

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Т. В. Соловьева, М. М. Ревяко, И. А. Хмызов**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области природопользования  
и лесного хозяйства в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений  
по специальности 1-48 01 05  
«Химическая технология переработки древесины»  
специализации 1-48 01 05 04  
«Технология древесных плит и пластиков»*

Минск 2008

УДК 674.8(075.8)  
ББК [37.133.6+37.133.8]я7  
С60

Рецензенты:

кафедра строительных и дорожных машин БНТУ  
(заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор,  
Иностраный член РААСН *А. В. Вавилов*);  
главный научный сотрудник Института проблем  
использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси  
доктор технических наук *Г. В. Наумова*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Соловьева, Т. В.**

С60 Технология древесных композиционных материалов и изделий : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1–48 01 05 02 «Технология древесных плит и пластиков» / Т. В. Соловьева, М. М. Ревяко, И. А. Хмызов. – Минск : БГТУ, 2008. – 180 с.  
ISBN 978-985-434-835-3.

Предлагаемое издание содержит лекционный и выносимый на самостоятельную проработку материал, а также лабораторные работы, которые соответствуют учебному плану и рабочей программе по дисциплине «Технология древесных композиционных материалов и изделий».

Пособие предназначено для студентов специальности «Химическая технология переработки древесины».

**УДК 674.8(075.8)**  
**ББК 37.133.6+37.133.8]я7**

**ISBN 978-985-434-835-3**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2008  
© Соловьева Т. В., Ревяко М. М.,  
Хмызов И. А., 2008

Учебное издание

**Соловьева** Тамара Владимировна  
**Ревяко** Михаил Михайлович  
**Хмызов** Игорь Анатольевич

**ТЕХНОЛОГИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. С. Ватечкина*  
Компьютерная верстка *Д. С. Семижен*

Подписано в печать 31.12.2008. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,8.  
Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Т. В. Соловьева, М. М. Ревяко, И. А. Хмызов**

# **ТЕХНОЛОГИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области природопользования  
и лесного хозяйства в качестве учебно-методического пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности 1-48 01 05  
«Химическая технология переработки древесины»  
специализации 1-48 01 05 02  
«Технология древесных плит и пластиков»*

Минск 2008

УДК 674.8(075.8)  
ББК [37.133.6+37.133.8]я7  
С60

Рецензенты:

кафедра строительных и дорожных машин БНТУ  
(заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор,  
Иностранный член РААСН *А. В. Вавилов*);  
главный научный сотрудник Института проблем  
использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси  
доктор технических наук *Г. В. Наумова*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Соловьева, Т. В.**

С60 Технология древесных композиционных материалов и изделий : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48 01 05 02 «Технология древесных плит и пластиков» / Т. В. Соловьева, М. М. Ревяко, И. А. Хмызов. – Минск : БГТУ, 2008. – 176 с.

ISBN 978-985-434-835-3.

Предлагаемое издание содержит лекционный и выносимый на самостоятельную проработку материал, а также лабораторные работы, которые соответствуют учебному плану и рабочей программе по дисциплине «Технология древесных композиционных материалов и изделий». Пособие предназначено для студентов специальности «Химическая технология переработки древесины».

**УДК 674.8(075.8)**  
**ББК 37.133.6+37.133.8]я7**

**ISBN 978-985-434-835-3**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2008  
© Соловьева Т. В., Ревяко М. М.,  
Хмызов И. А., 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Технология древесных композиционных материалов и изделий» предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48 01 05 02 «Технология древесных плит и пластиков». Издание составлено на основе базовой учебной программы и включает изложение лекционного и выносимого на самостоятельную проработку материала, а также содержит лабораторные работы.

Пособие преследует цель профессиональной подготовки инженеров-химиков-технологов в области организации и проведения технологических процессов производства композиционных материалов и изделий, содержащих в качестве заполнителя древесину в различных ее видах, а в качестве матрицы – органические и минеральные вяжущие вещества. Изучаемые технологии направлены на улучшение прикладных свойств полимердревесного комплекса, рациональное использование древесного сырья, переработку древесных отходов, расширение ассортимента выпускаемой на их основе продукции, изучение и регулирование технических и эксплуатационных свойств.

При изложении материала принималось во внимание, что в соответствии с учебным планом студенты изучают ряд смежных дисциплин химического и технического профиля, поэтому научные основы образования древесных композиционных материалов и изделий рассмотрены весьма ограниченно. Это предопределяет и малый объем часов, выделенных в учебном плане на изучение дисциплины.

Более подробно теоретические основы процессов освещены в рекомендуемой литературе. При составлении пособия широко использовались материалы других источников.

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Композиционными* называют материалы, которые состоят из двух или нескольких взаимно нерастворимых компонентов (фаз), имеющих между собой границу раздела и адгезионное взаимодействие. Одну из фаз именуют матрицей, другую – армирующим элементом, или наполнителем (заполнителем).

К древесным композиционным материалам относят материалы, наполненные древесиной в различных ее видах. Роль матрицы выполняет связующее (вяжущее), в которое включен каркас из древесных частиц. Древесный наполнитель придает прочность материалу, воспринимая механические нагрузки, связующее (вяжущее) отвечает за стабильность древесины при сорбции и десорбции влаги, заполняя ее поры и пустоты, и является веществом, осуществляющим адгезионное взаимодействие.

В зависимости от *вида наполнителя* современные композиционные материалы подразделяют на три группы. К первой группе относятся материалы на основе массивной древесины. Представитель этой группы – *модифицированная древесина*. Модифицирование – это процесс направленного изменения природных свойств древесины. Сочетание механического уплотнения древесины с одновременным нагревом (прессование) и различными физико-химическими методами модифицирования (пропитка минеральными маслами, ацетилирование, модифицирование формальдегидом, карбамидом, аммиаком, различными олигомерами и т. д.) позволяет получать материалы с очень высокими механическими, физическими, эксплуатационными свойствами и повышенной формостабильностью.

Во вторую группу входят *композиционные материалы на основе лущеного шпона*, пропитанного синтетической смолой и спрессованного при высокой температуре и давлении с получением пластика.

К третьей группе относятся *материалы, наполненные древесными частицами*. Среди них наиболее представительны:

- древесноволокнистые плиты (ДВП);
- волокна, которые используются для получения гипсоволокнистых и древесноволокнистых плит;
- дробленка входит в состав арболита;
- древесная шерсть применяется для фибролита и представляет собой ленты длиной 500 мм, шириной 2...5 мм и толщиной 0,2...0,7 мм;

– резаная стружка получается на специальных стружечных станках в производстве древесностружечных плит (ДСтП). Используется в производстве цементно-стружечных плит (ЦСП) на каустическом магнезите, изделий из древесно-прессовочных масс и древесно-клеевых композиций;

– стружка в виде отходов получается в процессе механической обработки древесины на строгальных, фрезерных и других станках. Служит наполнителем для отдельных видов арболита и изделий из древесно-прессовочных масс;

– опилки используются для производства гипсоопилочных блоков, опилкобетона, ксилолита, изделий из древесно-прессовочных масс и других материалов;

– древесная крошка – частицы, полученные дроблением кускового шпона (отходов фанерного производства), применяются для получения древесно-прессовочных масс;

– кора в виде частиц, измельченных до размеров 10...40 мм по длине, может быть использована для производства теплоизоляционного материала – королита.

В зависимости от *природы матрицы* все композиционные материалы делятся на три группы.

Первой группе принадлежат материалы, в которых в качестве матрицы применяются **синтетические полимеры**. К таким композициям относятся модифицированная древесина, древесно-слоистые пластики, изделия из древесно-прессовочных масс и древесно-клеевых композиций, древесноволокнистые, древесностружечные плиты. В качестве связующего для них применяются фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные и другие синтетические полимеры, олигомеры и мономеры.

Ко второй группе относятся композиционные материалы, матрицы которых являются **неорганическими вяжущими веществами**. В качестве вяжущих здесь используются клинкерные цементы (для арболита, фибролита, цементно-стружечных плит, опилкобетона и др.), гипс (гипсоопилочные плиты и блоки), магнезиальные вяжущие (плиты на каустическом магнезите, ксилолит, магнезиальный фибролит, прессованный строительный брус) и т. д.

Третьей группе принадлежат материалы, матрицами которых являются **природные клеящие вещества** в виде продуктов гидролитического расщепления углеводного комплекса древесины. Такими материалами являются пьезотермопластики или лигноуглеводные пластики.



В зависимости от *способа прессования* композиционные материалы, полученные из них детали и изделия подразделяются на плоскопрессованные, изостатического прессования и прессования в закрытых пресс-формах.

**Плоским прессованием** изготавливают древесностружечные и древесноволокнистые плиты, плиты на цементе и каустическом магnezите, паркелит, детали упаковочной тары, мебельные детали (элементы ящиков, столов, стульев) и др. Этот способ позволяет получать крупногабаритные материалы, детали и изделия плоских и сложных профилей; способ характеризуется высокой производительностью, простотой конструкторской оснастки, доступностью в производственных условиях.

**Изостатическое прессование** применяется при изготовлении коробчатых цельнопрессованных изделий (тарных и мебельных ящиков, корпусов для радио- и телевизионных приемников, деталей машиностроения и другой продукции). Этот способ позволяет в один прием получать готовые сложнопрофильные изделия, однако он требует сложных и громоздких пресс-форм, высоких давлений прессования и характеризуется сравнительно невысокой производительностью оборудования.

Способ **прессования в закрытых пресс-формах** используется при производстве деталей и изделий машиностроительной, электротехнической и химической промышленности. Применяемая при этом способе пресс-масса получается на основе фенолоформальдегидных смол с высоким процентом их содержания, что обеспечивает хорошую текучесть пресс-массы и высокую прочность изделий. С целью повышения производительности прессового оборудования при этом способе используются многоместные или запирающиеся пресс-формы. Последние, как правило, не стационарные, и термическая обработка изделий в них производится вне пресса. Для равномерного заполнения полостей пресс-форм при изготовлении сложнопрофильных деталей и изделий необходимо высокое давление.

Способ прессования в закрытых пресс-формах применяется на ряде предприятий и получил широкое распространение.

В зависимости от *плотности* композиционные материалы и изделия можно условно разделить на две группы: легкие, имеющие плотность менее  $1200 \text{ кг/м}^3$ , и тяжелые со средней плотностью более  $1200 \text{ кг/м}^3$ .

**Легкие** – это модифицированная древесина, ДВП, ДСП, гипсостружечные и гипсоволокнистые плиты, фибролит, арболит, королит,

гипсоопилочные блоки, тырсолит, изделия из древесно-клеевых композиций. *Тяжелые* – ЦСП, плиты на каустическом магнезите, пьезотермопластики, лигноуглеводные древесные пластики, строительный брус.

Композиционные материалы и изделия (детали) можно классифицировать и в зависимости от *области применения*. В строительстве используют материалы на основе минеральных вяжущих. Модифицированная древесина применяется в строительстве, производстве мебели, машиностроении. Древесно-слоистый пластик используется в машиностроении, электротехнической, радиотехнической, горнодобывающей и легкой промышленности, изделия из древесных пресс-масс применяются в мебельной, тарной промышленности и машиностроении.

Область использования древесных композиционных материалов и изделий постоянно расширяется.

Гарантами для расширения производства и области применения композиционных материалов и изделий являются возобновляемость древесного сырья; необходимость все более полного использования отходов лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий; растущий спрос на нетоксичные высококачественные и огнестойкие материалы для строительства; высокая экономическая эффективность производства при низкой трудоемкости.

Этому будут способствовать и расширение научных исследований в направлениях: совершенствования технологий, создания нового оборудования и автоматизированных линий, расширения номенклатуры минеральных вяжущих, синтетических связующих и модифицирующих добавок, получения композиционных материалов и изделий с высокими улучшенными показателями качества и широкой областью применения.

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

### 2.1. Виды и свойства минеральных вяжущих и химических добавок

*Минеральными вяжущими* называют порошкообразные вещества неорганической природы, которые при смешивании с водой или водными растворами некоторых солей образуют тесто (пластическую массу), которое может со временем отвердевать, превращаясь в камневидное тело. В зависимости от способности твердеть и сохранять прочность под действием влаги минеральные вяжущие подразделяются на воздушные и гидравлические.

*Воздушные вяжущие* могут затвердевать при смешивании с водой и сохранять свою прочность только на воздухе. Материалы на их основе применяются в сооружениях, которые не подвергаются воздействию влаги. К таким вяжущим относятся строительная воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие, жидкое стекло.

*Гидравлические вяжущие* после твердения сохраняют свою прочность как на воздухе, так и в воде, однако начальный период твердения (процесс схватывания), как правило, протекает на воздухе. К ним относятся портландцемент, а также шлаковые, пуццолановые, смешанные цементы, гидравлическая известь. Эти вяжущие применяют для производства композиционных материалов, используемых в сооружениях, подвергающихся воздействию воды.

#### 2.1.1. Воздушные вяжущие вещества

Эффективность применения этих вяжущих обусловлена низкими удельными затратами на их производство и большими запасами исходного природного сырья.

**Гипсовые вяжущие вещества.** Эти порошкообразные вещества, состоящие из полуводного гипса, получают обычно тепловой обработкой двуводного гипса.

Природный двуводный гипс – горная порода осадочного происхождения, состоящая в основном из кристаллов сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Плотные образования гипса называют гипсовым камнем. Средняя плотность гипсового камня зависит от количества и вида

примесей и составляет 2200...2400 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность гипсовой щебенки равна 1200...1400 кг/м<sup>3</sup>.

В природе встречается также и ангидрид, состоящий преимущественно из минерала – безводного сульфата кальция CaSO<sub>4</sub>. Это более плотная и прочная порода. Его истинная плотность достигает 2900...3100 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве исходных материалов для производства гипсовых и ангидридных вяжущих используют также отходы химической промышленности – фосфогипс, борогипс, фторогипс и другие гипсосодержащие.

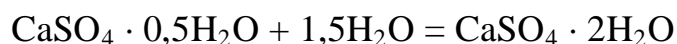
Производство гипса из плотной гипсовой породы состоит из трех основных операций: дробления гипсового камня, помола частиц и их обжига.

Путем обжига природного двуводного гипса при температуре около 180°C он превращается в полуводный по реакции



Ангидридные вяжущие изготавливают обжигом двуводного гипса при температуре 600...950°C. Они почти целиком состоят из ангидрида – безводного сульфата кальция CaSO<sub>4</sub>. Ангидридовые вяжущие можно производить и без термообработки в результате тонкого измельчения природного ангидрида с добавкой активизаторов твердения.

