панелей на обвязочных брусках во время устройства стен, перекрытий или кровли.

Базовые размеры, мм:

- длина 2500, 2800;
- ширина 625, 1250;
- толщина 110, 120, 170, 200, 220, 270;
- в т. ч. пенополистирола 100–250 и ОСП 10–12.

SIP-панели толщиной до 120...124 мм применяются для внутренних перегородок и внешних стен в одноэтажных зданиях; свыше 124 мм – внешних стен, перегородок, полов, междуэтажных перекрытий, кровли (рис. 17).



Рис. 17. SIP-панели толщиной свыше 124 мм

Изготовление сэндвич-панелей с минватой, пенополистиролом или ФРП-1 сводится к скреплению внутреннего и внешнего слоёв с помощью

клея и холодного прессования (давлением 30 тонн на 1 м<sup>2</sup>). Уретановые пенопласты называются заливочными, т. к. используются не в виде готовых к склеиванию плит, а заливаются между зафиксированными параллельно друг другу обкладками, где вспениваются и застывают.

*Характеристики SIP-панелей* приведены в таблице.

Прочность, кгс/см <sup>2</sup>	Сцепление наружных слоёв с пенополистирольным и минераловатным утеплителем должно быть не менее: – при равномерном отрыве – 1,8 и 1,5 – при сдвиге – 1,5 и 1,2 SIP-панель способна выдерживать вертикальную нагрузку до 10 тонн и поперечную – 2 тонны на 1 м <sup>2</sup> (для строительства коттеджей достаточно 350 кг)
Объёмный вес, кг/м <sup>3</sup>	Вспененный полистирол для SIP -панелей применяется плотностью 25, 35, 50
Теплопроводность плит, Вт/(м·°С)	– пенополистирольные 0,037...0,04 – минераловатные 0,047...0,07 – уретановые 0,028
Нарушение геометрии	Плита OSB не коробится и не деформируется от перепадов температур, попадания влаги, поскольку состоит из щепы, начисто лишённой недостатков цельной древесины. Лушение бревна разрушает взаимосвязи древесных волокон, убирая тем самым внутреннее напряжение (чего не скажешь о лушении фанерного шпона). К тому же OSB-3 имеет повышенную прочность благодаря технологии формирования щепы в слои (частицы соседних располагаются перпендикулярно друг к другу), прессуемые затем при +200 °С в монолитную массу с глянцевой поверхностью
Подверженность болезням	В состав связующего плиты OSB входит эмульсия воска, избавляющая без всякой дополнительной биозащиты от появления грибка, плесени, воздействия насекомых
Усадка	Отсутствует – сразу после завершения сборки домокомплекта можно приступать к внешней и внутренней отделке
Водопоглощение	Водопоглощение за 24 ч. ПСБ 0,5...2,1 % и OSB-3 – до 12 %
Огнестойкость	Фибролитовая панель, для сравнения, относится к слабогорючим материалам группы Г1. Дома из SIP-панелей соответствуют III степени огнестойкости – сдерживания огня в течение 1 часа
Стоимость	от 1700 до 5500 руб./шт.
Звукопоглощение	На примере полистирола весом 25 кг/м <sup>3</sup> : 44 дБ при толщине панели 148 мм, 56 дБ – при 188 мм
Максимальная этажность строения	2 этажа + мансарда

### *Достоинства SIP-панелей:*

1. Уровень прочности конструкций из SIP-панелей позволяет домам выдерживать ураганы, землетрясения и другие стихийные бедствия.

2. Использование SIP-панелей с ПСБ сокращает энергопотребление в 2 раза по сравнению с кирпичными и бетонными зданиями и позволяет достичь дополнительной экономии на установке менее мощных систем отопления, вентиляции, кондиционирования.

3. Благодаря столь высокой энергоэффективности дома, построенные по SIP-технологии, не нуждаются в дополнительном утеплении, если сезонные колебания температур находятся в диапазоне от  $-50$  до  $+50$  °С.

4. Приобрести можно сразу весь комплект панелей, необходимых для возведения дома: для наружных и внутренних стен, перекрытий этажей, кровли, а также пиломатериалы и другие элементы.

5. Простота сборки – при желании, имея на руках проектную документацию, можно собрать дом самостоятельно (рис. 18).

6. Сборка дома площадью  $120...150$  м<sup>2</sup> на заранее подготовленном фундаменте займёт  $10...15$  дней, полный цикл строительства (с отделкой) – около трёх месяцев.

7. Монтаж производится в любое время года и без использования тяжёлой спецтехники – масса  $1$  м<sup>2</sup> панели толщиной  $164...224$  мм составляет  $18...20$  кг.

8. Благодаря малой массе конструкций представляется достаточным устройство экономичного малозаглублённого фундамента.

9. Использование качественных исходных материалов и строгое соблюдение технологии изготовления обеспечат экологическую безопасность и длительный срок эксплуатации –  $100$  и более лет.



Рис. 18. Сборка дома из SIP-панелей

### *Недостатки SIP-панелей:*

1. Обязательность применения вентиляционной системы.
2. Неоднозначность мнений и сведений о новом для России материале по ключевым вопросам: прочность и долговечность SIP-панелей, экологическая чистота, стабильность свойств во времени.

### *Транспортировка:*

Доставлять SIP-панели к месту строительства можно как в упакованном виде (поддоны, плёнка, фиксирующая лента), так и простым складированием в транспортное средство, при этом оно должно быть закрытым, жёсткой конструкции, сухим и чистым.

## 6.2.10. ЛВЛ-брус

С древнейших времён дерево было одним из самых востребованных и широко используемых строительных материалов. Однако, несмотря на все преимущества древесины, она обладает и целым рядом существенных недостатков – подверженность гниению, горючесть, нестабильность размеров при изменении условий окружающей среды, ослабление прочности за счёт сучков и дефектов древесины, недостаточная плотность, ограниченность в линейных размерах, коробление под действием влажной среды, растрескивание, усыхание и т.д. Все эти недостатки ограничивали область применения пиломатериалов в строительстве. Но сегодня благодаря новейшим технологиям дерево переживает поистине второе рождение. Новые высокотехнологичные методы обработки древесины кардинально изменили свойства этого материала и позволили создавать на его основе продукты, многократно увеличивающие все достоинства дерева и практически сводящие на нет всего его недостатки. Эти материалы обладают принципиально новыми характеристиками, позволяющими применять изделия из дерева там, где раньше об этом можно было только мечтать. Именно к таким высокотехнологичным разработкам относится ЛВЛ (LVL) брус, продукт деревообрабатывающей промышленности, представляющий собой брус, доски и балки.

LVL (ЛВЛ)-брус (от англ. Laminated Veneer Lumber) – это высокопрочный композитный конструкционный материал на основе массива натурального дерева, усиленный и улучшенный технологически. В результате сложного технологического процесса получается однородный материал с уникальным набором технических характеристик. Технические характеристики ЛВЛ-бруса значительно превосходят параметры цельного бруса, клеёной древесины и пиломатериалов высокого класса.

Основным сырьём для производства ЛВЛ-бруса является шпон древесины хвойных пород (разные производители используют различные породы деревьев или их микс).