Полуводный гипс при смешивании с водой растворяется с образованием насыщенного водного раствора и превращается в пластичное тело, которое затем твердеет при взаимодействии с водой и переходит в двугидрат, т. е. превращается в первоначальное состояние, по следующей реакции:



Процесс твердения полуводного гипса, по теории А. А. Бойкова, разделяют на три периода.

В первом периоде, начинающемся с момента смешивания гипса с водой, растворяется полугидрат и образуется его насыщенный раствор.

Во втором периоде вода взаимодействует с полуводным гипсом с прямым присоединением ее к твердому веществу. Это приводит к возникновению двуводного гипса в виде высокодисперсных кристаллических частичек и к образованию из них коллоидной массы, которая быстро схватывается.

В третьем периоде частички двугидрата коллоидных размеров перекристаллизовываются с образованием более крупных кристаллов,

что сопровождается твердением системы и ростом ее прочности. Максимальная прочность системы во влажном состоянии достигается через 20...40 мин после затворения. Дальнейшее высыхание затвердевшей системы способствует значительному увеличению прочности. При полном высыхании рост прочности прекращается.

Полугидрат гипса обладает повышенной водопотребностью, что приводит к значительной пористости и невысокой прочности гипсового камня. Тем не менее такое вяжущее находит широкое применение в композиционных древесных материалах, придавая им легкость, тепло- и звукоизоляционные свойства. При мокром способе гипс используют в виде водной смеси, а при полусухом – в виде порошка, смешиваемого с мокрой стружкой. На гипсовой основе изготавливают гипсостружечные, гипсоволокнистые плиты, гипсоопилочные блоки.

**Магнезиальные вяжущие вещества.** К магнезиальным вяжущим относятся каустический магнезит и каустический доломит. Сырьем для них служат природный магнезит  $MgCO_3$  и доломит  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ . Наибольшее распространение в композиционных материалах на основе измельченной древесины получил каустический магнезит.

Каустический магнезит представляет собой порошок, состоящий в основном из оксида магния. Производство его заключается в добыче сырья, его дроблении, обжиге и помоле. При обжиге магнезита при температуре 700...800°C он разлагается по реакции



Обожженный каустический магнезит измельчают и тщательно упаковывают в металлическую или другую влагонепроницаемую тару для предотвращения его гидратации.

При затворении водой каустический магнезит твердеет медленно и достигает небольшой прочности. Скорость твердения резко возрастает при затворении его растворами хлорида магния (бишофита)  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  или сульфата магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Концентрацию раствора хлорида магния готовят в пределах 12...30° по Боме. Чем она больше, тем медленнее схватывается вяжущее, но тем выше конечная прочность получаемого затвердевшего камня.

Соотношение между компонентами по массе при затворении хлоридом магния принимают:  $MgO$  – 62...67%,  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  – 38...33% (в пересчете на активный оксид магния, содержащийся в каустическом магнезите примерно в количестве 85% по массе). При применении

раствора сульфата магния берут 80...84% MgO и 16...20% MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, считая на обезвоженный MgSO<sub>4</sub>.

Магнезиальное вяжущее, являясь воздушным вяжущим, в воде или влажной атмосфере резко теряет свою прочность.

Сроки схватывания каустического магнезита зависят от температуры обжига и тонкости помола; пережог и грубый помол замедляют схватывание. Обычно начало схватывания наступает через 20 мин и заканчивается через 6 ч от начала затворения.

Прочность бетонов на основе магнезиального вяжущего через сутки достигает 35...50%, а через 7 сут – 60...90% наибольшего значения, получаемого при твердении в воздушной среде при обычных температурах.

Каустический магнезит дает высококачественные бетоны в сочетании с органическими заполнителями (опилки, стружки, костра и т. д.), придавая последним высокую стойкость против гниения.

Магнезиальный цемент в строительстве используют для устройства теплых бесшовных, называемых ксилолитами, полов, наполнителем которых являются древесные опилки. Эти полы относительно мало теплопроводны, они стойки к истиранию, негорючи. Применяют магнезиальный цемент и для изготовления фибролита.

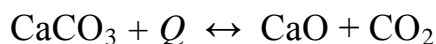
Используя высокотемпературный нагрев в прессе, на основе магнезиального вяжущего и древесных частиц изготавливают особо прочные древесностружечные плиты и строительный брус.

**Известь строительная воздушного твердения.** Строительная воздушная известь представляет собой продукт, получаемый из известковых и известково-магнезиальных карбонатных пород путем их обжига до возможно полного удаления углекислоты. Строительная известь состоит преимущественно из оксида кальция. В состав исходных известняков входят карбонат кальция CaCO<sub>3</sub> и небольшое количество минеральных примесей (глина, кварцевый песок, пирит, гипс и др.). При содержании примесей в количестве 6...8% путем обжига получают гидравлическую известь.

Различают плотные известняки, которые имеют мелкозернистую кристаллическую структуру, содержат небольшое количество примесей и отличаются высокой прочностью. Именно они обычно наиболее широко используются для получения вяжущего. К ним относятся: мел – мягкая, рыхлая горная порода, легко расщепляющаяся на мелкие куски; известковый туф, отличающийся ноздреватым строением и большой пористостью; доломитизированные известняки и доломиты, по своим свойствам сходные с плотным известняком.

Средняя плотность известняков составляет 2400...2800 кг/м<sup>3</sup>, мела – 1400...2400 кг/м<sup>3</sup>. Влажность известняков колеблется в пределах 3...10%, а мела – 15...25%.

Обжиг сырья осуществляется во вращающихся или шахтных печах (в зависимости от прочности) при температуре 1000...1200 до полного удаления углекислого газа. При этом происходит термическая диссоциация CaCO<sub>3</sub> по уравнению



где  $Q$  – количество теплоты, требуемое для разложения 1 моля CaCO<sub>3</sub> ( $Q = 180$  кДж).

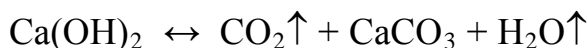
Различают следующие виды воздушной извести: известь негашеная комовая; известь негашеная молотая; известь гидратная (пушонка); известковое тесто или известковое молоко.

Известь негашеная комовая представляет собой смесь кусков различной величины. Это полупродукт, полученный после обжига сырья – известняка.

Известь негашеная молотая – порошковидный продукт тонкого измельчения комовой извести. По техническому составу негашеная известь состоит в основном из свободных оксидов кальция и магния с преимущественным содержанием CaO.

Гидратная известь (гашеная известь) получается путем гашения комовой или молотой негашеной извести соответствующим количеством жидкой или парообразной воды. При гашении происходит переход оксида кальция (и магния) в их гидраты. Гидратная известь состоит в основном из гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, а также небольшого количества примесей (как правило, гидроксида магния Mg(OH)<sub>2</sub>, карбоната кальция). В зависимости от количества воды, взятой на гашение, можно получить пушонку, известковое тесто или известковое молоко.

Растворы гашеной извести твердеют при положительной температуре на воздухе. При этом протекают два процесса – карбонизация и кристаллизация гидроксидов кальция, вызванные испарением воды:



Испарение воды способствует сближению кристаллов CaCO<sub>3</sub>, их срастанию и образованию монолитного теста. При производстве древесно-минеральных материалов гашеная известь в различном виде является добавкой к основному вяжущему.

**Жидкое стекло.** Представляет собой растворимые натриевые и калиевые соли кремниевой кислоты – Na<sub>2</sub>O ·  $n$  + SiO<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>O ·  $n$  +

$\text{SiO}_2$ , где  $n$  – так называемый модуль стекла, представляющий собой отношение числа грамм-молекул кремнезема к 1 грамм-молю того или иного оксида щелочного металла. Наиболее часто применяют более дешевое натриевое стекло с модулем 2,6...3,4. Чем выше модуль растворимого стекла, тем больше в нем коллоидного кремнезема и выше клеящие свойства такого стекла.

Жидкое стекло получают обжигом смеси кварцевого песка с содой или сульфатом натрия при температуре 1300...1400°C. При охлаждении расплава образуется твердая масса, называемая силикат-глыбой. Последнюю подвергают тонкому помолу, а затем растворяют в воде. Для ускорения этот процесс ведут в автоклавах при давлении 0,6...0,7 МПа и температуре 150°C.

Растворимое стекло может твердеть только на воздухе. В процессе твердения происходит испарение жидкой фазы, повышение концентрации свободного коллоидного кремнезема, его последующая коагуляция и уплотнение. В твердении растворимого стекла участвует и углекислота воздуха, нейтрализуя NaOH, содержащийся в растворе жидкого стекла и препятствующий выпадению из раствора кремниевой кислоты. Существенно ускоряет процесс твердения растворимого стекла добавка к нему кремнефтористого натрия  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ; в результате его взаимодействия с силикатом натрия последний разлагается с образованием геля кремниевой кислоты, являющегося «клеящим веществом», что и приводит к быстрому твердению системы.

Жидкое стекло, чаще всего натриевое, входит в состав композиционных древесных материалов в качестве химической добавки и применяется при производстве арболита, ЦСП, опилкобетона и т. д.

### 2.1.2. Гидравлические вяжущие вещества

Среди гидравлических вяжущих наиболее распространен портландцемент, а также шлаковые, пуццолановые, смешанные цементы и гидравлическая известь. Эти вяжущие применяются для производства материалов, способных эксплуатироваться в условиях воздействия воды.

**Портландцемент.** Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество – продукт тонкого измельчения портландцементного клинкера совместно с гипсом, а иногда и со специальными добавками.

Клинкер получают обжигом до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой массы, состоящей из известняка (75%), глины (25%) и некоторых других материалов (мергеля, доменного шлака и пр.).



При этом в нем обеспечивается преимущественное содержание высокоосновных силикатов кальция.

Сырьевыми материалами для изготовления клинкера служат карбонатные горные породы с высоким содержанием углекислого кальция и глинистые породы, содержащие кремнезем, глинозем и оксид железа. В производстве портландцемента наиболее широко используются известняки и мел, а также мергели.

Мергели являются природной смесью мельчайших частиц углекислого кальция и глины. По содержанию  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в расчете на прокаленное вещество они близки к клинкеру. По физическим свойствам мергели могут резко различаться: одни имеют плотную структуру и прочны, другие, как и мел, рыхлы и влажны. Средняя плотность мергелей составляет  $2200\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$ , влажность –  $5\text{--}20\%$ .

Глины представляют собой тонкодисперсные горные осадочные породы, легко дающие суспензию при взбалтывании с водой. По минеральному составу глина характеризуется преимущественно содержанием водных алюмосиликатов и кварцевого песка. Средняя плотность комовой глины достигает  $1800\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$ , влажность –  $5\text{--}20\%$ .

Наряду с материалами природного происхождения цементная промышленность использует отходы различных производств, например доменные шлаки, золу и т. д.

Портландцементный клинкер получают в виде спекшихся гранул и кусков размером до  $10\text{--}20 \text{ мм}$  или  $50\text{--}60 \text{ мм}$  в зависимости от типа печи.

Химический состав клинкера колеблется в широких пределах. Главные оксиды цементного клинкера ( $95\text{--}97\%$ ) – это оксид кальция  $\text{CaO}$ , диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , оксиды алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В небольших количествах могут также входить оксиды магния, хрома, марганца, серный ангидрид и др.

Повышенное содержание оксида кальция обуславливает большую скорость твердения портландцемента, его высокую конечную прочность, но незначительно пониженную водостойкость. Кремнезем уменьшает скорость твердения на начальной стадии, но увеличивает водостойкость.

Производство портландцемента может быть разделено на два комплекса операций: изготовление клинкера и получение портландцемента измельчением клинкера совместно с гипсом, активными минеральными и другими добавками (если они используются).

Для изготовления доброкачественного портландцемента химический состав клинкера и, следовательно, состав сырьевой смеси должен быть устойчив. Элементарный химический состав клинкера следующий, %:

CaO – 63...66;

SiO<sub>2</sub> – 21...24;

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4...8;

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2...4;

MgO – не более 5;

SO<sub>3</sub> – 1,5...3,5.

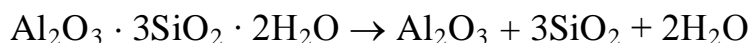
Кроме того, в клинкере могут присутствовать также щелочные оксиды Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O, что нежелательно.

В настоящее время используются три способа подготовки клинкерной сырьевой смеси из исходных материалов: мокрый (помол и смешивание сырья осуществляется в водной среде), сухой (материалы измельчаются и смешиваются в сухом виде) и комбинированный.

При мокром способе облегчается измельчение сырья, но возрастает расход топлива на обжиг. При сухом способе получается клинкер пониженного качества за счет худшего измельчения.

Дробление сырья осуществляется в дробилках, помол до необходимой дисперсности – в мельницах. При двух- или трехступенчатом измельчении исходный материал подвергают дроблению или помолу последовательно в двух или трех машинах, извлекая после каждой ступени с помощью сепараторов продукт с необходимой дисперсностью. При тонком измельчении (помоле) получают продукт с зернами размерами меньше 0,5 мм.

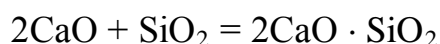
Обжиг сырьевой массы производится в основном во вращающихся печах. Шлам, проходя через печь, сначала подсушивается при температуре 700...800°C до влажности 8...12%, а затем, подвергаясь воздействию все более высокой температуры, претерпевает ряд физических и физико-химических превращений. При 1300...1500°C материал спекается, образуя при этом клинкерные зерна размером 15...30 мм и более. В процессе обжига сырьевой смеси указанные оксиды вступают в химическое взаимодействие. После распада каолинита



и термической диссоциации карбоната



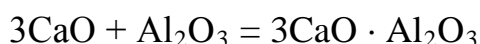
в процессе обжига происходит химическое связывание CaO в твердом состоянии по следующим уравнениям:



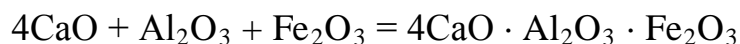
двухкальциевый силикат – C<sub>2</sub>Si



трехкальциевый силикат –  $\text{C}_3\text{Si}$



трехкальциевый алюминат –  $\text{C}_3\text{Al}$



четырекальциевый алюмоферрит

Содержание каждого оксида в портландцементном клинкере, %:

$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  – 15...53;

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  – 42...45;

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  – 2...15;

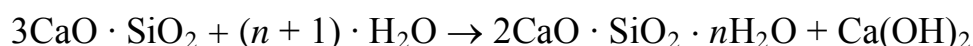
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  – 10...25.

Кроме того, как уже отмечалось, в клинкере могут присутствовать щелочные оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , что нежелательно.

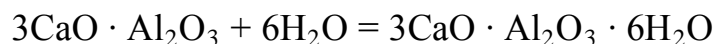
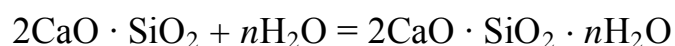
Пройдя зону высоких температур, клинкер поступает в зону охлаждения: вначале потоком холодного воздуха и далее в колосниковом холодильнике до температуры 30...50°C.

Охлажденный клинкер перемещается в колосниковый грохот, далее – в дробилку и бункер. Помол клинкера осуществляется чаще всего на шаровых мельницах.

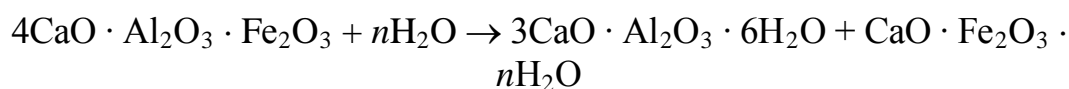
**Механизм твердения цемента.** По теории, разработанной А. А. Бойковым, процесс твердения цемента, как и гипса, можно разделить на три периода. В первом периоде при соприкосновении с водой цементных зерен поверхностные слои клинкерных материалов вступают с ней в химические реакции. Трехкальциевый силикат подвергается гидролизу и гидратации, в результате чего образуются гидросиликат кальция и гидрат оксида кальция:



Двухкальциевый силикат и трехкальциевый алюминат гидролизуются, образуя гидросиликат и гидроалюминат кальция:



Четырекальциевый алюмоферрит гидролизует по реакции



Первоначально процессы гидролиза и гидратации идут интенсив-

но, но со временем во внутренние слои вода проникает все труднее, и в целом процесс взаимодействия воды с цементными минералами протекает сравнительно медленно. Образующиеся соединения быстро насыщают раствор. Процесс насыщения происходит тем быстрее, чем меньше взято воды для затворения.

В момент полного насыщения гидратные новообразования уже не растворяются, а наполняются в состоянии коллоидного раздробления, или геля. Дальнейшая гидратация приводит к уменьшению количества свободной воды, склеивающая способность геля увеличивается, цементное тесто теряет пластичность, т. е. начинает схватываться.

В период кристаллизации гидраты оксида кальция и трехкальциевый гидроалюминат начинают переходить в кристаллическое состояние. Одновременно с этим медленно кристаллизующийся гель гидросиликата кальция уплотняется. Образующиеся кристаллы главным образом из гидрата оксида кальция и трехкальциевого гидроалюмината срастаются и, пронизывая коллоидные массы, состоящие в основном из гидросиликата кальция, образуют прочный кристаллический сросток, называемый цементным камнем.

**Основные свойства портландцемента.** К основным свойствам портландцемента относятся: тонкость помола, водопотребность, скорость схватывания, прочность (марка) цемента. Истинная плотность цементного камня составляет  $3000...3200 \text{ кг/м}^3$ , средняя плотность в рыхлом состоянии –  $900...1300 \text{ кг/м}^3$ .

*Тонкость помола* – фактор, определяющий быстроту твердения и прочность цементного камня. Цементный порошок в основном состоит из зерен размером от  $5...10$  до  $30...40$  мкм. В настоящее время обычный портландцемент измельчают на сите № 008 до остатка  $5...8\%$  (по массе), цементы быстротвердеющие – до остатка  $2...4\%$  и меньше. При этом удельная поверхность достигает соответственно  $2500...3000$  и  $3500...4000 \text{ см}^2/\text{г}$ . С увеличением тонкости помола возрастает скорость твердения и прочность цемента, но лишь до показателей удельной поверхности  $7000...8000 \text{ см}^2/\text{г}$ , далее прочностные параметры ухудшаются.

Под *водопотребностью* вяжущего вещества понимают такое количество воды, которое необходимо ввести в него до получения теста с так называемой нормальной густотой.

Нормальной густотой цементного теста условно называют такую консистенцию, при которой пестик Тетмайера погружается в него на определенную, нормированную стандартом, глубину.

В зависимости от вида минерального состава и тонкости помола,

а также сроков и условий твердения цемент присоединяет 15...25% воды. Практически для приготовления растворов с целью ускорения твердения расходуется большее количество воды; в результате вводимая вода повышает пористость цементного камня, что отрицательно сказывается на его прочности.

Водопотребность цемента можно регулировать в значительных пределах с помощью добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ), оказывающих разжижающее воздействие. Причем ПАВ в количестве 0,1...0,3% вводят в цементы при помоле, получая так называемые пластифицированные портландцементы. Их можно добавлять и при получении растворных смесей.

Большое практическое значение при использовании вяжущих имеет *скорость их схватывания* и твердения. Схватыванием называется процесс, при котором относительно подвижная смесь цемента с водой постепенно густеет и приобретает такую начальную прочность, при которой ее механическая переработка становится практически затруднительной и даже невозможной (в конце схватывания). Условно, согласно стандартам, начало и конец схватывания цемента определяют на тесте нормальной густоты при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  по глубине погружения в него иглы Вика. По стандарту начало схватывания теста из этого вяжущего должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч, считая от момента смешивания цемента с водой.

Важнейшим регулятором скорости схватывания портландцемента является двуводный гипс. Клинкер, измельченный без гипса, характеризуется очень короткими сроками схватывания, препятствующими его использованию.

На скорость схватывания цемента значительно влияют и такие факторы, как водосодержание и температура. С уменьшением водосодержания и увеличением температуры скорость схватывания возрастает.

*Прочность портландцемента* – главное свойство, характеризующее его качество и устанавливающее марку. Прочность при изгибе и сжатии определяют на балочках размером  $40 \times 160$  мм, изготовленных из раствора цемента с песком при соотношении 1 : 3 по массе при температуре  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  и водоцементном соотношении, равном 0,4. Методика приготовления раствора, образцов из него и проведения испытаний определяется стандартом.

В зависимости от предела прочности при сжатии, с учетом предела прочности при изгибе стандартных образцов (балочек), через 28 сут твердения портландцемент разделяют на марки 300, 400, 500, 550 и 600.

Фактическую прочность, полученную при испытаниях на осевое сжатие половинок указанных образцов, называют активностью цемента.

Прочность цемента при нормальных условиях твердения наиболее интенсивно нарастает в первые 7 сут. Через 3 сут она составляет 30...35%, через 7 сут – 60...70% прочности соответствующей марки цемента. В дальнейшем рост прочности замедляется, но продолжается длительное время, вплоть до года.

**Гидравлическая известь.** Гидравлической известью называют продукт, который получают обжигом, не достигая спекания мергелистых известняков, содержащих 6...25% глинистых и тонкодисперсных песчаных примесей.

Мергелистые известняки, кроме глинистых примесей, обычно содержат включения карбоната магния и некоторые другие примеси.

Производство гидравлической извести состоит из следующих основных операций: доставки и подготовки мергелистого известняка, его обжига и помола.

В результате обжига при температуре 900...1000 карбонаты кальция и магния разлагаются, происходит взаимодействие их с песчаными и глинистыми примесями, и конечный продукт имеет в своем составе свободный оксид кальция и двухкальциевый силикат, образующийся в основном при взаимодействии  $\text{CaCO}_3$  с примесями тонкодисперсного песка.

Обожженную известь дробят и измельчают в мельницах до остатка на сите № 008 не более 5...7%.

При схватывании и твердении молотой гидравлической извести протекают физико-химические процессы, характерные для твердения молотой негашеной извести, с одной стороны, и гидравлических вяжущих веществ, с другой. Вначале, как и при воздушном твердении молотой негашеной извести, содержащийся в гидравлической извести оксид кальция гидратируется в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Затем при твердении во влажной среде силикаты, алюминаты и ферриты кальция постепенно гидратируются, образуя соответствующие гидраты в гелевидном состоянии. Протекающие при этом физические процессы, как и при твердении других гидравлических вяжущих веществ, способствуют их постепенному уплотнению и росту прочности.

Специфические свойства этой извести обуславливают необходимость обеспечивать вначале воздушно-сухие условия твердения, а затем – влажные (для гидратации силикатов, алюминатов и ферритов кальция).

Гидравлическая известь – медленно схватывающееся вяжущее ве-

щество. В зависимости от содержания в ней свободного оксида кальция сроки схватывания колеблются в пределах 0,5...1,0 ч, но до 8...16 ч.

Строительные растворы и бетоны на основе гидравлической извести обладают более высокой прочностью, чем воздушной. Растворы на основе гидравлической извести пригодны для эксплуатации как в сухих, так и во влажных средах.

### **2.1.3. Химические добавки**

В производстве композиционных материалов на основе минеральных вяжущих широко применяются различные химические добавки. Их назначение – локализация действия компонентов древесного сырья, относящихся к классу цементных ядов, ускорение процесса твердения цемента, улучшение технологических свойств древесно-цементной смеси (однородности, удобоукладываемости), придание особых свойств материалу (огнестойкости, биостойкости, гидрофобности) и т. д.

Хлорид кальция, нитрат кальция, нитрит-нитрат-хлорид кальция, сернокислый глинозем, хлорид кальция + оксид кальция – это химические добавки, ускоряющие процесс твердения цемента. Они позволяют сократить срок воздействия вредных веществ на гидролиз и гидратацию цемента.

Стекло натриево-жидкое покрывает частицы заполнителя водонепроницаемой пленкой, которая препятствует соприкосновению вредных веществ с цементным тестом. Часто в качестве комплексных добавок для локализации цементных ядов и воздействия на цементное тесто применяют жидкое стекло в сочетании с сернокислым глиноземом, жидкое стекло с хлоридом кальция и т. д.

### **2.1.4. Механизм образования древесно-минеральных материалов на основе портландцемента**

Сложный комплексный состав древесины и минерального вяжущего цемента предопределяет физико-химические процессы между различными компонентами композиции, оказывающие существенное влияние на гидратацию и твердение цемента, на кристаллизацию и структурообразование в цементном камне, на образование связей на границе раздела вяжущее – древесный заполнитель и, как следствие, на прочность композиционного материала.

Под действием воды и сильнощелочной жидкой фазы цемента

(рН 12...14) происходит растворение и разложение гемицеллюлозных компонентов древесины. Продукты разложения уменьшают скорость схватывания цемента, а при достаточной их концентрации в растворе препятствуют образованию продуктов гидратации в цементе.

К веществам, оказывающим отрицательное воздействие на цемент, относятся в первую очередь сахара, а также кислоты, дубильные вещества и, очень вероятно, продукты щелочной деструкции лигнина древесины, фенолы и хиноны.

По данным Московского государственного университета леса (МГУЛ), сущность действия цементных ядов заключается в том, что углеводы, дубильные вещества и др., входящие в состав древесины, являются поверхностно-активными гидрофилизирующими веществами по отношению к цементу. В результате адсорбции и под воздействием молекулярных сил сцепления они ориентируются вокруг цементных зерен, образуя мельчайшее покрытие – адсорбционный слой. Частицы цемента, покрытые такой защитной оболочкой, теряют способность сцепляться друг с другом под влиянием молекулярных сил. Образованная оболочка затрудняет доступ воды к зернам цемента и отвод продуктов гидратации от них, что приводит к торможению гидролиза и гидратации цемента, а при определенной концентрации продуктов деструкции – к прекращению этих процессов.

Проведенные в МГУЛ исследования процессов взаимодействия водорастворимых веществ древесины как с цементом, так и с его отдельными клинкерными материалами показали, что данные вещества отрицательно влияют не только на процессы гидратации и твердения цемента, но и на процессы кристаллизации и структурообразования в цементном камне. В связи с этим для получения высококачественных древесно-цементных композиционных материалов необходимо локализовать различными способами содержащиеся в древесине водорастворимые вещества, что и предусматривается современными технологическими процессами производства таких материалов.

## **2.2. Получение основных видов древесных композиционных материалов на основе минеральных вяжущих и их свойства**

### **2.2.1. Цементно-стружечные плиты**

**Общие сведения.** Цементно-стружечные плиты (ЦСП) – новый



строительный материал из качественной древесной стружки и цемента с добавкой ряда химикатов для ускорения твердения цемента. По сравнению с традиционными древесными материалами, применяемыми в строительстве, ЦСП имеют ряд преимуществ. Они негорючи, нетоксичны, био- и атмосферостойкие. К недостаткам ЦСП следует отнести большую плотность, невысокое сопротивление ударным нагрузкам, труднообрабатываемость.

В зависимости от уровня физико-механических показателей плиты, выпускаемые в России, подразделяются на две марки: ЦСП-1 и ЦСП-2. Плиты марки ЦСП-1 изготавливаются в основном из древесины хвойных пород, ЦСП-2 – из смеси хвойных и лиственных. В качестве конструкционного материала используются плиты ЦСП-1. Из данных табл. 2.1 очевидно, что по большинству показателей физико-механических свойств плиты российского производства не уступают зарубежным.

Таблица 2.1

**Физико-механические показатели цементно-стружечных плит**

Показатель	Страна-производитель			
	Голландия	Германия	Россия	
			ЦСП-1	ЦСП-2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200...1300	1200...1300	1100...1400	
Влажность, %	9 ± 3	9 ± 3	9 ± 3	
Разбухание по толщине, % после 24 ч вымачивания	1,5	1,2...1,9	Не более 2	
Прочность, МПа: – на статический изгиб при толщине плит, мм: 8...16 16...24 26...40			12 10 9	9 8 7
– для всех толщин	9...13	9...13	–	–
– на растяжение перпендикулярно пласти, не менее	0,35	0,4	0,4	0,35
– на сжатие	–	15	–	–
Модуль упругости при изгибе, МПа	4000	3000	3500	3000
Шероховатость пласти по ГОСТ 7016, мкм, не более: – нешлифованных	–	–	320	320
– шлифованных	–	–	80	100
Биостойкость по ГОСТ 17612	–	–	Класс 4	
pH	–	11...13	11...13	
Твердость, МПа	–	–	45...46	

Удельная теплоемкость, кДж/(кг · град)	–	–	1,15
Теплопроводность, Вт/(м · К)	–	–	0,25

Физико-механические свойства ЦСП зависят от многих факторов (породы древесины, качества стружки, марки цемента, соотношения компонентов в смеси, технологических особенностей производства и т. д.).

При увлажнении показатели физико-механических свойств снижаются в связи с неодинаковым разбуханием цементного камня и древесины, приводящим к внутренним напряжениям и ослаблению контакта между ними. Для повышения водостойкости плит их необходимо покрывать влагозащитными лакокрасочными материалами.

Наиболее широко применяются ЦСП в панельном деревянном домостроении. ЦСП можно использовать в качестве элементов каркасно-обшивных перегородок. Перегородки с деревянным каркасом и обшивкой из ЦСП применяют для ограждения производственных зданий с несущими металлическими конструкциями.