Термин ЛВЛ (англ. Laminated Veneer Lumber) введён в 1960-е годы компанией Weyerhaeuser (США), где был разработан сам продукт и установлена первая производственная линия ЛВЛ. В основе технологического процесса выработки ЛВЛ лежит производство фанеры, но с существенными изменениями. ЛВЛ-брус производится из 9 и более пластов шпона толщиной порядка 3 мм, которые укладываются в продольном направлении изделия и склеиваются между собой параллельно волокнам смежных слоёв. Отбор материала начинается ещё на вырубке – для клеёного бруса LVL берутся в основном хлысты хвойных пород первых срезов комельной части. После термо- и гидрообработки, окорки и распила они подвергаются лущению на полностью автоматизированном станке, где центровка и обмер заготовок производятся с помощью высокоточных лазерных устройств. Далее шпон, высушенный в конвекционной камере, направляется на склейку (в процессе влажность многократно проверяется ультразвуком, исключая возможность недостаточной просушки: минимальное и равномерное содержание влаги в шпоне перед нанесением клея должно составлять 5...10 %). Такая технология производства позволяет получить однородный бездефектный материал, слоистая структура которого делает его прочным, долговечным и значительно превосходящим по основным параметрам и традиционный брус, и оцилиндрованное бревно, и клеёный брус из ламелей. На сегодняшний день ЛВЛ-брус по праву считается лучшим по технологичности, надёжности и механическим характеристикам древесным материалом.



Рис. 19. LVL-брус

Выдающиеся свойства LVL-бруса ставят этот материал в один ряд с наиболее перспективными и технологичными конструкционными материалами, используемыми сегодня в строительстве.



В настоящий момент производство ЛВЛ динамично развивается на мировом рынке изделий из древесины благодаря многочисленным превосходным свойствам данной продукции. Мировое потребление ЛВЛ растет на 5...10 % в год и составляет на сегодняшний день 3 млн м<sup>3</sup>.

ЛВЛ-брус имеет очень высокие прочностные характеристики. По данным инспекционных испытаний, проведенных ЦНИИСК им. Кучеренко, прочность LVL в 1,5...3 раза выше, чем у клеёного бруса или у обычных пиломатериалов. Такие высокие показатели связаны с рядом специфических особенностей производства ЛВЛ-бруса, которые обеспечивают отсутствие дефектов в структуре материала, вызванных естественными пороками древесины.

К таким особенностям относятся:

1. Параллельное направление волокон в слоях шпона, образующих брус.

2. Исключение влияния сучков и других пороков древесины на прочность бруса (они равномерно распределены в толще слоёв и не оказывают существенного воздействия на прочностные характеристики).

3. При производстве ЛВЛ-бруса используется шпон, рассортированный по плотности: шпон более высоких сортов идет на поверхностные слои материала, а более низких сортов применяется в средних слоях, таким образом достигаются стабильные физико-механические свойства ЛВЛ-бруса, что особенно важно в конструкционных материалах.

4. Слои шпона, образующие брус, склеиваются «на ус» вразбежку (в шахматном порядке), с шагом около 1 м.

5. При склейке слоёв шпона используется мощный пресс, что позволяет получить уплотнённую структуру древесных волокон.

6. Клейкая фенолформальдегидная смола, применяемая при производстве ЛВЛ-бруса, обеспечивает на молекулярном уровне сверхпрочный клеевой шов между слоями шпона.

Всё перечисленное выше, придаёт ЛВЛ брусу уникальные по своим свойствам прочностные характеристики, например; модуль упругости (жёсткости) у ЛВЛ-бруса на 24 % выше, чем у массивной ели, прочность при изгибе и на излом выше более чем в два раза. Эти физические показатели обеспечивают высокую несущую способность ЛВЛ-бруса при меньших размерах в поперечном сечении, что, в свою очередь, существенно снижает общий объём необходимых пиломатериалов.

Благодаря своей слоистой структуре и технологии производства, ЛВЛ брус является полностью однородным материалом с неизменными механическими характеристиками по всей длине и обладает постоянными физическими свойствами, не зависящими от сезонных факторов, т.е., по сути, мы имеем материал с гомогенной симметричной структурой, который не меняет своих свойств на протяжении всего срока эксплуатации.

В отличие от обычных пиломатериалов, он способен сохранять точные линейные размеры в независимости от сезонных факторов, изменений окружающей среды и климатических условий. ЛВЛ не деформируется и не коробится от сырости, не трескается и не гниёт, имеет минимальные показатели естественной усушки, практически не впитывает влагу, а потому собственный вес балки во влажной среде остаётся неизменным. Стабильность линейных размеров ЛВЛ-бруса гарантирует высокую точность сопрягаемых деталей, благодаря чему конструкции из бруса долговечны и не теряют свою привлекательность со временем, чего нельзя сказать об изделиях из обычной древесины, которые подвержены разбуханию и короблению.

ЛВЛ-брус в отличие от металла и железобетона обладает повышенной устойчивостью к агрессивным средам, таким, как водяные пары, аммиак, пары солей и т.д., и поэтому он незаменим при строительстве аквапарков, бассейнов, сельскохозяйственных и промышленных сооружений.

Широкий размерный ряд – одно из важнейших преимуществ ЛВЛ-бруса. Толщина ЛВЛ-бруса кратна толщине шпона – 3 мм, минимальная толщина бруса – 18 мм, максимальная – 102 мм. Ширина ЛВЛ-бруса: от 100 мм до 1800 мм. ЛВЛ-брус может выпускаться длиной 18 м и более, что позволяет легко решать проблемы, связанные с большеразмерными перекрытиями в зданиях и сооружениях. Длина балок ЛВЛ-бруса является неоспоримым преимуществом перед пиломатериалами из массивной древесины, которые обычно выпускаются длиной до 6 м.

Существенным отличием длинномерных изделий из LVL-бруса также является их стоимость: она мало зависит от их длины, что, в частности, выгодно выделяет ЛВЛ на фоне клеёного бруса из ламелей, стоимость которого при увеличении длины вырастает в геометрической прогрессии. Заготовки ЛВЛ нарезаются в размер точно по желанию заказчика. В зависимости от предполагаемого применения заготовки режутся либо на продольные бруски, либо на доски, которые легко обрабатываются и в условиях производства, и на строительной площадке.

ЛВЛ-брус обладает высокими теплоизоляционными и акустическими характеристиками и превосходно сочетается с большинством звуко- и теплоизоляционных материалов. Благодаря применению ЛВЛ-бруса в несущих конструкциях отсутствуют «мостики холода» по пустотам и крепежным элементам и исключены явления, связанные с образованием конденсата и гниением. Появляется возможность разместить теплоизоляционный материал в плоскости конструкции. ЛВЛ-брус и изделия из него легко поддаются обработке лакокрасочными покрытиями, антисептиками и антипиренами, а его естественная древесноволокнистая структура позволяет применять его не только как конструкционный материал несущих конструкций, но и как составную часть интерьера.

ЛВЛ-брус обладает более высокой огнестойкостью по сравнению с обычным брусом, которая достигается за счет большей многослойности и меньшей пористости. Клейкая фенолформальдегидная смола, используемая в производстве ЛВЛ, нейтральна к окислению и не способствует возгоранию. Плотность и отсутствие трещин препятствуют проникновению огня и температуры в глубь материала. При температуре 300 °С на поверхности балки ЛВЛ-брус сохраняет свои свойства на протяжении 30...60 минут. При указанной температуре происходит медленное обугливание балки со скоростью: 0,6 мм/мин – по плоскостям и 1 мм/мин – по торцам.

ЛВЛ можно механически обрабатывать точно так же, как и пиломатериалы. Обработка строганием, склеивание между собой и крепление ЛВЛ-бруса и изделий из него не представляют особых трудностей. Механическую обработку ЛВЛ-бруса клеёного из шпона можно выполнять на рабочей площадке, и это не вызовет проблем. Проходные отверстия для прокладки кабелей и трубопроводов и другие необходимые механические обработки должны выполняться в соответствии с инструкциями проектировщиков. ЛВЛ-брус поддаётся обработке лакокрасочными покрытиями аналогично пиломатериалам и древесным плитам. ЛВЛ-брус можно обрабатывать антисептиками и антипиренами как обычные изделия из дерева, но в отличие от древесины многослойная структура ЛВЛ-бруса позволяет производить его обработку различными веществами благодаря мелким трещинам, образующимся в шпоне в процессе его лущения. Наличие мелких трещин в шпоне улучшает впитывание химических составов в процессе обработки давлением.