ЦСП используют в качестве перегородок душевых кабин и санузлов административно-бытовых зданий промышленных предприятий, для ограждения лестничных маршей и площадок, балконов, лоджий в зданиях, для подоконных досок; обшивки из ЦСП – для устройства подвесных потолков в общественных и промышленных зданиях.

Полы из ЦСП по бетонному основанию устраивают в вестибюлях, коридорах, торговых залах магазинов и предприятий общественного питания, а также в прихожих, кухнях, туалетах жилых домов. ЦСП укладывают на мастике, торцы соединяют встык рейкой.

ЦСП используют в качестве элементов встроенных шкафов в жилых и общественных зданиях, в качестве неизвлекаемой опалубки монолитных железобетонных фундаментов, для огнезащитной облицовки стальных колонн и балок в промышленных, общественных и жилых зданиях, для изготовления вентиляционных коробов и т. д. В коробчатых панелях из ЦСП в качестве утеплителя применяют минераловатные плиты и заливочный пенопласт.

**Технология цементно-стружечных плит.** Технологический процесс изготовления ЦСП предусматривает следующие операции: подготовку древесного сырья (сортировку, окорку, выдержку, разделку долготы на мерные заготовки); изготовление стружки с последующей сортировкой и доизмельчением; приготовление цементно-стружечной смеси (подготовку растворов химических добавок, дозирование стружки, растворов химических добавок, воды и цемента, их смешивание); формирование пакетов или ковра на поддонах и его разделение

на пакеты; прессование пакетов; тепловую обработку; распрессовку и разборку пакетов; твердение плит в штабелях; кондиционирование пакетов; форматную обрезку; сортирование и складирование.

В связи с применением технологических линий как на российском, так и на другом оборудовании и с учетом вида и состояния сырья технологический процесс на действующих предприятиях может незначительно отличаться. Ниже представлена российская технология ЦСП с описанием основных операций.

**Подготовка древесного сырья.** Основным сырьем в производстве ЦСП являются лесоматериалы круглых хвойных (кроме лиственницы и кедра) и лиственных пород (береза, осина, липа) диаметром 6...24 см II и III сорта. Смесь хвойных и лиственных пород не допускается. Необходимость применения круглых лесоматериалов связана с тем, что только из них можно получить качественную резаную стружку определенных размеров, из которой можно изготовить ЦСП с более высокими показателями прочностных свойств. Вместе с тем для среднего слоя трехслойных ЦСП следует использовать древесные частицы, полученные из щепы, что заметно расширяет сырьевую базу с учетом применения отходов лесопиления и деревообработки и технологической щепы, получаемой на лесозаготовительных предприятиях.

Все древесное сырье, поступающее на предприятие, должно быть сортировано и уложено на складе по породам и видам сырья. Круглые лесоматериалы проходят окорку, и, при необходимости, из них удаляется гниль.

Щепа, поставляемая на предприятия из леспромхозов, а также от цехов лесопиления, деревообработки или фанерных предприятий складировается по породам для выдержки.

Сырье выдерживается на открытом складе в течение длительного времени (до 6 мес.) с целью уменьшения содержания вредных для цемента веществ, особенно водорастворимых сахаров, а также для выравнивания влажности.

Длинномерную древесину, предназначенную для переработки в качественную стружку на станках типа ДС-6, ДС-8, раскраивают по длине на многопильных станках типа ДЦ-10.

**Изготовление стружки с последующей сортировкой и доизмельчением.** Изготовление стружки из крупномерного сырья на станках типа ДС-6, ДС-8, «Хомбак» обеспечивает получение частиц с гладкой поверхностью и заданными размерами.

После первичного измельчения и сортирования стружка, предназначенная для наружных слоев, доизмельчается на молотковых дро-

билках ДМ-7 и мельницах ДМ-8, после которых поступает на ситовые сепараторы ДРС-2. Полученные древесные частицы должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Характеристика древесных частиц**

Размерные параметры, мм	Слой	
	наружный	внутренний
Толщина	0,2	0,4
Ширина	1	10
Длина	5	10

Древесные частицы, получаемые после переработки щепы (предварительно прошедшей сортирование) на станках типа ДС-7, «Пальман», должны соответствовать требованиям, предъявляемым к частицам для внутреннего слоя плит.

Готовая стружка хранится в бункерах ДБО-60, из которых поступает в смесительное отделение.

Для линий, оснащенных импортным оборудованием фирмы «Бизон-Верке», стружка, полученная на станках «Пальман», хранится в бункере. Запас стружки должен быть на 1...2 ч работы, чтобы исключить ферментизацию древесины. Из бункера стружка непрерывно поступает в молотковую мельницу, которая измельчает стружку по ширине. Далее стружка направляется на сортировку. Рабочей фракцией считается фракция, прошедшая через сито с диаметром отверстия 5 мм и не прошедшая через сито с диаметром отверстия 2 мм. Мелкая фракция поступает в бункер наружного слоя, крупная – на повторное измельчение. На последних установках фирмы «Бизон-Верке» изготовление и фракционирование стружки заметно упрощено – там нет разделения на слои. Оно осуществляется непосредственно в формирующей машине; головки формирующей машины наружных слоев оснащены устройством для пневматического фракционирования.

В производстве ЦСП в качестве вяжущего применяется в основном цемент марки 500. К нему предъявляются дополнительные требования: не допускается наличие пластификатора и повышенное содержание (более 5%) шлаковых добавок. В качестве химических добавок для нейтрализации действия цементных ядов чаще всего используется композиция из жидкого стекла и серноокислого алюминия. Содержание тех или иных компонентов колеблется в зависимости от вида сырья, условий производства и качества получаемых плит. Соотношение компонентов, рекомендуемых для различных видов сырья, приведено в табл. 2.3.

**Приготовление цементно-стружечной смеси.** Для пригото-

ния цементно-стружечной смеси подача цемента со склада осуществляется пневматической установкой высокого давления. Цемент сначала поступает в выравнивающий бункер, предназначенный для непрерывной подачи его к весам. Заполнение цементных весов и их разгрузка проводится по мере накопления заданной массы, которая зависит от соотношения компонентов в смеси. Взвешенный цемент винтовыми конвейерами направляется в мешалку.

Таблица 2.3

**Рецептура цементно-стружечной смеси**

Расход компонентов, кг	Выдержанная древесина		Невыдержанная древесина
	хвойных пород	лиственных пород	
Цемент	770	770	770
Древесина (абсолютно сухая)	280	280	280
Сульфат алюминия (абсолютно сухой)	11,6	11,6	22,1
Жидкое стекло (плотность 1,45 кг/м <sup>3</sup> )	26	30	52
Вода	43	43	43

Для приготовления растворов химических добавок применяют гуммированные емкости с пропеллерными мешалками. При получении раствора химической добавки из соли ее загружают в емкости, заливают водой и перемешивают до заданной плотности раствора. Химикаты, поступающие в жидком виде, разбавляются в емкости до заданной плотности. Приготовленные таким образом растворы химических добавок дозируются автоматически и подаются через сточное кольцо в смеситель.

Смешивание всех компонентов цементно-стружечной смеси (стружки, цемента, химических добавок) осуществляется в смесительных агрегатах отдельно для внутренних и наружных слоев плит. Система автоматического дозирования стружки и воды выдает в смеситель порцию стружки и воды. Продолжительность перемешивания стружки с водой должна составлять не менее 30 с. При работающей мешалке смесителя через мерники последовательно вливают заданное количество растворов сульфата алюминия и жидкого стекла и перемешивают в течение 60 с после загрузки каждого компонента. Затем засыпают цемент и перемешивают в течение 4...5 мин. Общий цикл смешивания составляет 9...10 мин. Готовая смесь влажностью 40...43% и плотностью для внутреннего слоя 400 и наружного 450 кг/м<sup>3</sup> винтовыми кон-

вейерами выдается в отделение формирования.

**Формирование пакетов.** Для формирования пакетов установки российского производства укомплектованы четырьмя формирующими машинами ДФ-6. Параметры формирующих машин в цехах мощностью 25 тыс. м<sup>3</sup> в год при ритме главного конвейера 0,85 мин, скорости 445 м/мин, плотности полученных плит 1100...1400 кг/м<sup>3</sup> и толщине 16 мм приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Параметры формирующих машин**

Показатель	Номера формирующих машин ДФ-6			
	1	2	3	4
Производительность, кг/мин	27	40...42	40...42	27
Цикл работы весов, с	15	15	15	15
Число циклов	4	4	4	4
Навеска на плечо весов, кг	6,3	10	10	6,3
Скорость конвейера, м/мин:				
– наклонного	9...10	9...10	9...10	9...10
– донного	0,3...0,5	0,5...0,8	0,5...0,8	0,3...0,8
Продолжительность насыпки, с	8...9	8...9	8...9	8...9

Распределение внутреннего слоя происходит через вращающиеся диски с ножами. Наружные слои формируются методом воздушной сепарации. Настил трехслойного ковра происходит при соотношении толщины ковра и толщины плиты 3 : 1.

Формирование непрерывного трехслойного ковра осуществляется на транспортных стальных листах (поддонах), располагающихся на формирующем конвейере. Стальные поддоны предварительно смазывают для предотвращения сцепления цементно-стружечной смеси с металлом. Поддоны перед формирующими машинами укладывают внахлест. После формирования поддоны с коврами поступают на ускорительный конвейер, на котором происходит их разделение на пакеты.

Далее поддоны с пакетами направляются на роликовый конвейер с интегральными весами, осуществляющими контроль насыпной массы и отбраковку ковра. При отклонениях от допустимого веса поддон с ковром поперечным транспортером поступает к опрокидывающему устройству. Бракованный ковер при поднятии поддона сбрасывается в ванну и подается затем на возвратный винтовой конвейер. Далее системой конвейеров масса направляется в дозирующий бункер формирующей машины для внутреннего слоя. Поддон от опрокидывающего устройства по поперечному конвейеру поступает на роликовый

транспортер, который передает их на систему возврата.

Неотбракованный пакет направляется на торцовочное устройство, которое обрезает заднюю кромку, и далее подается к загрузочной станции. Здесь происходит загрузка поддонов с пакетами, уложенными в пачки, на роликовый конвейер в зажимной каркас, называемый силовым элементом.

**Прессование.** Прессование осуществляется в полочном прессе. Рабочий каркас пресса имеет просвет высотой 720 или 920 мм. Заполненные плитами плоские пресс-формы (силовые тележки) посредством передвижной платформы задвигаются в пресс. При точной фиксации пресс-форм пресс закрывается, штабель уплотняется на заданный размер, и пресс-форма с подвешенной в верхней части пресса крышкой закрывается. Время, прошедшее между загрузкой первого и последнего поддонов, не должно превышать 1 ч, так как начинается процесс схватывания цемента. Удельное давление прессования в зависимости от плотности плит составляет 1,8...2,0 МПа. В российский комплект входит прессовая установка Д-2245, имеющая номинальное усилие 3150 т.

После открытия пресса заблокированные пресс-формы с помощью передвижной платформы направляются в камеру для отверждения, температура в которой устанавливается 60...80°C в зависимости от марки цемента, породного состава древесины и других факторов. Влажность воздуха должна быть в пределах 30...90%, чтобы исключить сушку плит. Максимальная продолжительность твердения плит составляет 8 ч. Начальная влажность ЦСП равна 40%, конечная – 20%.

**Твердение плит.** Уложенные в штабель высотой до 3,5 м плиты, укрытые сверху пленкой с целью предотвращения высушивания, выдерживаются в помещении при температуре не ниже 16 до 15 сут в зависимости от марки цемента, вида древесины, состояния воздуха и других факторов. После выдержки плиты поступают в камеру кондиционирования.

**Кондиционирование плит.** В камере кондиционирования плиты находятся в вертикальном положении. Тепловой режим в камере обеспечивается системой обогрева, которая автоматически поддерживает заданные параметры: расчетная температура – 80°C, относительная влажность – 90%. Продолжительность кондиционирования составляет 12 ч при начальной влажности плит 25%, конечной – 12%.

После кондиционирования плиты обрезаются по формату на трехпильных обрезных станках с алмазными дисками или пилами с пластинками из твердых сплавов. На некоторых предприятиях пильные диски оборудованы ступенчатым измельчителем, одновре-

менно с раскромом измельчающим полоски реек в мелкие частицы, которые направляются для вторичного использования. Затем плиты сортируются на линии ДЛТ-50, оснащенной измерителем толщины типа ДТ, маркируются и в пачках поступают на склад, где укладываются в штабеля высотой не более 4,5 м.

**Особенности технологии цементно-стружечных плит при использовании древесины лиственных пород.** Наиболее качественные ЦСП на основе портландцемента по существующей технологии получают при применении хвойной древесины. Рекомендуется использовать древесину, заготовленную в осенне-зимний период, когда в ней содержится минимальное количество водорастворимых сахаров, и перед получением стружки выдерживать древесину до 6 мес. в теплый период в целях биохимического разложения экстрактивных веществ.

Приведенные жесткие требования к сырью в производстве ЦСП вызывают трудности в его обеспечении дефицитной хвойной древесиной.

Фирма «Бизон» предлагает использовать после длительной выдержки березу, при этом увеличить добавку жидкого стекла, предусмотренного рецептурой смеси, от 27,0 до 34,7 кг/м<sup>3</sup> при соотношении древесины и цемента 1 : 2,1. Система «Бетонин» производства ЦСП позволяет применять любые породы древесины без ее выдержки путем использования стружки, высушенной до влажности 9...10% при температуре 180°С. В этом случае экстрактивные вещества вместе с влагой из цементного теста диффундируют внутрь древесных частиц. Однако этот способ связан с резким возрастанием энергетических затрат на сушку стружки, усложнением и удорожанием производства.

Во ВНИИдреве разработана рецептура вяжущего, которая позволяет применять древесину любых пород без ограничений. Исключается необходимость длительной выдержки древесины в теплый период года, окорки древесины или же сушки стружки.

Данная рецептура предусматривает замену части цемента порошкообразной известью в комбинации с хлоридом кальция.

Предпочтительно использование гидратной извести в сухом виде, но возможно также применение более доступной негашеной молотой извести I и II сорта.

Смесь извести и хлорида кальция представляет собой вяжущее, твердеющее с образованием комплексного соединения – оксихлорида кальция, отличающегося нечувствительностью к действию экстрактивных веществ древесины и отсутствием отрицательного влияния на портландцемент.

При приготовлении смеси вначале в течение 4...5 мин перемешива-



ются стружка, сухая известь и цемент с концентрированным раствором хлористого кальция (1,3...1,4 кг/л), после чего доливаются необходимое количество воды. Для сохранения свойств смеси на протяжении времени, необходимом для набора пакета из 30...50 плит (около часа), нужно, чтобы количество цемента в смеси не менее чем вдвое превышало количество извести.

В табл. 2.5 представлены показатели прочности на изгиб ЦСП, изготовленных из несортированной стружки, которая была получена измельчением неокоренных сортиментов древесины лиственных пород на станке ДС-6, и комбинированного вяжущего. Как видно из приведенных данных, выдерживание сырья мало отражается на основном показателе прочности плит. Прочность на изгиб, как правило, превышает нормативную 9,0...13,0 МПа, установленную отечественными техническими условиями и гарантированную фирмой «Бизон» для ЦСП из сортированной стружки, полученной из выдержанных окоренных сортиментов древесины хвойных пород.

**Новые технологии цементно-стружечных плит.** Недостатком традиционной технологии ЦСП по сравнению с древесностружечными плитами на синтетическом связующем является большая продолжительность затвердевания цемента. Фирма «Раума-Репола» (Финляндия) совместно с венгерским лесным комбинатом «Фалко» разработала технологию ЦСП при небольшой продолжительности прессования.

Достоинства этого производства следующие: уменьшается разнотолщинность плит, можно изготавливать более тонкие (4 мм) плиты; поток материала проще; занимаемая площадь меньше; качество плит можно проверить сразу после прессования; отсутствуют сточные воды, так как процесс сухой; не требуется камера для твердения плит; продолжительность прессования – 4 мин (по традиционному способу – 8 ч), что дает возможность использовать вместо зажимных устройств обычный пресс. После прессования и обрезки по формату плиты в течение 14...28 сут находятся в отделении выдержки и затем направляются в сушилку. Готовые плиты имеют следующие показатели физико-механических свойств: плотность – 1250 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при статическом изгибе – 9 МПа, модуль упругости – 3000 МПа, разбухание по толщине за 2 ч – 1%.

Технология цементно-стружечных плит под названием дюрипанель, представленная на рис. 2.1, разработана в сотрудничестве фирм «Элтен Систем» (Нидерланды), «Этернит» (ФРГ) и «Дуризол» (Швейцария) и является самой современной системой с программным управлением. Все участки производства, начиная с изготовления

стружки до отделки плит, согласованы по мощности и приспособлены к непрерывному процессу производства. Производительность склада позволяет хранить 3-месячный запас сырья.

Таблица 2.5

**Прочностные свойства цементно-стружечных плит на комбинированном вяжущем**

Древесное сырье	Расход компонентов смеси, кг/м <sup>3</sup>					Предел прочности при изгибе, МПа, через				Примечание
	Абсолютно сухая стружка	Портланд-цемент М500	Известь молотая негашеная	Хлорид кальция	Вода	6 ч	1 сут	7 сут	8 сут	
Осина невыдержанная, неокоренная, влажностью 80%	300	620	156	80	420	5,6	6,5	9,9	15,6	Прогрев 3,5 ч при 70°, 14 сут. Твердение в стопе
То же, влажностью 90%	330	685	170	56	440	–	3,0	7,9	14,1	Твердение без прогрева
То же, влажностью 80%	300	620	156	80	400	–	4,0	8,0	12,5	То же
	300	450	220	160	450	–	2,2	6,9	10,3	
Осина выдержанная, влажностью 15%	300	620	150	80	400	–	3,7	6,1	12,5	Прогрев 6,0 ч при 70°, 14 сут. Твердение в стопе. Твердение без прогрева
	300	550	150	75	450	4,8	8,5	–	20,5	
То же, влажностью 24%	300	450	220	160	400	–	2,4	6,4	2,0	Твердение без прогрева
Береза невыдержанная, влажностью 70%	320	620	150	80	420	–	5,5	10,6	–	То же

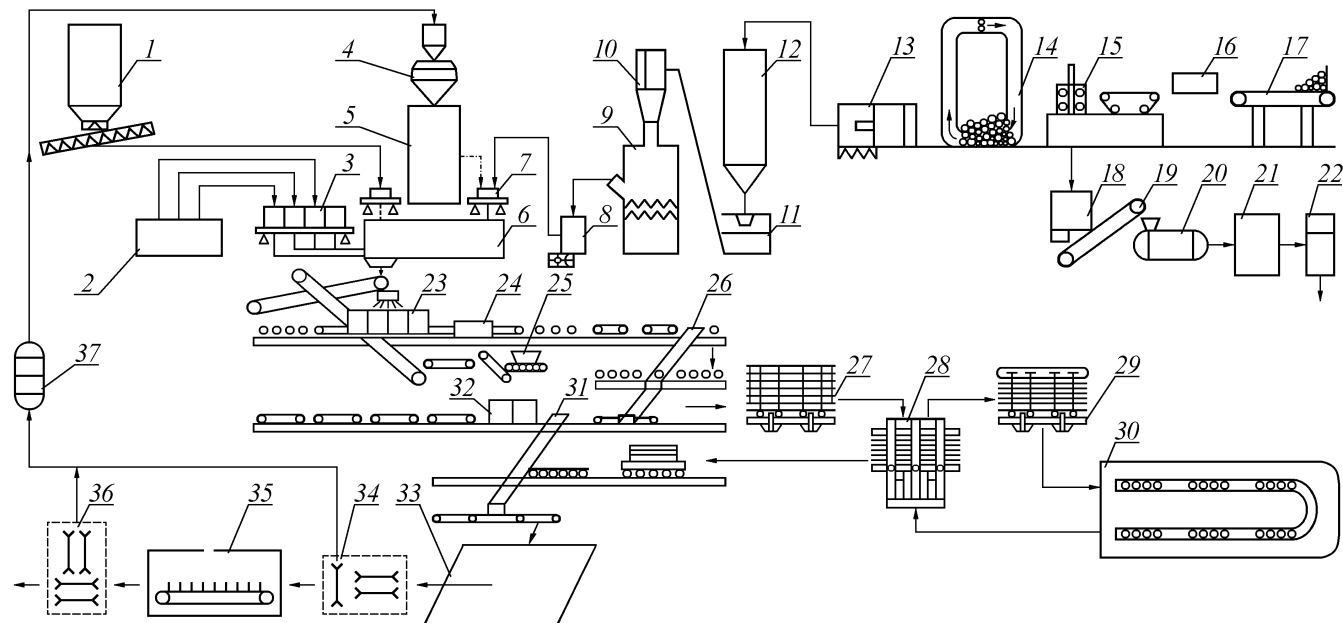


Рис. 2.1. Схема производства ЦСП по технологии фирмы «Элтен Систем»:

- 1 – бункер для цемента; 2 – склад для химических добавок; 3 – емкости для растворов химических добавок; 4 – грохот;  
 5 – бункер для отходов обрезки ЦСП; 6 – смеситель; 7 – весы; 8 – мельница для мелкого помола;  
 9 – воздушный сепаратор; 10 – циклон; 11 – станок для измельчения стружки; 12 – бункер стружки;  
 13 – стружечный станок; 14 – склад хранения древесины; 15 – окорочный станок; 16 – металлоискатель;  
 17 – конвейер подачи древесины; 18 – мельница для измельчения коры; 19 – конвейер; 20 – барабанная сушилка;  
 21 – пресс для брикетирования коры; 22 – приемное устройство для брикетов коры; 23 – формирующая машина;  
 24 – резка ковра; 25 – конвейеры для некондиционных пакетов; 26 – штабелеукладчик; 27 – силовая тележка;  
 28 – пресс; 29 – штабель, сжатый в силовой тележке; 30 – камера термообработки; 31 – устройство для разборки пакетов;  
 32 – пост очистки и смазки поддонов; 33 – площадка выдержки плит; 34 – круглопильный станок; 35 – сушилка;  
 36 – станок для раскроя плит по формату; 37 – дробилка для отходов плит

Большое внимание уделяется качеству стружки, от чего зависит качество плит. Отличительной особенностью является то, что формирование пакета производится не по трем слоям, а по двум. К двум формовочным станциям подается постоянный поток материала, состоящий из крупных, мелких и игольчатых частиц. Преимущество системы состоит в равномерном распределении крупных фракций во внутреннем слое и мелких по поверхности, в результате чего плиты отличаются более высокой прочностью и низким расходом сырья.

Простая конструкция узла по подготовке стружки исключает применение грохотов, бункеров, вентиляторов и т. д. Использование только одного смесителя дает экономию капиталовложений и электроэнергии, а также снижает затраты на уход за оборудованием. Сушильный тоннель, разработанный специально для производственного процесса по системе дюрпанель, обеспечивает равномерную сушку плит.

Плиты дюрпанель отличаются лучшей обрабатываемостью поверхности при более длительном сроке службы обрабатывающего инструмента, способностью к склеиванию, а также влаго-, био-, огне- и термостойкостью.

Характеристика физико-механических свойств плит дюрпанель:

плотность, кг/м <sup>3</sup>	
предел прочности, МПа:	1150...1250
– на статический изгиб	10,6...13,0
– на растяжение перпендикулярно пласти плиты	0,2...0,4
модуль упругости, МПа	3000...4000
влажность, %	9 ± 3
водопоглощение, %	16
морозостойкость после 50 переменных циклов замораживания и оттаивания между –20°С и +20°С	10
звукопоглощение по DIN № 52210, дБ	75...33

Расход сырья при плотности плит 1250 кг/м<sup>3</sup> и влажности 9% приведен ниже:

лесоматериалы (осина, тополь, береза, ель, сосна)	
окоренные, круглые, кг	280
цемент ПЗ450Ф DIN 1164, кг	780
химикаты (6% относительно массы цемента), кг	47
вода, л	400

Основная область применения дюрпанель – это строительство сборных домов. Кроме того, он используется для наружных работ (при строительстве павильонов, контейнеров, при наружной облицовке

балконных парапетов и полов) и внутренних (при сооружении перегородок, при несгораемой облицовке стен и потолков, облицовке санузлов, отделке тоннелей и т. д.).

### 2.2.2. Арболит

**Общие сведения.** Арболит – это композиционный материал, относящийся к группе крупнопористых легких бетонов, основными составляющими которого являются органические заполнители и минеральные вяжущие.

Органический наполнитель снижает плотность, коэффициент теплопроводности, повышает звукоизолирующие свойства, улучшает обрабатываемость режущим инструментом. Минеральные вяжущие придают прочность, био-, огне- и морозостойкость.

Арболит разделяется на марки 5, 10, 15 (для теплоизоляционных целей) и 25, 35, 50 (для конструктивно-теплоизоляционных целей). Марка соответствует пределу прочности при сжатии ( $\text{кг/см}^3$ ) контрольных образцов, затвердевших при температуре 18...25°C и относительной влажности воздуха 60...80% через 28 сут после формования. Основные свойства арболита – плотность, прочность при сжатии в зависимости от вида заполнителя – представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Основные свойства арболита**

Вид арболита	Класс по прочности на сжатие	Марка по прочности при осевом сжатии	Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$ , в зависимости от заполнителя			
			измельченная древесина	костра льна, хлопчатника	костра конопли	сечка рисовой соломы
Теплоизоляционный	B0,35	M5	400...500	400...500	400...500	50
	B0,75	M10	450...500	450...500	450...500	–
	B1,0	M15	500	500	500	–
Конструкционный	B1,5	–	500...650	550...650	550...650	600...700
	B2,0	M25	500...700	600...700	600...700	–
	B2,5	M35	600...750	700...800	–	–
	B3,5	M50	700...850	–	–	–

Арболит имеет высокую прочность на растяжение, повышенную трещиностойкость, достаточную сопротивляемость ударным нагрузкам, что обеспечивает его хорошую транспортабельность.

Модуль упругости арболита составляет от 400 до 1200 МПа, величина сцепления с металлической арматурой – 0,1...3,5 МПа, коэффициент Пуассона – 0,15...0,20, коэффициент теплопроводности при  $W = 0\%$  – 0,08...0,17 Вт/(м · град) в зависимости от плотности. Коэффициент паропроницаемости при  $t = 20^\circ\text{C}$  для плотности  $700 \text{ кг/м}^3$  равен  $0,083 \cdot 10^{-9} \dots 0,098 \cdot 10^{-9}$  (м. ч. мм рт. ст.). Арболит имеет большую усадку. При высыхании до влажности 10...12% усадка составляет в среднем до 5 мм на 1 м изделия.

Одним из недостатков арболита является повышенное водопоглощение (60%); набухание арболита в воде составляет 0,25... 2,00%, поэтому во влажных средах необходима гидроизоляция изделия. Для защиты арболита его поверхность покрывается цементно-песчаным раствором и другими материалами.

Одним из преимуществ арболита является его высокая удельная теплоемкость (в сухом состоянии 2,3 кДж/(кг · град)). Опыт эксплуатации жилых помещений из арболита на полярных станциях показал его высокую эффективность. При изготовлении стеновых элементов таких помещений из бетона их толщина должна быть не менее 1000 мм, против 400 мм из арболита. По степени биостойкости арболит относится к 5 классу, в то время как древесностружечные и древесноволокнистые плиты – к 7...8 классам.

Как конструкционный и теплоизоляционный материал арболит широко применяется в качестве стеновых блоков и панелей, плит покрытий и перекрытий, а также для других сборных и монолитных конструкций зданий различного назначения с относительной влажностью воздуха помещений до 75%.

Изделия из арболита подразделяются по назначению (теплоизоляционные и конструкционно-изоляционные), по армированию (армированные и неармированные), по отделке поверхностей (офактуренные и неофактуренные), по количеству слоев (однослойные и многослойные).

В качестве сырья при производстве арболита используются вяжущие, органические заполнители и химические добавки. Вяжущие материалы – портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий цемент (марки не ниже 300 для теплоизоляционного и 400 для конструкционного арболита).

В качестве органических заполнителей применяют измельченную древесину из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных (ель, сосна, пихта) и лиственных (береза, осина, бук, тополь) пород, костру конопли и льна, измельченные стебли хлопчатника и измельченную солому злаковых культур.

Для улучшения свойств арболитовой смеси используют химические добавки, ускоряющие твердение (минерализаторы); регулирующие пористость арболитовой смеси и арболита; повышающие защитные свойства арболита к стали (ингибиторы коррозии стали); придающие бактерицидные и инсектицидные свойства и др. Наиболее широкое распространение в производстве арболита получили такие добавки, как хлорид и нитрат кальция, сернокислый глинозем, стекло натриево-жидкое и др.

**Технология арболита.** Технологический процесс изготовления арболита предусматривает следующие операции: приемку и хранение древесных отходов; измельчение древесных отходов; дозировку составляющих и приготовление арболитовой смеси; формование изделий; твердение изделий из арболита и их сушку; отделку поверхности изделий; транспортировку на склад и хранение до погрузки потребителю. Ниже приведены основные операции процесса.