Использование ЛВЛ-бруса позволяет существенно усовершенствовать и ускорить технологию строительства, а также уйти от сварочных работ и применять технику меньшей грузоподъёмности на строительной площадке.

Стоимость ЛВЛ-бруса несколько превышает средние расценки на другие пиломатериалы, но изделия, выполненные с использованием ЛВЛ-бруса, не теряют своей геометрии даже спустя 10 лет, что, безусловно, оправдывает затраты производителя. По сравнению с такими традиционными строительными материалами, как металл и железобетон, ЛВЛ обладает оптимальным соотношением прочностных и весовых показателей. Этот фактор особенно важен для малоэтажного строительства, поскольку при достаточном запасе прочности конструкции из ЛВЛ не требуют устройства усиленного фундамента и удобны при монтаже: они могут перемещаться по земле и подниматься на верхние этажи без применения специальной техники. Как следствие, возведение зданий с использованием ЛВЛ требует значительно меньших финансовых и временных затрат, чем строительство из кирпича и бетона.

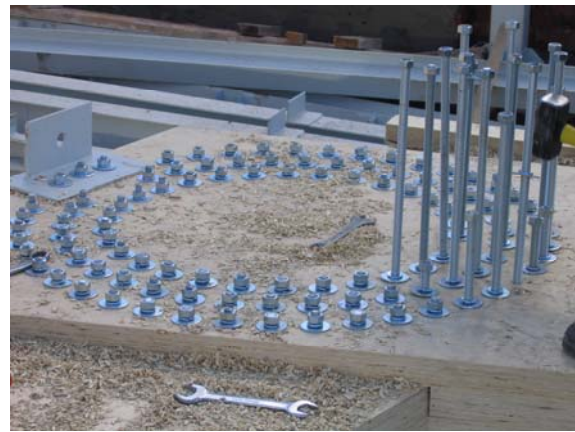


Рис. 20. Применение ЛВЛ-бруса

Конструктивные и монтажные свойства ЛВЛ обеспечили этому материалу широкое распространение в странах Северной Америки и Западной Европы. Отработанная во всем мире технология каркасного домостроения с использованием этого материала позволяет строить энергоэффективные дома любой архитектурной формы и любого размера в самый короткий срок, и, независимо от того, будет ли дом скромным дачным коттеджем или же представительным особняком большой площади, объединять их будет одно: надёжность, качество и комфорт.

Традиционно все производители выпускают две основные марки ЛВЛ-бруса:

1. ЛВЛ-брус, у которого древесные волокна во всех слоях шпона располагаются параллельно друг другу в продольном направлении. Этот вид ЛВЛ-бруса на сегодняшний момент получил в России широкое распространение. Это так называемый конструкционный брус, обладающий очень высокими прочностными характеристиками. Как правило, он используется для перекрытий, несущих конструкций кровель и каркасных зданий. Его недостатком является «скручивание» краёв заготовок большой ширины (для каждой стандартной толщины бруса есть критический показатель ширины, после которого брус начинает «улыбаться»).

2. ЛВЛ брус, у которого древесные волокна в 20 % слоёв шпона располагаются в поперечном направлении, т.е. в каждом пятом слое шпона волокна перпендикулярны расположению волокон в большинстве других слоёв. Данная структура повышает прочность на боковой изгиб и жёсткость панели, а также увеличивает прочность на сдвиг в случае применения в качестве балки. Такой ЛВЛ-брус не подвержен эффекту «скручивания», но обладает чуть худшими механическими характеристиками. Данный вид ЛВЛ-бруса используется там, где необходимы заготовки большой ширины: стеновые и кровельные панели, дверные полотна и т.д. Этот тип ЛВЛ-бруса пока используется в России гораздо реже, что, возможно, обусловлено его более высокой ценой.

В настоящее время на территории России (в частности в Северо-Западном федеральном округе) наиболее широко представлен ЛВЛ-брус трёх марок, соответственно трёх заводов производителей: LVL-брус KERTO производства компании «Финнфорест», являющейся структурным подразделением холдинга «Метсалиито кооператив» (Финляндия), ЛВЛ-брус Ultralam™ производства компании «Современные технологии обработки древесины», входящей в холдинг ТАЛЕОН групп (Россия) и ЛВЛ Югра производства Югорского лесопромышленного холдинга (Россия).

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое арболит и где его применяют?
2. Каковы основные свойства арболита?
3. Что является исходным сырьём для приготовления арболитовой смеси?
4. Что такое королит?
5. Что такое фибролит и где его применяют?
6. Каковы основные свойства фибролита?
7. Что является исходным сырьём для приготовления фибролита?
8. Из каких операций состоит технологический процесс производства фибролитовых плит?
9. Каковы основные свойства цементно-стружечных плит?
10. Чем ксилолит отличается от арболита?
11. Каковы основные свойства ксилолита?
12. Какие вы знаете древесно-полимерные композиционные материалы?
13. Какие существуют классификации ДСП?
14. Что является исходным сырьём для производства ДСП?
15. Какие вещества используются в качестве связующих при изготовлении древесностружечных и древесноволокнистых плит?
16. Какие свойства ДСП и ДВП относятся к физическим?
17. Какие свойства ДСП и ДВП относятся к механическим?

18. Какие основные операции включает технологический процесс производства древесностружечных плит?
19. Чем отличаются ДВП от ДСП?
20. По каким признакам классифицируются ДВП?
21. Какие существуют способы производства ДВП?
22. Каковы области применения ДВП?
23. Что такое MDF-панели и каковы их преимущества перед ДВП?
24. Что такое OSB-панели и где их применяют?
25. Что такое SIP-панели?
26. Из чего изготавливают SIP-панели?
27. Перечислите положительные качества SIP-панелей?
28. Какой недостаток является главным у SIP-панелей?
29. Что такое ЛВЛ-брус? Где применяют ЛВЛ-брус?
30. Какие свойства присущи ЛВЛ-брусу?

## 7. СТЕКЛОПЛАСТИКИ

### 7.1. Общая характеристика стеклопластиков

Стеклопластики – полимерные композиционные материалы, состоящие из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего. Наполнителем служат в основном стеклянные волокна в виде нитей, жгутов (ровингов), стеклотканей, стекломатов, рубленых волокон. Стеклянные волокна формируют из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как терморезактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.).

Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами, кроме того, они прозрачны для радиоволн.

Использование стеклопластиков началось в конце Второй мировой войны для изготовления антенных обтекателей – куполообразных конструкций, в которых размещается антенна локатора. В первых армированных стеклопластиках количество волокон было небольшим, волокно вводилось главным образом, чтобы нейтрализовать грубые дефекты хрупкой матрицы. Однако со временем назначение матрицы изменилось – она стала служить только для склеивания прочных волокон между собой, содержание волокон во многих стеклопластиках достигает 80 % по массе. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, плетенная из стеклянных волокон, называется стеклотекстолитом.

Стеклопластики – достаточно дешёвые материалы, их широко используют в строительстве, судостроении, радиоэлектронике, производстве бытовых предметов, спортивного инвентаря, оконных рам для современных стеклопакетов и т.п.

### 7.2. Свойства и характеристики стеклопластиков

Стеклопластик обладает многими очень ценными свойствами, дающими ему право называться одним из материалов будущего.