**Подготовка древесины.** В целях исключения вредного влияния цементных ядов наиболее простым и доступным способом является выдержка древесного сырья не менее 2 мес. при положительной температуре, предпочтительно в виде щепы. Древесину березы, осины, лиственницы и других пород (кроме ели, пихты, сосны весенне-летней и осенне-зимней заготовки) хранят в отдельных штабелях. Щепу выдерживают в кучах, небольших (высотой 4...5 м) и неплотных, 4 мес. летом и 6 мес. зимой. При этом необходимо закладывать вентиляционные трубы через 3...4 м по длине и ширине кучи.

Из отходов лесозаготовок следует удалить зелень, минеральные примеси (в летнее время), из дровяной древесины – гниль. Щепка должна содержать не более 20% коры, 5% хвойной лапки и листьев, 2% гнили и 4% минеральных примесей.

Древесное сырье, поступающее в виде технологических дров, отходов лесопиления, фанерного производства и деревообработки, измельчается первоначально на соответствующих рубительных машинах (МРГ, МРН и др.) в технологическую щепу, которую можно применять без повторного измельчения (при наличии мощной виброукладочной техники) и специальных составов смеси, улучшающих ее укладываемость.

Измельчение щепы в дробленку дает ряд преимуществ:

- 1) увеличивается суммарная поверхность древесных частиц, создающая лучшее сцепление их между собой с помощью цементного клея;
- 2) благодаря незначительному изменению линейных размеров в направлении поперек волокон при высыхании арболитовых изделий меньше нарушается структура арболита;



- 3) ускоряется процесс замачивания древесного заполнителя;
- 4) облегчается укладка арболитовой смеси в форму и обеспечивается лучшее взаиморасположение древесных частиц.

Перед измельчением щепу подвергают электромагнитной сепарации для извлечения металлических включений. Для измельчения щепы используются молотковые дробилки ДМ-1, дробилки с вращающейся крестовиной ДМ-3, стружечные станки типа ДС-7. Отделение мелочи производят на механических сортировках (виброгрохотах) или в циклонах-сепараторах. Размеры частиц, полученных на дробилках, не должны превышать по длине 40 мм, по ширине 10 мм, а по толщине 5 мм; частицы, полученные на стружечных станках, должны быть толщиной и шириной 0,1...1,0 мм, длиной 2...20 мм.

Чтобы древесный заполнитель во время твердения арболита не отнимал влагу у цементного раствора и не ухудшал условий гидратации цемента для снижения разбухания древесных частиц при кристаллизации цементного геля, а также для обеспечения соответствующего водоцементного соотношения, древесный заполнитель перед смешиванием с цементным раствором увлажняют.

Установлено, что дробленка, замоченная в воде, через 15 мин достигает абсолютной влажности, равной 135%, которая обеспечивает приготовление арболитовой массы нормальной консистенции. Однако излишняя влага вредна, так как в процессе затвердевания арболитовой смеси испарившаяся вода создает значительную пористость в цементном камне.

Для обычного арболита древесную дробленку рекомендуется замачивать в воде летом при нормальной температуре, а зимой в воде, нагретой до 50°C. Замачивание древесного заполнителя может быть совмещено с его минерализацией, когда минерализатор в виде водного раствора вводят в воду, предназначенную для замачивания заполнителя. Кратковременная обработка заполнителя горячей водой или слабым раствором щелочи позволяет снизить содержание минерализатора в формовочной массе без ухудшения конечной прочности арболита.

Наиболее распространенная схема приготовления древесного заполнителя в виде щепы представлена на рис. 2.2.

Древесное сырье подается конвейером в рубительную машину, из нее – на сортировку щепы. Древесные частицы длиной более 50 мм отделяются и направляются на доизмельчение в рубительную машину. Сортированная щепа пневмотранспортом подается в бункер-накопитель. Винтовым конвейером через поворотный патрубок щепа

транспортируется в устройство для замачивания, где перемешивается с водой и в виде пульпы направляется в сетчатый скиповый подъемник.

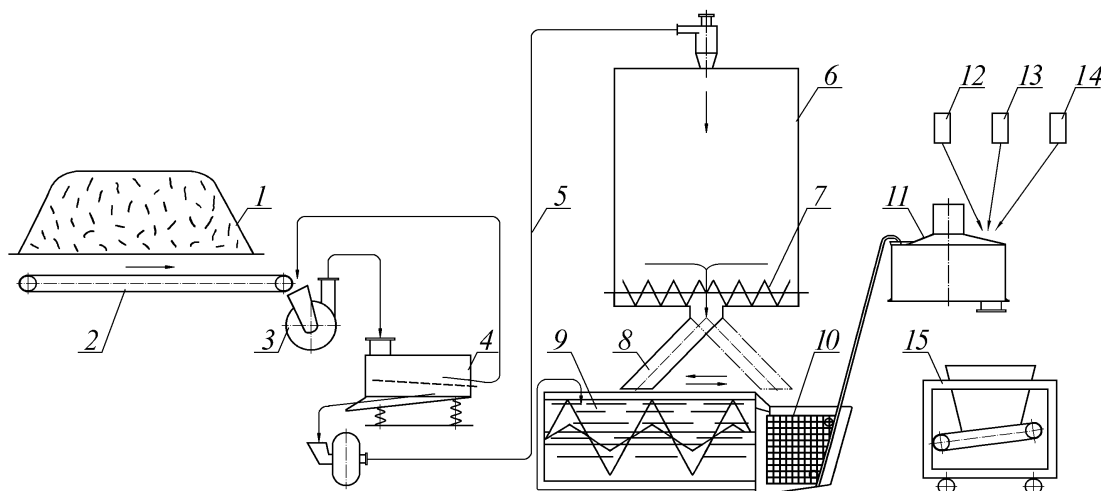


Рис. 2.2. Схема приготовления древесного заполнителя:  
 1 – кусковые древесные отходы; 2 – ленточный конвейер;  
 3 – рубительная машина; 4 – сортировка щепы;  
 5 – пневмотранспортная система; 6 – бункер для щепы;  
 7 – винтовой конвейер; 8 – поворотный патрубок;  
 9 – устройство для замачивания щепы; 10 – скиповый ковш;  
 11 – смеситель; 12 – химические добавки; 13 – цемент;  
 14 – вода; 15 – арболитоукладчик

**Приготовление арболитовой смеси.** Замоченная щепа поступает во вращающийся смеситель, куда последовательно подаются водные растворы химических добавок, цемент и вода. Цикл перемешивания длится 6...8 мин. Если замачивание заполнителя не требуется, его направляют в скиповый подъемник, минуя устройство для замачивания.

В качестве смесителей используются противоточные бетоносмесители, у которых смесительная чаша и лопасти вращаются в противоположных направлениях, и бетоносмесители турбинные с вращающимися лопастями и неподвижной чашей.

Приготовленная смесь считается качественной, если частицы заполнителя полностью покрыты цементным тестом и цементное «молоко» не стекает при формировании изделий. Готовую смесь выгружают в арболитоукладчик. При транспортировке к месту формирования перегружать смесь не следует, чтобы избежать ее расслоения. От момента приготовления смеси до укладки ее в форму должно проходить не более 30 мин.

При изготовлении крупноразмерных изделий – навесных, самонесущих и несущих элементов наружных и внутренних стен производят

армирование. Используется для армирования горячекатаная арматурная сталь класса А-И и проволока класса В-И. Предварительно арматуру обмазывают цементным раствором.

**Формование изделий.** В процессе формования достигается требуемая плотность и однородность арболита в изделии, обеспечиваются форма и геометрические размеры изделий, качество лицевых поверхностей и товарный вид. Для создания равнопрочной и равноплотной структуры необходимо весовое дозирование смеси в формы и равномерное распределение по площади формы и толщине изделия.

Арболитовая смесь по своим свойствам отличается от бетонных смесей. Она на всех стадиях уплотнения полностью не разжижается, поэтому формообразование затруднено, однако при вибрационном воздействии на смесь частично происходит процесс переукладки ее составляющих и их сближение. Окончательное уплотнение арболитовой смеси требует, кроме вибрационного, механического воздействия в виде весового или гидравлического пригруза.

Специфическое явление для арболита – отформованное изделие после снятия давления начинает изменять свою толщину, т. е. происходит распрессовка смеси. Распрессовка достигает 10...15% от расчетной толщины и приводит к неравноплотности и неравнопрочности изделия по толщине.

В настоящее время применяются следующие способы формования: прессование в горизонтальных и вертикальных формах, трамбование, послойная укатка роликами, вибрация с пригрузом, силовой вибропрокат.

При прессовании без вибрации, особенно изделий толщиной 45...50 см, наиболее интенсивное уплотнение происходит в слоях, непосредственно примыкающих к поверхности подвижного пуансона. В начальной стадии частицы заполнителя только сближаются, уменьшаются крупные пустоты без существенного сопротивления смеси прессующему усилию. В процессе прессования верхние слои передвигаются, а нижние остаются неподвижными. В подвижных слоях смеси внутреннее сопротивление смеси меньше, чем в неподвижных. Вследствие этого верхние слои уплотняются больше, чем слои на днище формы. Разница в прочности на сжатие верхних и нижних слоев арболита в изделии может составлять 0,2...0,4 МПа. Уплотнение без вибрации требует увеличения удельного давления приблизительно в 2,0...2,5 раза. Положительным для данной технологии является то, что формовочный агрегат имеет небольшую массу и габариты.

В технологической линии формования изделий из арболита методом прессования тележка с формой с помощью привода конвейера

устанавливается под бункером для раствора или для арболитовой смеси. Здесь последовательно укладывают нижний слой фактурного раствора, арболитовую смесь и верхние слои раствора, затем тележка с формой передвигается в прессовую установку. Прессование осуществляется до достижения номинальной толщины изделия, которая фиксируется съемной крышкой. Удельное давление в зависимости от фракционного состава достигает 0,35...0,50 МПа. Для изделия толщиной 200 мм высота насыпной массы составляет 360 мм, коэффициент уплотнения – 1,8. При этом обеспечивается получение изделий требуемой толщины, однако усложняется конструкция форм, удлиняется цикл формования изделий, что снижает производительность труда.

Формование изделий ударной нагрузкой (трамбованием) позволяет создать плотную структуру арболита и снизить упругую деформацию (распрессовку) без фиксации толщины изделия. Однако этот способ трудоемок и малопроизводителен, для его выполнения необходимо мощное прессовое оборудование.

Способ послойного уплотнения арболитовой смеси роликами требует наличия специального оборудования, включающего поддоны, подвижную опалубку и установку, имеющую укатывающие и заглаживающие ролики. Эта установка осуществляет послойное уплотнение слоев арболитового изделия. Такая линия непроизводительна и материалоемка.

Прессование в горизонтальных формах с уплотнением смеси вибрированием на виброплощадке с пригрузом пригодно для изготовления теплоизоляционных изделий, так как изделия имеют малую плотность. Вибрирующая смесь находится в состоянии тяжелой жидкости в связи со значительным уменьшением внутреннего трения между частицами заполнителя. Бетонная смесь изменяет свою вязкость и уплотняется под влиянием собственной массы, вытесняя воздух из пор на поверхность. Происходит процесс переукладки частиц в более плотную структуру. Оптимальная продолжительность вибрации составляет 30...40 с при амплитуде 0,15...0,60 мм и частоте 2000...3000 колебаний в минуту. Эффективность этого способа повышается при использовании подвижных смесей, например, поризованных. По высоте смесь уплотняется неравномерно: наиболее плотную структуру изделие имеет под пригрузом, а наиболее пористую – у опорной части изделия.

При формировании вибропрессованием окончательное уплотнение осуществляется под действием прессующего усилия при фиксации достигнутого уплотнения запирающими крышками. После окончания вибрации происходит прессование в прессе при давлении 0,2 МПа.

Наиболее совершенный способ формования арболитовых изделий – силовой вибропрокат (рис. 2.3).

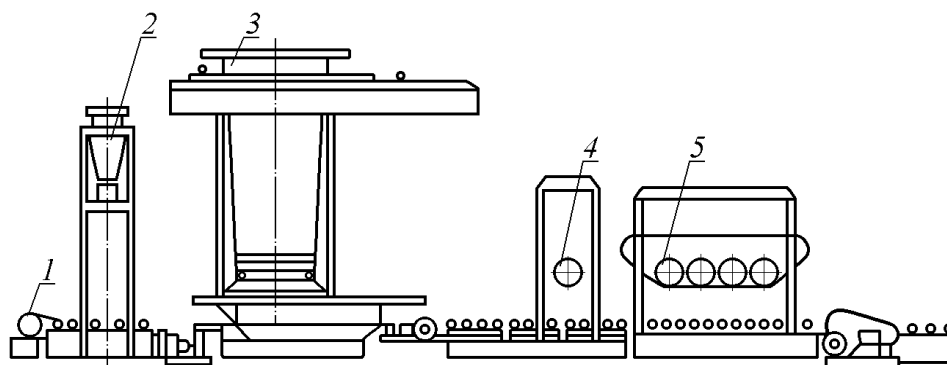


Рис. 2.3. Схема технологической линии силового вибропрессования:  
1 – приводной конвейер; 2 – бункер для раствора; 3 – арболитоукладчик;  
4 – укатывающий ролик; 5 – прокатная секция

Подготовленная (очищенная и смазанная) форма направляется к установке для укладки нижнего фактурного слоя из цементно-песчаного раствора на виброплощадку под арболитоукладчик. В арболитоукладчик вмонтировано разравнивающее устройство из скребка и свободно вращающегося вальца, которые при движении над формой разравнивают и частично уплотняют смесь, снижая насыпную высоту ковра.

После укладки смеси и ее разравнивания форма устанавливается и закрепляется вибромагнитами на виброплощадке, где происходит вибрация в течение 30 с. Затем форма поступает на подпружиненном упругом конвейере в вибропрокатную секцию, оснащенную виброваликом, который подвешен на пружинах и вибрирует в вертикальной плоскости. Валик сжимает и уплотняет смесь по ширине изделия.

Следующая стадия уплотнения смеси осуществляется в прокатной секции, оснащенной гусеничной лентой, которая входит внутрь формы и производит плавное и постепенное сжатие и окончательное уплотнение арболитовой смеси под давлением не менее 0,15 МПа в течение 2,5...4,0 мин. В результате этого снижаются упругие деформации заполнителя и происходит распрессовка изделий до номинальных размеров по толщине. Усилие уплотнения регулируют, изменяя высоту расположения нажимных валиков.