*Малый вес.* Удельный вес стеклопластиков колеблется от 0,4 до 1,8 и в среднем составляет  $1,1 \text{ г/см}^3$ . Напомним, что удельный вес металлов значительно выше, например стали – 7,8, а меди –  $8,9 \text{ г/см}^3$ . Даже удельный вес наиболее лёгкого сплава, применяемого в технике, – дуралюмина – составляет  $2,8 \text{ г/см}^3$ . Таким образом, удельный вес стеклопластика в среднем в пять-шесть раз меньше, чем удельный вес у черных и цветных металлов, и

в два раза меньше по сравнению с дуралюмином. Это делает стеклопластик особенно удобным для применения на транспорте. Экономия в весе на транспорте переходит в экономию энергии; кроме того, за счёт уменьшения веса транспортных конструкций – самолётов, автомобилей, судов и т.п. – можно повысить их полезную нагрузку и за счёт экономии топлива увеличить радиус действия.

*Диэлектрические свойства.* Стеклопластики являются прекрасными электроизоляционными материалами и при использовании как переменного, так и постоянного тока.

*Высокая коррозионная стойкость.* Стеклопластики как диэлектрики совершенно не подвергаются электрохимической коррозии. Существует целый ряд смол, позволяющих получить стеклопластики, стойкие к различным агрессивным средам, в том числе и к воздействию концентрированных кислот и щелочей.

*Хороший внешний вид.* Стеклопластики при изготовлении хорошо окрашиваются в любой цвет и при использовании стойких красителей могут сохранять его неограниченно долго. Прозрачность. На основе некоторых марок светопрозрачных смол можно изготовить стеклопластики, по оптическим свойствам немного уступающие стеклу.

*Высокие механические свойства.* При своем небольшом удельном весе стеклопластик обладает высокими физико-механическими характеристиками. Используя некоторые смолы и определённые виды армирующих материалов, можно получить стеклопластик, по своим прочностным свойствам превосходящий некоторые сплавы цветных металлов и стали. Механические свойства стеклопластиков определяются преимущественно характеристиками наполнителя и прочностью связи его со связующим, а температуры переработки и эксплуатации стеклопластика – связующим. Наибольшей прочностью и жёсткостью обладают стеклопластики, содержащие ориентированно расположенные непрерывные волокна. Такие стеклопластики подразделяются на однонаправленные и перекрёстные; у стеклопластика первого типа волокна расположены взаимно параллельно, у стеклопластика второго типа – под заданным углом друг к другу, постоянным или переменным по изделию. Изменяя ориентацию волокон, можно в широких пределах регулировать механические свойства стеклопластиков. Большой изотропией механических свойств обладают стеклопластики с неориентированным расположением волокон: гранулированные и спутанно-волокнистые пресс-материалы; материалы на основе рубленых волокон, нанесённых на форму методом напыления одновременно со связующим, и на основе холстов (матов).

*Теплоизоляционные свойства.* Стеклопластик относится к материалам с низкой теплопроводностью. Кроме того, можно значительно повысить те-



теплоизоляционные свойства путем изготовления стеклопластиковой конструкции типа «сэндвич», используя между слоями стеклопластика пористые материалы, например пенопласт. Благодаря своей низкой теплопроводности, стеклопластиковые сэндвичевые конструкции с успехом применяются в качестве теплоизоляционных материалов в промышленном строительстве, в судостроении, в вагоностроении и т.д.

*Простота в изготовлении.* Существует много способов изготовления стеклопластиковых изделий, большинство из которых требует минимальных вложений в оборудование. Например, для ручного формования потребуются только матрица и небольшой набор ручных инструментов (прикаточные валики, кисти, мерные сосуды и т.д.). Матрица может быть изготовлена практически из любого материала, начиная с дерева и заканчивая металлом. В настоящее время широкое распространение получили стеклопластиковые матрицы, которые имеют сравнительно небольшую стоимость и длительный срок эксплуатации.

### 7.3. Производство стеклопластика

Стеклопластик получают путём горячего прессования стекловолокна, перемешанного с синтетическими смолами. В стеклопластиках стекловолокно играет роль армирующего материала, придающего изделиям высокую механическую прочность при малой плотности.

В настоящее время существует целый ряд различных смол, используемых в производстве стеклопластиковых изделий. Наибольшее распространение получили полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы.

В зависимости от метода формования, химического состава и области применения все смолы можно разделить на следующие группы:

а) по методу формования: для ручного формования, для вакуумной инъекции, для горячего прессования, для процессов намотки, для пултрузии;

б) по области применения: обычные конструкционные, химстойкие, огнестойкие, теплостойкие, светопрозрачные.

#### **Основные методы изготовления стеклопластиковых изделий:**

##### *1. Ручное (контактное) формование.*

При этом методе стеклоармирующий материал вручную пропитывается смолой с помощью кисти или валиков. Затем пропитанный стекломатериал укладывается в форму, где он прикатывается прикаточными валиками. Прикатка осуществляется с целью удаления воздушных включений и равномерного распределения смолы по всему объёму. Отверждение происходит при обычной комнатной температуре, после чего изделие извлекается

ся из формы и подвергается механической обработке (обрезка, высверливание отверстий и т.д.)

Применяемые материалы:

1. Смолы: любые, например эпоксидные, полиэфирные, винилэфирные.
2. Волокна: любые.
3. Наполнители: любые, стойкие к используемым смолам.

Основные преимущества:

1. Широко используется в течение многих лет.
2. Простота процесса.
3. Применяются недорогие инструменты, если используются смолы, отверждаемые при комнатной температуре.
4. Широкий выбор поставщиков и материалов.
5. Более высокое содержание стеклянного наполнителя и более длинные волокна по сравнению с методом напыления рубленого роввинга.

Основные недостатки:

1. Качество смеси смолы и катализатора, содержание стеклообразующего в материале очень зависят от квалификации рабочих.
2. Высокая вероятность воздушных включений в изделии.
3. Малая производительность метода.
4. Вредные условия труда.

*2. Метод напыления рубленого роввинга.*

Стеклонить подается в ножи пистолета, где она рубится на короткие волокна. Затем они в воздухе смешиваются со струёй смолы и катализатора и наносятся на форму. После нанесения рубленого роввинга его необходимо прикатать с целью удаления воздушных включений. Прикатанный материал оставляют отвердевать при обычных атмосферных условиях.

Применяемые материалы:

1. Смолы: прежде всего полиэфирные.
2. Волокна: только стеклонить в виде роввинга (ровницы).
3. Наполнители: любые, стойкие к стиролу. Укладываются вручную.

Основные преимущества:

1. Широко используется много лет.
2. Быстрый путь нанесения волокна и смолы.
3. Дешёвые формы.

Основные недостатки:

1. Изделия имеют тенденцию к высокому содержанию смолы и поэтому получаются чрезмерно тяжёлыми.
2. Присутствуют только короткие волокна, которые ограничивают механические свойства изделия.

3. Смолы должны быть с низкой вязкостью для возможности их напыления. Это приводит к уменьшению их механических свойств и теплостойкости.

4. Вредные условия труда, большое содержание в воздухе мелких частиц стекла.

5. Качество конечного продукта в основном зависит от мастерства оператора установки.

### 3. Метод RTM.

Стеклоармирующий материал укладывается на матрицу в виде заранее заготовленных выкроек. Затем укладывается пуансон, который прижимается к матрице с помощью прижимов. Смола подается в полость формы под рассчитанным давлением. Иногда для облегчения прохода смолы через материал используется вакуум, который создается внутри формы. Как только смола пропитала весь стекломатериал, инъекцию останавливают и изделие оставляют в форме до полного отверждения. Отверждение может проходить при обычной или повышенной температуре.

Применяемые материалы:

1. Смолы: эпоксидные, полиэфирные, винилэфирные.

2. Волокна: любые. Желательно использовать специально предназначенные для этого стекломатериалы с проводящим слоем и механически связанными волокнами.