**Твердение изделий из арболита и их сушка.** После формирования изделие вместе с формой краном транспортируется к месту твердения. Схватывание и твердение цементного вещества в арболитовой

смеси, как и бетонной, происходит с выделением тепла. Интенсивность и количество выделяемого тепла зависит от качества древесной дробленки, марки и состава цемента, начальной температуры арболитовой смеси, правильности применения химических добавок и температуры окружающей среды. Подогрев воды для замачивания заполнителя ускоряет процесс твердения. При температуре 18С.25 относительной влажности воздуха 60...80% изделие набирает распалубочную прочность через 4...5 сут. Прогрев сухим теплом более эффективен, так как при пропаривании набухают древесные частицы и разрушается цементный камень.

В специальных камерах при температуре 25...35С и относительной влажности воздуха 60...80% достижение распалубочной прочности обеспечивается за 24 ч. После распалубки изделия хранятся в летнее время в теплом помещении или на складе 5...7 сут для набора марочной прочности.

**Отделка поверхности изделий.** Конструкции из арболита необходимо покрывать защитно-отделочными покрытиями для защиты от увлажнения. В качестве защитно-отделочных покрытий применяют цементно-песчаные растворы, бетоны, плитные облицовки и лакокрасочные покрытия. С целью защиты от увлажнения конструкции из арболита покрывают также цементно-перхлорвиниловыми красками, осуществляют латексно-кремнийорганическую или известково-кремнийорганическую отделку и др., однако эти виды отделки дефицитны и довольно дороги. В МГУЛ предложена эффективная отделка изделий из арболита бетонными слоями с одновременным устройством декоративного покрытия из керамических плиток различных расцветок и размеров. Такой вид отделки упрочняет изделие и увеличивает срок его эксплуатации.

В табл. 2.7, 2.8 представлены рекомендуемые расходы древесного заполнителя и вяжущего – портландцемента для получения арболита разных марок.

**Особенности технологии поризованного арболита.** При введении в арболитовую смесь технической пены улучшается удобоукладываемость арболитовой смеси и теплоизоляционные свойства изделия.

Для получения технической пены используются синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ), жидкостекольный пенообразователь или пенообразователь на основе первичных и вторичных алкилсульфитов. Повышенная подвижность пены позволяет на виброплощадке обходиться без пригруза.

Таблица 2.7

**Рекомендуемый расход сухого органического заполнителя на 1 м<sup>3</sup> арболита при использовании портландцемента марки 400**

Вид заполнителя	Расход заполнителя, кг/м <sup>3</sup> , при марке арболита				
	5	10	15	25	35
Дробленка из отходов: – лесопиления и деревообработки хвойных пород	160	180	200	220	240
– лесозаготовок хвойных пород	170	190	210	230	250
– лесопиления и деревообработки смешанных пород	180	200	220	240	250
– лесозаготовок смешанных пород	160	180	200	220	240
Одубина	180	200	220	275	290
Костра конопли или льна	200	190	180	170	–
Дробленые стебли хлопчатника	200	210	220	230	–

Таблица 2.8

**Максимальный расход портландцемента марки 400 на 1 м<sup>3</sup> арболита**

Вид заполнителя	Расход заполнителя, кг/м <sup>3</sup> , при марке арболита				
	5	10	15	25	35
Дробленка из отходов: – лесопиления и деревообработки хвойных пород	260	280	300	330	360
– лесопиления и деревообработки смешанных пород	290	310	330	360	390
– лесозаготовок хвойных пород	280	300	320	350	80
Одубина	300	320	340	370	400
Костра конопли или льна	220	310	360	450	–
Дробленые стебли хлопчатника	260	290	320	360	–

Химические комплексные добавки принимаются в пересчете на сухое вещество заполнителя: жидкое стекло и хлористый кальций в соотношении 2 : 1 по массе в количестве 4...6% от массы заполнителя; жидкое стекло и сернокислый глинозем в соотношении от 1 : 1 до 1 : 2 по массе в количестве 5...7% от массы цемента.

Расход древесной дробленки в сухом состоянии на 1 м<sup>3</sup> изделия составляет 180...210 кг, пенообразователя – 30...60 кг/м<sup>3</sup> при объемной массе пенообразователя 280...350 кг/м<sup>3</sup> и рабочей концентрации от 1 : 30 до 1 : 40.

Последовательность введения компонентов в смеситель следующая. Дробленку и водный раствор жидкого стекла перемешивают 0,5 мин, затем добавляют раствор сернокислого алюминия, цемент и остаток воды, потребный для замеса, после этого смесь перемешивают 1,5...2,0 мин. Последней вводится пена; перемешивание происходит в течение 1...2 мин. В дальнейшем следуют операции по обычной технологии изготовления арболита. Прочность поризованного арболита на сжатие на 30% выше, чем у обычного арболита.

#### **Особенности технологии атмосферостойкого арболита.**

Основным вяжущим в производстве атмосферостойкого арболита служит портландцемент марок 400 и 500. И в этом виде материала из-за отрицательного воздействия экстрактивных веществ прочность цементного камня и прочность его сцепления с древесными частицами снижается. Наряду с деформированием частиц при переменных влажных условиях это ослабляет атмосферостойкость материала. Вследствие этого ограждающие конструкции из арболита относятся к 3-й группе долговечности, т. е. могут служить не более 15 лет в незащищенном состоянии.

Для повышения атмосферостойкости в качестве эффективного вяжущего можно использовать шлакощелочной цемент, невосприимчивый к экстрактивным веществам, широко применяемый в технологии легких и тяжелых цементов.

В состав этого вяжущего входит тонкомолотый гранулированный доменный шлак, затворяемый растворами щелочей 20...50%-ной концентрации. Щелочными компонентами могут быть каустическая и кальцинированная сода, поташ, жидкое стекло. Они вводятся в количестве 5...15% от массы шлаков в пересчете на сухое вещество. Начало схватывания наступает через 0,5...1,0 ч, окончание – 2...5 ч.

Преимущество шлакощелочного вяжущего: повышенная в 1,5...2 раза прочность, ускоренное твердение (через 1 сут – 20...35 МПа, через 2 сут – 40...50 МПа, через 3 сут – 60...75 МПа), повышенная морозостойкость, а также стойкость в агрессивных средах.

Состав для арболита, % по массе:

древесная дробленка	32...44
молотый доменный шлак	48...54
глина тонкодисперсная	4...6
едкий натр в водном растворе плотностью 1,18 г/см <sup>3</sup>	4...6

Суспензия глины выполняет роль пластификатора. Через 8...10 ч выдержки при °C арболит приобретает распалубочную прочность.



Основные технологические параметры – время перемешивания, способ формования, интенсивность уплотнения – соответствуют требованиям ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него».

### 2.2.3. Плиты на каустическом магнезите

**Общие сведения.** Плиты древесностружечные на каустическом магнезите получают методом горячего прессования древесных частиц, смешанных со связующим веществом. В качестве связующего применяется кальцинированный каустический магнезит, затворенный водным раствором хлорида магния. Плиты используются для ограждающих конструкций деревянных домов, а также могут применяться для изготовления элементов встроенной мебели, перегородок в многоэтажном строительстве и т. д. Они огне-, био-, морозостойкие, хорошо склеиваются с древесиной, полимерами; обрабатываются обычными деревообрабатывающими инструментами, оснащенными пластинами из твердых сплавов; пригодны для различных видов отделки, нетоксичны.

В зависимости от марок плиты выпускаются толщиной от 10 до 18 мм с градацией 2 мм, длиной 2500 и 2700 мм, шириной 1700 мм, но могут изготавливаться и других форматов на действующих линиях по производству древесностружечных плит на синтетических смолах. Принадлежность плит на каустическом магнезите к соответствующим маркам определяется показателями физико-механических свойств, представленных в табл. 2.9.

Таблица 2.9

**Показатели физико-механических свойств плит**

Показатель	Норма для плит марок		
	Т	ОТ	СТ
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	От 900 до 1100	Свыше 1100 до 1300	Свыше 1300 до 1450
Влажность, %	9 ± 4		
Разбухание по толщине за 24 ч, %, не более	5		3
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	20	12	7
Предел прочности при статическом изгибе, МПа, не менее	9,81	14,72	24,53
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти, МПа, не менее	0,39	0,59	0,88

*Примечание.* Физико-механические свойства плит определяют через 7 сут после их изготовления.

**Технология древесностружечных плит на каустическом магнезите.** Производство плит на каустическом магнезите может быть организовано на заводе древесностружечных плит на том же оборудовании и практически по аналогичной технологии. Различие заключается только в вяжущих материалах и химических добавках в составе композиции «древесина – вяжущее» и режимах горячего прессования.

В качестве сырья для изготовления плит используется тонкомерная деловая древесина (технологическое сырье), кусковые отходы лесопиления и фанерного производства, технологическая щепка, стружка от деревообрабатывающих станков и опилки от лесопильных рам, а также каустический магнезит и хлорид магния (бишофит).

Для изготовления плит на каустическом магнезите древесина должна поставляться партиями, включающими одну группу пород. В производство со склада сырья должна поступать древесина одной группы пород или смесь разных групп пород при условии сохранения постоянства состава смеси в течение не менее одной смены.

**Подготовка древесного сырья, изготовление стружки.** Круглая древесина со склада сырья с помощью грузоподъемных механизмов, например мостовых или козловых кранов, поступает на разобщик, с помощью которого осуществляется поштучная подача сырья на транспортер к слешерной установке для раскроя по длине или к рубильной машине.

Щепка, поставляемая на предприятие железнодорожным или автомобильным транспортом, складировается и хранится в условиях, обеспечивающих возможность поддержания стабильного породного и качественного состава, или подается непосредственно в производство.

Перед подачей на дальнейшую переработку щепка сортируется на сортировках типа СЩ, где мелкая и крупная фракции отделяются от кондиционного материала. Размер отверстий сит на сортировке следующий: верхнее сито 50×50 мм, нижнее сито с диаметром 6 мм. Щепка должна иметь длину от 20 до 60 мм, толщину не более 30 мм.

Кондиционная щепка, прошедшая через верхнее сито с ячейками 50×50 мм и не прошедшая через нижнее сито с диаметром отверстий 6 мм, направляется в бункеры и далее в центробежные стружечные станки.

Крупная фракция поступает на дополнительное измельчение и далее вновь на сортировку. Мелкая фракция с содержанием минеральных включений не более 3% и гнили не более 20% после дополнительного измельчения в зубчато-ситовой мельнице ДМ-8 направляется в общий поток. Мелкая фракция с содержанием минеральных включений и гнили выше допустимых сжигается в котельной или поступает в отходы.

Отходы от деревообработки (опилки, стружка) предварительно сортируются. Крупная фракция (сход с сит 39 мм) направляется на доизмельчение. Средняя фракция (проход сита 39×39 мм) поступает на переработку в центробежный стружечный станок типа ДС-7, мелкая фракция – на переработку в мельницу ДМ-8.

Качество плит обеспечивается в том случае, когда для наружного слоя стружка изготавливается из крупномерного сырья на стружечных станках с ножевым валом типа ДС-6, ДС-8. Древесные частицы для среднего слоя получают из щепы, перерабатываемой на центробежных стружечных станках типа ДС-7. Стружка, поступающая от станков ДС-6, ДС-8, дополнительно измельчается в молотковой дробилке типа ДМ-7.

Древесные частицы для наружных и среднего слоев после повторного измельчения направляются в бункеры сырой стружки типа ДБО и далее в барабанные сушилки типа «Прогресс» или в другие сушильные агрегаты, применяемые в производстве древесностружечных плит. Влажность сухой стружки, используемой для дальнейшего производства, должна составлять 5...9%. После сушки производится сортировка древесных частиц по толщине на пневмосепараторе типа ДПС, по ширине – на ситовом сепараторе типа ДРС-2. На ситовом сепараторе происходит выделение мелких фракций для формирования наружных слоев. Отделенные на пневмотранспорте крупные частицы измельчаются на зубчато-ситовой мельнице типа ДМ-8 и возвращаются на повторную сортировку. К материалу для наружных слоев древесностружечных плит на каолиновом магнезите может добавляться шлифовальная пыль в количестве до 10%. После сортирования древесные частицы пофракционно поступают в бункеры типа ДБО. Полученные древесные частицы должны соответствовать требованиям, представленным в табл. 2.10.

Таблица 2.10

**Параметры древесных частиц**

Параметр	Наружный слой	Внутренний слой
Толщина, мм, не более	0,3	0,45
Ширина, мм, не более	2	5
Длина, мм, не более	5	40
Фракционный состав, %:		
3/2	Не более 25	–
2/0,25	Не менее 2	–
<0,25	Не более 5	–
>7	–	Не более 15
7/0,5	–	Не менее 70
<0,5	–	Не более 5

### **Смешивание древесных частиц с минеральным вяжущим.**

В качестве жидкого компонента связующего, как уже отмечалось, используется водный раствор хлорида магния (бишофита)  $MgCl_2 \cdot H_2O$ . На приготовление 120 кг раствора (100 л) требуется 57 кг бишофита. Расход раствора на производство  $1 \text{ м}^3$  древесностружечной плиты составляет 540 кг (450 л).

Рабочий раствор жидкого компонента связующего готовится в следующей последовательности. Бишофит поступает в мешках массой 30 кг. При необходимости его измельчают в молотковой дробилке. Далее бишофит загружают в реактор, куда заливается в заданном количестве вода. Компоненты перемешивают до полного растворения бишофита.

Режим приготовления раствора:

максимальный размер комков бишофита, подаваемых в реактор, мм	50
температура заливаемой в реактор воды, °С	5...50
окружная скорость концов лопастной мешалки, м/с	2,5...4,0
время полного растворения бишофита при указанных условиях, ч, не более	2

Параметры раствора должны соответствовать следующим требованиям:

концентрация, %	22
плотность, $г/см^3$	$1,2 \pm 0,5$
pH	6,0...6,1

Готовый раствор подается в расходный сборник, откуда насосами-дозаторами поступает на две линии для смешивания со стружкой и каустическим магнезитом.

Смешивание древесных частиц с минеральным вяжущим осуществляется отдельно для внутреннего и наружных слоев плит. Порошковый компонент – каустический магнезит – загружается в расходные бункеры, откуда поступает в весовые дозаторы и далее в промежуточный специальный смеситель непрерывного действия, куда также через дозаторы подается сухая стружка. Смеситель для сухих компонентов представляет собой транспортирующее шнековое смесительное устройство. Далее сухая смесь направляется в основные смесители – быстходный типа ДСМ-5 для наружных слоев и тихоходный типа ДСМ-2м для среднего слоя. Жидкий компонент – раствор бишофита – в основных смесителях вводится форсунками (ДСМ-2м) или через полый вал и специальные трубки для распыления центробежным способом (ДСМ-5).