3. Наполнители: любые, стойкие к стиролу, кроме материалов в виде сот.

Основные преимущества:

1. Могут быть получены изделия с высоким содержанием стекла и с минимальным содержанием пустот.

2. Хорошие условия труда и окружающей среды. Нет большого выброса вредных веществ.

3. Возможно сокращение трудовых затрат и времени на изготовление изделия. Один рабочий может обслуживать одновременно несколько аппаратов, производящих инъекцию.

4. Вся форма изделия имеет глянцевую поверхность.

5. Минимизированы отходы материалов.

Основные недостатки:

1. Дорогие и сложные формы.

2. Сложность процесса.

3. Необходимость иметь инъекционное оборудование.

### 4. Метод пультрузии.

Волокна подаются от катушечной рамы до ванны со смолой и затем проходят через нагретую фильеру. В фильере убираются излишки смолы,

происходит профилирование и отверждение материала. После этого отвержденный профиль автоматически обрезается на необходимые длины.

Применяемые материалы.

1. Смолы: эпоксидная, полиэфирная, винилэфирная.
2. Волокна: любые.
3. Наполнители: не используются.

Основные преимущества:

1. Это может быть очень быстрый процесс пропитки и отверждения материала.

2. Автоматизированное управление содержанием смолы в материале.

3. Недорогие материалы.

4. Хорошие структурные свойства материала, так как профили имеют направленные волокна и высокое содержание стекломатериала.

5. Закрытый процесс пропитки волокна.

Основные недостатки:

1. Ограниченная номенклатура изделий.

2. Дорогое оборудование.

5. *Метод намотки.*

Этот процесс прежде всего используется для изготовления пустотелых круглых или овальных секционных компонентов типа труб или резервуаров. Волокна пропускаются через ванну со смолой, затем через натяжные валики, служащие для натяжения волокна и удаления излишков смолы. Волокна наматываются на сердечник с необходимым сечением, угол намотки контролируется отношением скорости движения тележки к скорости вращения.

Применяемые материалы:

1. Смолы: любые.

2. Волокна: любые. Волокна подаются напрямую от рамы для катушек без дополнительного сшивания в ткань.

3. Наполнители: любые.

Основные преимущества:

1. Это может быть очень быстрый и поэтому экономически выгодный метод укладки материала.

2. Регулируемое соотношение смола/стекло.

3. Высокая прочность при малом собственном весе.

4. Неподверженность коррозии и гниению.

5. Недорогие материалы.

6. Хорошие структурные свойства материала, так как профили имеют направленные волокна и высокое содержание стекломатериала.

Основные недостатки:

1. Ограниченная номенклатура изделий.
2. Дорогое оборудование.
3. Волокно трудно точно положить по длине сердечника.
4. Высокие затраты на сердечник для больших изделий.
5. Рельефная лицевая поверхность.
6. *Метод RFI (Resin Film Infusion).*

Сухие ткани выкладываются вместе со слоями полутвёрдой плёнки из смолы. Весь полученный пакет закрывается специальной плёнкой. Сначала между плёнкой и формой создается вакуум, после чего форму помещают в термошкаф или автоклав. Под воздействием температуры смола переходит в текучее состояние и благодаря вакууму пропитывает материал. После некоторого времени смола полимеризуется.

Применяемые материалы:

1. Смолы: только эпоксидная смола.
2. Волокна: любые.
3. Наполнители: почти все, хотя ПВХ-пена нуждается в специальной обработке из-за высоких температур процесса.

Основные преимущества:

1. Могут быть получены материалы с высоким содержанием стекла и с минимальным содержанием пустот.
2. Высокие физико-механические характеристики из-за твёрдого начального состояния полимера и высоких температур отверждения.
3. Более низкая стоимость процесса по сравнению с методом препрегов.
4. Хорошие условия труда и окружающей среды. Нет большого выброса вредных веществ.

Основные недостатки:

1. Мало применяется вне аэрокосмической промышленности.
2. Для процесса необходимы система вакуумного мешка, термошкаф или автоклав.
3. Требования к оборудованию и инструменту по температуростойкости.

7. *Метод препрегов.*

Препрег – предварительно пропитанная смолами стеклоткань.

Ткани и волокна предварительно пропитаны предкатализированной смолой под высокой температурой и давлением. В таком виде препреги могут храниться до нескольких недель, однако для увеличения срока хранения их хранят при пониженных температурах. Смола в препрегах находится в полутвёрдом состоянии. При формовании препреги укладываются на поверхность формы и закрываются вакуумным мешком. Затем они на-

греваются до температуры примерно 120...180 °С, при этой температуре смола переходит в текучее состояние и препрег принимает размеры формы. Далее при дальнейшем повышении температуры происходит отверждение смолы. Дополнительное давление (до 5 атмосфер) для формования обычно обеспечивается автоклавом.

Применяемые материалы:

1. Смолы: эпоксидные, полиэфирные, фенольные и высокотемпературные смолы типа полиамидных и др.

2. Волокна: любые.

3. Наполнители: любые, стойкие к температурам процесса.

Основные преимущества:

1. Могут быть получены материалы с высоким содержанием стекла и с минимальным содержанием пустот.

2. Хорошие условия труда и окружающая среда. Нет большого выброса вредных веществ.

3. Возможность автоматизировать процесс и снизить трудовые затраты.

Основные недостатки:

1. Высокая стоимость материалов.

2. Для отверждения необходимы автоклавы, которые ограничивают размеры выпускаемых изделий.

## 7.4. Примеры изделий из стеклопластика.

### Применение в строительстве и коммунальном хозяйстве

Стеклопластик применяют как конструкционный и теплозащитный материал при производстве корпусов лодок, катеров, судов и ракетных двигателей, кузовов автомобилей, цистерн, рефрижераторов, радиопрозрачных обтекателей, лопастей вертолётов, выхлопных труб, деталей машин и приборов, коррозионно-стойкого оборудования и трубопроводов, небольших зданий, бассейнов для плавания и др., а также как электроизоляционный материал в электро- и радиотехнике.

*Стеклопластик в строительстве и коммунальном хозяйстве используется в следующих областях:*

- Производство подоконников, плит отделочных, дверей, оконных переплётов, лестниц, перил, ограждений балконов, водосточных желобов, киосков, остановок общественного транспорта.

- Стеклопластиковая арматура для армирования бетона, стеклопластиковые трубы, стеклопластиковые стержни, балки из стеклопластика, сэндвич-панели из стеклопластика.

- Контейнеры для мусора из стеклопластика, ящики для песка, ящики для воды, мобильные санузлы, телефонные будки из стеклопластика; бассейны из стеклопластика, стеклопластиковые емкости для жидких отходов, детские площадки, аттракционы, стеклопластиковые аквапарки.

- Стеклопластиковые резервуары для корма скота, полупрозрачный стеклопластик и кровельные листы из него для оранжерей, теплиц, промышленных зданий, стеклопластик для плафонов уличного освещения, трубопроводы из стеклопластика, стеклопластиковые рекламные тумбы и щиты.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое стеклопластики?
2. Какие свойства присущи стеклопластикам?
3. Каковы основные методы изготовления стеклопластиковых изделий?
4. Где применяют стеклопластики?

## 8. УГЛЕПЛАСТИКИ

На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композиционные материалы – углепластики, способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуру до 3000 °С.

Углеродные волокна, служащие наполнителем в углепластиках, получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Термическая обработка волокна проводится, как правило, в три этапа (окисление – 220 °С, карбонизация – 1000...1500 °С и графитизация – 1800...3000 °С) и приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием (до 99,5 % по массе) углерода.

В зависимости от режима обработки и исходного сырья полученное углеволокно имеет различную структуру.

Для изготовления углепластиков используются те же матрицы, что и для стеклопластиков, – чаще всего терморезистивные и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиками является их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень лёгкие и в то же время прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, чёрного цвета, что несколько ограничивает области их применения.

Существует несколько способов производства подобных материалов. По одному из них углеродные волокна пропитывают фенолформальдегидной смолой, подвергая затем действию высоких температур (2000 °С), при этом происходит пиролиз органических веществ и образуется углерод. Чтобы материал был менее пористым и более плотным, операцию повторяют несколько раз. Другой способ получения углеродного материала состоит в прокаливании обычного графита при высоких температурах в атмосфере метана. Мелкодисперсный углерод, образующийся при пиролизе метана, закрывает все поры в структуре графита. Плотность такого материала увеличивается по сравнению с плотностью графита в полтора раза.

Углепластики используются в авиации, ракетостроении (из углеуглепластиков делают высокотемпературные узлы ракетной техники и скоростных самолетов, тормозные колодки и диски для скоростных самолетов и многоразовых космических кораблей, электротермическое оборудование), машиностроении, производстве космической техники, медтехники, протезов, при изготовлении лёгких велосипедов и другого спортивного инвентаря.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое углепластики?
2. Из чего делают углепластики?
3. Где применяют углепластики?



## 9. БОРОПЛАСТИКИ

Боропластики (бороволокниты) – это полимерные композиционные материалы, в которых как арматуру используют борные волокна.

Диаметр борных волокон 90...150 мкм, в то время как диаметр элементарных углеродных волокон 5...7 мкм. Борную арматуру применяют в виде арматурных нитей, однонаправленных лент различной ширины, листового шпона и тканей.

*Свойства.* Плотность боропластиков ( $2,2 \text{ г/см}^3$ ) – выше, чем углепластиков, но большой диаметр волокон обеспечивает большую устойчивость изделий из них под действием сжимающих нагрузок. Наибольшую прочность и жёсткость удаётся реализовать в однонаправленных боропластиках вдоль оси волокон.

Недостатками однонаправленных боропластиков, как и других ПКМ с такой текстурой, являются низкая прочность и жёсткость в направлениях, перпендикулярных к оси волокон. Чтобы повысить эти характеристики используют перекрестное армирование с расположением слоёв под углами 90, 60 и 45°. Перекрестно армированным боропластикам характерна меньшая анизотропия свойств.

Полимерные композиционные материалы с борными волокнами имеют высокие значения предела усталостной прочности, который очень слабо зависит от температуры испытаний в пределах работоспособности связующего.

Сочетание перечисленных свойств делает целесообразным применение боропластиков в изделиях, работающих в условиях вибрации.

Как и для углепластиков, для боропластиков в качестве связующего чаще всего используются эпоксидные смолы. Термостойкие связующие для своего отверждения нуждаются в больших давлениях и высоких температурах; часто бывает трудно обеспечить отсутствие в них пор, пористость может достигать до 7...20 %.

Борные волокна относятся к классу полупроводников, что позволяет получать в армированных ими материалах сравнительно высокие значения тепло- и электропроводности.

Применяются боропластики, как и углепластики, в космической и авиационной технике. Их высокая прочность и жёсткость при сжатии используются при конструировании несущих частей летательных аппаратов – балок, панелей и т.д. Например, если металлическая двутавровая балка работает на изгиб, то ту её полку, на которой действуют сжимающие напряжения, усиливают пластинами из боропластика, а другую полку, работающую на растяжение, упрочняют углепластиком. Масса такой балки на 20...30 % ниже, чем масса балки из алюминиевых сплавов при одинаковой несущей способности.

В настоящее время проектируется применение боропластиков в лопастях несущих и хвостовых винтов и в трансмиссионных валах вертолетов, в стойках шасси, в отсеках фюзеляжа, в обшивке крыльев самолётов, в дисках компрессоров газотурбинных двигателей. В перспективе использование боропластиков в корпусных деталях, работающих при всестороннем или одноосном сжатии, в трубах, в сосудах внутреннего давления. Замена металлических изделий боропластиковыми позволяет снизить их массу, повысить удельную жёсткость, статическую прочность, предел выносливости и вибропрочность.

#### **Вопросы для самоконтроля**

4. Что такое боропластики?
5. Какие свойства присущи боропластикам?
6. Где применяют боропластики?

## 10. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ

### 10.1. Общая характеристика композиционных материалов с металлической матрицей

*Композиционные материалы* – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделённых выраженной границей, и имеют новые свойства, запроектированные заранее.

Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку.

Компонент, непрерывный во всем объёме композиционного материала, называется *матрицей*. Матрица придаёт требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды. В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и её эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Компонент прерывистый, разделённый в объёме композиционного материала, называется *арматурой*. Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твёрдостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина «армирующий компонент» можно использовать термин «наполнитель».

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

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

- с нуль-мерными наполнителями, размеры которых в трёх измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;
- с двухмерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов:

- с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон, нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу;

- с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя, матов из нитевидных кристаллов, фольги в матрице в параллельных плоскостях;

- с трёхосным (объёмным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе компонентов композиционные материалы разделяются на четыре группы:

- композиционные материалы, содержащие компонент из металлов или сплавов;

- композиционные материалы, содержащие компонент из неорганических соединений оксидов, карбидов, нитридов и др.;

- композиционные материалы, содержащие компонент из неметаллических элементов, углерода, бора и др.;

- композиционные материалы, содержащие компонент из органических соединений эпоксидных, полиэфирных, фенольных и др.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой наблюдается образование твёрдых растворов или химических соединений.

В композиционных материалах с нуль-мерным наполнителем широкое распространение получила металлическая матрица. Композиции на металлической основе упрочняются равномерно распределёнными дисперсными частицами различной дисперсности. Такие материалы отличаются изотропностью свойств. В таких материалах матрица воспринимает всю нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя препятствуют развитию пластической деформации. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц наполнителя.

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

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

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочнённые частицами оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше 300 °С, когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно-упрочнённые сплавы сохраняют эффект упрочнения до температуры  $0,8T_{пл}$ .

Сплавы САП удовлетворительно деформируются, легко обрабатываются резанием, свариваются аргонодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Из них

изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

В композиционных материалах с одномерными наполнителями упрочнителями являются одномерные элементы в форме нитевидных кристаллов, волокон, проволоки, которые скрепляются матрицей в единый монолит. Важно, чтобы прочные волокна были равномерно распределены в пластичной матрице. Для армирования композиционных материалов используют непрерывные дискретные волокна с размерами в поперечном сечении от долей до сотен микрометров.

Материалы, армированные нитевидными монокристаллами, были созданы в начале семидесятых годов для авиационных и космических конструкций. Основным способом выращивания нитевидных кристаллов является выращивание их из перенасыщенного пара (ПК-процесс). Для производства особо высокопрочных нитевидных кристаллов оксидов и других соединений осуществляется рост по П-Ж-К-механизму: направленный рост кристаллов происходит из парообразного состояния через промежуточную жидкую фазу.

Осуществляется создание нитевидных кристаллов вытягиванием жидкости через фильеры. Прочность кристаллов зависит от сечения и гладкости поверхности.

Композиционные материалы этого типа перспективны как высокожаропрочные материалы. Для увеличения КПД тепловых машин лопатки газовых турбин изготавливают из никелевых сплавов, армированных нитями сапфира ( $Al_2O_3$ ), это позволяет значительно повысить температуру на входе в турбину (предел прочности сапфировых кристаллов при температуре  $1680\text{ }^\circ\text{C}$  выше  $700\text{ МПа}$ ).

Армирование сопел ракет из порошков вольфрама и молибдена производят кристаллами сапфира как в виде войлока, так и в виде отдельных волокон, в результате этого удалось удвоить прочность материала при температуре  $1650\text{ }^\circ\text{C}$ . Армирование пропиточного полимера стеклотекстолитов нитевидными волокнами увеличивает их прочность. Армирование литого металла снижает его хрупкость в конструкциях. Перспективно упрочнение стекла неориентированными нитевидными кристаллами.

Для армирования композиционных материалов применяют металлическую проволоку из разных металлов: стали разного состава, вольфрама, ниобия, титана, магния – в зависимости от условий работы. Стальная проволока перерабатывается в тканые сетки, которые используются для получения композиционных материалов с ориентацией арматуры в двух направлениях.

Для армирования лёгких металлов применяются волокна бора, карбида кремния. Особенно ценными свойствами обладают углеродистые волокна,

их используют для армирования металлических, керамических и полимерных композиционных материалов.

*Эвтектические композиционные материалы* – сплавы эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в которых упрочняющей фазой выступают ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации. В отличие от обычных композиционных материалов, эвтектические получают за одну операцию. Направленная ориентированная структура может быть получена на уже готовых изделиях. Форма образующихся кристаллов – в виде волокон или пластин. Способами направленной кристаллизации получают композиционные материалы на основе алюминия, магния, меди, кобальта, титана, ниобия и других элементов, поэтому они используются в широком интервале температур.

*Полимерные композиционные материалы.* Особенностью является то, что матрицу образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, плёнок, стеклотекстолита.

Формирование полимерных композиционных материалов осуществляется прессованием, литьем под давлением, экструзией, напылением.

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

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

## 10.2. Материалы порошковой металлургии

*Порошковая металлургия* – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формуется изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются:

1) возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;

2) значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %);

3) возможность получения материалов максимальной чистоты;

4) простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

### 10.2.1. Пористые порошковые материалы

Отличительной особенностью является наличие равномерной объемной пористости, которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

*Антифрикционные материалы* (пористость 15...30 %), широко применяющиеся для изготовления подшипников скольжения, представляют собой пористую основу, пропитанную маслом. Масло поступает из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся, не требуется подводить смазку извне. Это существенно для чистых производств (пищевая, фармацевтическая отрасли). Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

Подшипники работают при скоростях трения до 6 м/с при нагрузках до 600 МПа. При меньших нагрузках скорости скольжения могут достигать 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06.

Для изготовления используются бронзовые или железные порошки с добавлением графита (1...3 %).

Разработаны подшипниковые спеченные материалы на основе тугоплавких соединений (бориды, карбиды и др.), содержащие в качестве твердой смазки сульфиды, селениды и гексагональный нитрид бора. Подшипники могут работать в условиях вакуума и при температурах до 500 °С.

Применяют металлопластмассовые антифрикционные материалы: спеченные бронзографиты, титан, нержавеющие стали пропитывают фторопластом. Получаются коррозионно стойкие и износостойкие изделия. Срок службы металлопластмассовых материалов вдвое больше, чем материалов других типов.

*Фрикционные материалы* (пористость 10...13 %) предназначены для работы в муфтах сцепления и тормозах. Условия работы могут быть очень тяжелыми: трущиеся поверхности мгновенно нагреваются до 1200 °С, а материал в объеме – до 500...600 °С. Применяют спеченные многокомпонентные материалы, которые могут работать при скоростях трения до

50 м/с на нагрузках 350...400 МПа. Коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7.

По назначению компоненты фрикционных материалов разделяют на группы:

а) основа – медь и её сплавы – для рабочих температур 500...600 °С, железо, никель и сплавы на их основе – для работы при сухом трении и температурах 600...1200 °С;

б) твёрдые смазки – предотвращают микросхватывание при торможении и предохраняют фрикционный материал от износа; используют свинец, олово, висмут, графит, сульфиты бария и железа, нитрид бора;

в) материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и др.

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10 %, железо – 5...10 %, кремнезём или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Из фрикционных материалов изготавливают тормозные накладки и диски. Так как прочность этих материалов мала, то их прикрепляют к стальной основе в процессе изготовления (припекают к основе) или после (приклепывают, приклеивают и т.д.).

*Фильтры* (пористость 25...50 %) из спеченных металлических порошков по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация. Они могут работать при температурах от –273 °С до 900 °С, быть коррозионно-стойкими и жаропрочными (можно очищать горячие газы). Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионно-стойких материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. Для удовлетворения запросов металлургической промышленности разработаны материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь.

Фильтрующие материалы выпускают в виде чашечек, цилиндров, втулок, дисков, плит. Размеры колеблются от дисков диаметром 1,5 мм до плит размерами 450x1000 мм. Наиболее эффективно применение фильтров из нескольких слоев с различной пористостью и диаметром пор.

### 10.2.2. Прочие пористые изделия

*«Потеющие сплавы»* – материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. Благодаря испа-



рению жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин).

Сплавы выпускаются на основе порошка нихроми с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа используются и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

*Пеноматериалы* – материалы с очень высокой пористостью, 95...98 %. Например, плотность вольфрама  $19,3 \text{ г/см}^3$ , а пеновольфрама – всего  $3 \text{ г/см}^3$ . Такие материалы используют в качестве лёгких заполнителей и теплоизоляции в авиационной технике.

### 10.2.3. Конструкционные порошковые материалы

*Спечённые стали.* Типовыми порошковыми деталями являются кулачки, корпуса подшипников, ролики, звездочки распределительных валов, детали пишущих и вычислительных машин и другие. В основном это слабонагруженные детали, их производят из порошка железа и графита. Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латунию. Детали сложной конфигурации (например две шестерни на трубчатой оси) получают из отдельных заготовок, которые насаживают одну на другую с натягом и производят спекание. Для изготовления этой группы деталей используют смеси железо – медь – графит, железо – чугун, железо – графит – легирующие элементы.

Особое место занимают шестерни и поршневые кольца. Шестерни в зависимости от условий работы изготавливают из железографита или из железо – графита с медью или легирующими элементами. Снижение стоимости шестерни при переходе с нарезки зубьев на спекание порошка составляет 30...80 %. Пропитка маслом позволяет обеспечить самосмазываемость шестерни, уменьшить износ и снизить шум при работе.

Спечённые поршневые кольца изготавливают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твёрдая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и увеличивают содержание графита. Применение таких колец увеличивает пробег автомобильного двигателя, уменьшает его износ и сокращает расход масла.

Высоколегированные порошковые стали, содержащие 20 % хрома и 15 % никеля, используют для изготовления изделий, работающих в агрессивных средах.

#### 10.2.4. Спечённые цветные металлы

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы, хорошо обрабатываются давлением.

Широко используются материалы на основе меди (например, изготавливают бронзографитные шестерни). Свойства спечённых латуней выше, чем литых, из-за большей однородности химического состава и отсутствия посторонних включений.

Спечённые алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжелонагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

*Керамикометаллические материалы (керметы)* содержат более 50 % керамической фазы. В качестве керамической фазы используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Керметы отличаются высокими жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, прочностью. Они используются для изготовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (например лопаток турбин, чехлов термопар). Частным случаем керметов являются твёрдые сплавы.

#### 10.2.5. Электротехнические порошковые материалы

*Электроконтактные* порошковые материалы делятся на материалы для разрывных контактов и материалы для скользящих контактов.

*Материалы для разрывных контактов* должны быть тепло- и электропроводными, эрозионно стойкими при воздействии электрической дуги, не свариваться в процессе работы. Контактное сопротивление должно быть как можно меньшим, а критические сила тока и напряжение при образовании дуги – большими. Чистых металлов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Изготавливают контактные материалы прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжелонагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из смесей вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широкое распространение получили материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно-графитовые материалы.

*Скользящие контакты* широко используют в приборах, коллекторных электрических машинах и на электрическом транспорте (токосъёмники).

Представляют собой пары трения, должны обладать высокими антифрикционными свойствами, причем контакт должен быть мягче, чем контртело, и не изнашивать его, так как заменить скользящий контакт проще, чем коллектор или привод. Для обеспечения антифрикционности в состав смесей для скользящих контактов вводят твёрдые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты приборов изготавливают из серебра с графитом, из серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, из вольфрама с палладием.

### 10.2.6. Магнитные порошковые материалы

Различают магнитомягкие и магнитотвёрдые материалы.

*Магнитомягкие* – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основной магнитомягкий материал – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом. Для повышения электросопротивления легируют кремнием, алюминием. Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Отдельно выделяется группа *магнитодиэлектриков* – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Таким материалам присущи высокое электросопротивление и минимальные потери на вихревые токи и на перемагничивание. Изготавливаются в результате смешивания, прессования и спекания, особенностью является то, что при нагреве частицы магнитного материала остаются изолированными и не меняют формы. За основу используют чистое железо, альсиферы.

*Магнитотвёрдые материалы (постоянные магниты)* – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой.

Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо – алюминий – никель (альни), железо – алюминий – никель – кобальт (альнико). После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля.

Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое порошковая металлургия?
2. Какие материалы изготавливают методами порошковой металлургии?
3. Какие композиционные материалы с металлической матрицей вы знаете?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённые примеры композиционных материалов на различных матрицах свидетельствуют о возможности реализации в них чрезвычайно интересных сочетаний важнейших эксплуатационных характеристик – высокой прочности, включая диапазон высоких температур, жаростойкости, усталостной прочности и др.

В настоящее время важны и актуальны вопросы создания и совершенствования конструкций на основе применения материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами, атмосферостойкостью, износостойкостью, трещиностойкостью и другими свойствами.

Это объясняется необходимостью строительства и реконструкции надёжных и долговечных сооружений в различных областях строительства.

В настоящее время композиты широко применяются в строительстве, автомобиле- и судостроении, при изготовлении спортивного инвентаря, эксклюзивных изделий и т.д.

Основные усилия исследователей и производителей направлены на разработку эффективных, технологических и экономических методов получения армирующих волокон, совершенствование технологических процессов изготовления материалов и изделий. Успешное решение этих проблем позволит надеяться, что преимущества, связанные с применением композиционных материалов будут успешно реализованы в самом широком ассортименте изделий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлин, А.А. Принципы создания композиционных материалов [Текст] / А.А. Берлин. – М.: Химия, 1990. – 302с.
2. Болтон, У. Конструкционные материалы. Металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты [Текст] / У. Болтон. – М.: Додека-XXI, 2007. – 256 с.
3. Васильев, В.В. Композиционные материалы [Текст] / В.В. Васильев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
4. Геллер, Б.Э. Справочник по композиционным материалам [Текст] / А.Б. Геллер, М.М. Гельмонт. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
5. Карпов, Я.С. Композиционные материалы: компоненты, структура, переработка в изделия [Текст] / Я.С. Карпов, О.В. Ивановская. – Харьков: Изд-во Нац. аэрокосм. ун-та, 2001. – 153 с.
6. Катанов, Д.Д. Производство фибролитовых плит на цементе [Текст] / Д.Д. Катанов. – М.: Высшая школа, 1998 – 206 с.
7. Клесов, А.А. Древесно-полимерные композиты [Текст] / А.А. Клесов. – М.: Научные основы и технологии 2010 – 756 с.
8. Мерсов, Е.Д. Производство древесноволокнистых плит [Текст] / Е.Д. Мерсов. – М.: Высшая школа, 1999 – 232 с.
9. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: справочник [Текст] / И.Х. Наназашвили. – М.: Высшая школа, 1990 – 495 с.
10. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции [Текст] / И.Х. Наназашвили. – Л.: Стройиздат, 1990 – 415 с.
11. Шварцман, Г.М. Производство древесностружечных плит [Текст] / Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро. – М.: Лесная промышленность, 1992 – 320 с.
12. Худяков, В.А. Современные композиционные строительные материалы [Текст] / В.А. Худяков, А.П. Прошин, С.Н. Кислицына. – М.: АСВ, 2006. – 144 с.
13. Внутренняя отделка. Материалы и технологии [Текст]. – М.: ООО «Стройинформ», 2006 – 844 с.
14. <http://all-for-remont.ru/stroimaterialy/razmery-osb-plit>
15. <http://stroisovety.org/osb-plity-xarakteristiki-i-primenenie/>
16. <http://nastilaem.com/materialy/vyravnivanie/harakteristiki-osb-plit.html>
17. <http://foto-remonta.ru/article-120.html>
18. <http://indeal.ru/publications/tehnicheskie-harakteristiki-stenovyh-paneley-mdf>
19. <http://stroitelmaterialy.ru/MDF.html>
20. <http://chus-info.ru/archiveschr/stroyarch/ctjenovyje-panjeli-mdf.html>

21. <http://stroynedvizhka.ru/stroitelnye-materialy/SIP-paneli/>
22. <http://budmaydan.com/dom/chtotakoe-sip-panel/>
23. <http://www.domizsip.ru/chtotakoe-sip-paneli/harakteristiki-sip-paneley/>
24. <http://www.lvlbrus.ru/index.php/lvl-timber>
25. <http://dimakol.ru/stroy/index.php>
26. <http://www.stroytrest.net/lvl-brus.html>
27. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
28. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	7
1.1. История открытия и создания композиционных материалов .....	7
1.2. Общая характеристика и отличительные особенности композиционных материалов .....	10
1.3. Некоторые распространённые композиты .....	13
2. СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	17
2.1. Классификация композиционных материалов по основным признакам .....	17
2.2. Различные классификации композиционных строительных материалов .....	18
2.3. Виды композиционных материалов и их классификация .....	19
2.4. Структура композиционных материалов .....	22
3. БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН .....	24
3.1. Общие сведения о бетоне .....	24
3.2. Общие сведения о железобетоне .....	25
3.3. Монолитный железобетон .....	28
3.4. Сборный железобетон .....	29
4. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	32
5. ПОЛИМЕРБЕТОНЫ .....	35
5.1. Общая характеристика полимербетонов .....	35
5.2. Компоненты полимербетонов .....	36
5.3. Применение полимербетонов .....	39
6. ОРГАНОПЛАСТИКИ .....	40
6.1. Древесно-цементные композиционные материалы .....	41
6.2. Древесно-полимерные композиционные материалы .....	56
7. СТЕКЛОПЛАСТИКИ .....	111
7.1. Общая характеристика стеклопластиков .....	111
7.2. Свойства и характеристики стеклопластиков .....	111
7.3. Производство стеклопластика .....	113
7.4. Примеры изделий из стеклопластика. Применение в строительстве и коммунальном хозяйстве .....	118
8. УГЛЕПЛАСТИКИ .....	120
9. БОРОПЛАСТИКИ .....	121

10. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ.....	123
10.1. Общая характеристика композиционных материалов с металлической матрицей.....	123
10.2. Материалы порошковой металлургии .....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	132
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	133

Учебное издание

Шитова Инна Юрьевна  
Самошина Екатерина Николаевна  
Кислицына Светлана Николаевна  
Болтышев Сергей Алексеевич

СОВРЕМЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебное пособие

Редактор      М.А. Сухова  
Верстка      Т.А. Лильп

Подписано в печать 27.04.15. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 7,91. Уч.-изд.л. 8,5. Тираж 80 экз.  
Заказ № 152.



Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.