Система дозирования должна обеспечивать соотношения компонентов готовой смеси, приведенные в табл. 2.11.

Таблица 2.11

**Расход компонентов для производства плит на каустическом магнезите**

Компоненты	Массовые соотношения компонентов минерально-стружечной смеси по слоям, кг	
	Наружный слой	Внутренний слой
Древесные частицы	100	100
Каустический магнезит	85	75
Водный раствор хлорида магния плотностью 1,2 г/см <sup>3</sup>	72	67

Влажность минерально-стружечной смеси на выходе из смесителя должна быть для наружных слоев в пределах 22...26%, для внутреннего слоя – 20...22%. Готовая минерально-стружечная смесь транспортируется в формирующие машины отдельно для внутреннего и наружных слоев. Жизнеспособность минерально-стружечной смеси составляет 6 ч.

**Формирование стружечного ковра.** Формирование стружечного ковра производится послойно с помощью формирующих машин типа ДФ-6 с механическими рассеивающими устройствами типа ДРФ-1 и ДРФ-2 на металлические нержавеющие поддоны на формирующем транспортере главного конвейера. Массовые соотношения между слоями должны выдерживаться в пределах 30...35% для наружных слоев, 65...70% – для внутреннего слоя.

**Прессование плит.** Подпрессовка осуществляется с целью уменьшения высоты ковра и придания ему транспортной прочности в стационарном подпрессовочном прессе периодического действия типа ПР-5 или в подпрессовочных прессах других типов.

Прессование плит выполняется с применением дистанционных прокладок. Припуск на шлифование составляет 1,25 мм. Вспомогательное время не должно превышать 1,2 мин. Температура нагреваемых плит достигает 150...170°C. Зависимость удельной продолжительности прессования от температуры плит пресса и от плотности плиты представлена в табл. 2.12.

Таблица 2.12

**Продолжительность прессования плит**

Температура плит пресса, °С	Удельная продолжительность прессования, мин/мм, при плотности плиты, кг/м <sup>3</sup>		
	1000	1200	1400
150	1,15	1,35	1,55
160	1,00	1,20	1,40
170	0,95	1,15	1,35

Удельное давление прессования в зависимости от плотности плит приведено в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Удельное давление прессования плит**

Показатель	Плотность плит, кг/м <sup>3</sup>		
	1000	1200	1400
Удельное давление прессования, МПа	2,8...3,0	3,2...3,3	3,3...3,5

**Охлаждение, обрезка и шлифование плит.** Древесностружечные плиты на каустическом магнезите после горячего прессования охлаждают в камере кондиционирования. Далее плиты укладывают в плотные стопы высотой 1,5 м и выдерживают в течение 24 ч для завершения процесса отверждения связующего, выравнивания влажности и уменьшения внутренних напряжений. Обрезка плит проводится на форматно-обрезном станке, оснащенном дисковыми пилами с пластинками из твердого сплава.

Калибрование и шлифование плит осуществляется на линии, включающей щеточную машину и широколенточные калибровально-шлифовальные станки типа ДКШ-1.

Отгрузка плит предприятием-изготовителем должна производиться не ранее чем через 7 сут после их изготовления.

Как уже отмечалось, производство древесных плит на магнезительном вяжущем можно организовать на действующей линии по производству древесностружечных плит на синтетических вяжущих после небольшой модернизации оборудования. Весьма целесообразно с точки зрения расширения номенклатуры плит предусмотреть возможность производства в цехе на одной и той же линии плит как на минеральном вяжущем, так и на синтетическом.

#### **2.2.4. Фибролит**

**Общие сведения.** Фибролит изготавливают путем прессования смеси из специальной стружки (древесной шерсти), минеральных вяжущих и химических добавок. Фибролит выпускают в виде плит толщиной 30, 50, 75, 100 и 150 мм, шириной 500...1200 мм, длиной 2400...3000 мм. По средней плотности, которая зависит от степени уплотнения при прессовании, плиты делят на марки 300, 350, 400 и 500. Этот материал обладает хорошими теплоизоляционными

и акустическими свойствами, жесткостью, огне- и биостойкостью при невысокой стоимости (табл. 2.14).

Таблица 2.14

**Показатели физико-механических свойств фибролита**

Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К), не более
300	300	0,4	0,085
350	350	0,5	0,095
400	450	0,7	0,105
500	500	1,2	0,130

Конструкционный фибролит средней плотностью 400 и 500 кг/м<sup>3</sup> используется для устройства перегородок, а также в качестве заполнителя деревянного каркаса стен; изоляционный со средней плотностью 300...340 кг/м<sup>3</sup> – для утепления стен, покрытий и чердачных перекрытий. Фибролит не следует применять в частях зданий, находящихся в условиях повышенной влажности. При использовании в качестве стенового материала его покрывают штукатуркой.

По роду применяемого вяжущего различают фибролит на портландцементе, магнезиальном вяжущем и белитошлаковом цементе.

Производство фибролитовых плит осуществляется по мокрому и сухому способу. При мокром способе древесная стружка выдерживается в ванне с водным раствором цемента и минерализатора в течение 3...4 мин и далее подается на виброгрохот для удаления излишнего раствора. Недостатки мокрого способа: во избежание осаждения цемента необходимость в постоянном перемешивании цементного раствора; частое отверждение цементного раствора в ванне (образование «козлов»); введение большого количества воды, что отрицательно сказывается на прочности плит.

**Технология фибролита по сухому способу.** Наибольшее распространение получил сухой способ, имеющий следующую последовательность операций: подготовка древесного сырья; изготовление древесной стружки; минерализация древесной шерсти; дозирование и смешивание минерализованной древесной стружки с цементом; формирование и прессование плит; твердение плит до распалубочной прочности, распалубка, обрезка плит по формату, созревание и сушка; сортирование и транспортирование плит.

**Подготовка древесного сырья.** В качестве сырья используются технологические дрова, предназначенные для распиловки на тарные

материалы. Основные породы – ель, пихта, сосна. Сырье предварительно сортируется по видам, породам и влажности и выдерживается на воздухе в весенне-летний период 2,5...4,0 мес. для устранения воздействия цементных ядов. Дополнительно применяемая гидротермическая обработка позволяет увеличить выход кондиционной стружки; окорка и удаление гнили производятся редко.

**Изготовление древесной стружки.** Для производства фибролита используют специальную стружку (древесную шерсть), которую получают в виде узких лент на древесно-чесальных станках типа СД-3 периодического действия с возвратно-поступательным движением режущего ножа. Не менее 75% лент должны иметь длину 250...500 мм, 25% – не менее 50 мм. Ширина лент составляет 5...10 мм, толщина – 0,2...1,0 мм. Древесина преимущественно хвойных пород (кроме лиственницы) используется в виде чураков длиной не менее 350 мм. При этом можно применять тонкомерные сортименты.

**Минерализация древесной шерсти.** Для минерализации древесной шерсти используют водный раствор (3...4%) хлорида кальция или жидкого стекла, который наносится на древесную стружку чаще всего путем набрызгивания на виброгрохоте, транспортере с перфорированной лентой или в барабанном смесителе.

При использовании свежесрубленной древесины в качестве минерализатора рекомендуется водный раствор сернокислого алюминия. Непрерывное автоматическое дозирование цемента, химикатов и воды в зависимости от количества и влажности поступающей стружки позволяет оптимизировать процесс получения шихты и обеспечить изготовление изделий однородного качества.

**Формирование и прессование плит.** При формировании заготовок происходит заполнение пресс-форм цементно-стружечной смесью, равномерное распределение смеси по площади пресс-форм, предварительное уплотнение смеси, разделение ковра на отдельные заготовки и заправка кромок заготовок после отделения одной пресс-формы от другой. Дозировка цементно-стружечной смеси осуществляется оператором путем регулирования скорости движения форм, а предварительное распределение смеси производится вручную двумя рабочими. Устройства для автоматического дозирования смеси, разделения ковра и заправки торцевых кромок плит позволяют ликвидировать тяжелый ручной труд и повысить качество продукции.

Сформированные заготовки в виде плит подвергаются прессованию. Для плит плотностью 300...350 кг/м<sup>3</sup> целесообразно использовать линии с пневматическими прессами; гидравлический пресс



экономически выгоднее применять для конструкционных плит марок 400, 500. Удельное давление при прессовании достигает 0,4 МПа.

**Термообработка и сушка плит.** После прессования формы выдерживают в камере твердения в течение 8...24 ч в зависимости от плотности плит, температуры в камере, вида вяжущего и т. д. После выдержки плиты поступают на распалубку и форматную обрезку.

В структуре затрат в производстве фибролита наибольший удельный вес приходится на сырье и основные материалы (50...51%), причем 22...23% затрат ложатся на древесное сырье и 27...28% – на материалы (цемент и минерализатор). С увеличением доли лиственных пород несколько возрастает расход сырья. В среднем на 1 м<sup>3</sup> фибролита расходуется 0,3 м<sup>3</sup> сырья и от 140 до 240 кг портландцемента марок 400, 500 или 600.

На линиях фирмы «Элтен» (Нидерланды) изготавливают однослойные и многослойные плиты толщиной 15...100 мм, шириной 500 мм, длиной 2000...3000 мм. Отличительной особенностью является использование для получения шерсти высокопроизводительного ротационного станка типа «Элтоматик», который по производительности равен четырем древошерстным станкам с возвратно-поступательным движением режущего органа. Ножи, установленные в ножевом диске, строгают по длине чурака (500 мм) листы шпона заданной толщины, которые на транспортере режут с помощью ножей, установленных на роторном валу, на волокна заданной ширины. Получается стружка толщиной 0,1...0,5 мм, шириной 0,5...5,0 мм, длиной 420...500 мм.

В качестве минерализатора по этой технологии также используют водный раствор CaCl<sub>2</sub> и MgCl<sub>2</sub> или Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Портландцемент (летом марки 375, зимой марки 475) смешивают с минерализованной древесной стружкой в соотношении 1 : 2 в смесителе барабанного типа.

Качество фибролита на линиях «Элтен» превышает достигнутое в России на отечественных линиях. В Республике Беларусь в ОАО «Витебскдрев» в течение ряда лет функционировала линия по производству фибролита теплоизоляционного назначения. В настоящее время линия демонтирована в связи с низкой прочностью выпускаемых плит.

### **2.2.5. Другие виды строительных материалов на минеральном вяжущем**

**Ксилолит.** Изготавливают из смеси магнезимального вяжущего с опилками хвойных пород, затворенной раствором хлорида магния.

Для увеличения прочности ксилолита на истирание в смесь добавляют в небольшом количестве тонкодисперсные минеральные вещества (тальк, асбест, мраморную муку), для необходимой окраски – щелочестойкие пигменты. Тальк повышает водостойкость.

Применяют ксилолит для устройства полов в зданиях различного назначения, в которых нет постоянного увлажнения и воздействия агрессивных сред. Полы из ксилолита обладают низкой теплопроводностью и высокой стойкостью к истиранию. При массовом соотношении опилок и каустического магнезита 1 : 3 предел прочности при сжатии через 28 сут достигает 40...60 МПа, а при изготовлении на доломите – 10...30 МПа.

Для получения ксилолита используются опилки от лесопиления, высушенные до влажности 15%, прошедшие через сито с ячейками 25×25 мм и оставшиеся на сите с ячейками 5×5 мм.

Вязущее приготавливают в отдельном смесителе, куда подают магнезит и красящие пигменты, затем добавляют затворитель. После перемешивания вязущее сливают в другой смеситель, в котором находится отмеренное на замес количество опилок. Ксилолитовая смесь перемешивается в течение 4...5 мин до получения однородной массы, которая может использоваться для изготовления монолитных полов или плит.

Монолитный ксилолит укладывают в два слоя. Нижний слой толщиной 10...12 мм – пористый, а верхний слой толщиной 8...10 мм – более плотный. В смесь, применяемую для верхнего слоя, добавляют мелкозернистый песок.

При изготовлении ксилолитовых плит смесь подается шнеком в бункер формовочной машины и далее в специальные пресс-формы. Уплотняется смесь в гидравлическом прессе при удельном давлении прессования 2,5...10,0 МПа. Затем формы на вагонетках поступают в камеры твердения, их выдерживают там при температуре 90...95°C в течение 21 ч, после чего охлаждают до 25...35 и подвергают распалубке.

Далее плиты укладывают в штабеля и выдерживают на протяжении 14 сут. После выдержки плиты при необходимости повышения водостойкости пропитывают гидрофобным составом.

При устройстве полов плиты укладывают на жесткое основание (деревянное или бетонное) на холодную битумную или магнезиальную мастику.

**Опилкобетон.** Представляет собой легкий бетон на основе опилок, песка и минерального вяжущего. В основном используются опилки хвойных пород. В качестве вяжущего могут быть портландцемент

и известь; в качестве минеральных заполнителей – песок, гравий; в качестве минеральных добавок – глина, зола, трепел. Опилкобетон применяется как термоизоляционный материал под названием «термиз» и в качестве стенового.

Технология производства изделий из опилкобетона такова. Опилки от лесопиления и деревообработки, выдержанные до влажности 12...15%, засыпают в смеситель периодического действия. Туда же подается вода с растворенным в ней хлоридом кальция, вяжущее и, при необходимости, песок или добавки извести, и вся смесь перемешивается. Далее смесь формуется. Расформовка изделия происходит через 1 ч. После выдержки изделия поступают на склад.

**Коробетон.** Это строительный материал, в котором кора используется как заполнитель при получении легких бетонов.

В Марийском государственном техническом университете разработаны несколько составов коробетона (табл. 2.15).

Таблица 2.15

**Составляющие компоненты коробетона**

Смесь №	Кора толщиной 20...70 мм и более, %	Портланд-цемент М300, %	Песок, %	Опилки, %	Гипс, %	Хлорид калия, %	Известковое молоко, %
1	53,6	17,2	3,6	7,1	9,2	1,5	7,8
2	45,6	16,3	3,6	10,0	4,1	3,3	17,1
3	42,3	14,1	–	8,8	7,0	–	27,8
4	55,8	13,4	–	11,2	4,2	1,5	13,9
5	43,3	15,8	6,7	–	3,3	3,3	27,6
6	56,1	14,6	–	–	3,1	3,1	23,1
7	30,0	28,8	16,1	10,1	–	3,6	11,4

Физико-механические свойства полученных образцов определяют в соответствии с ГОСТ 7025 «Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и водостойкости» и ГОСТ 10180 «Бетоны». Основные данные приведены в табл. 2.16.

Согласно своим свойствам, коробетон (смеси № 1–4) может применяться в ограждающих конструкциях. Стены жилых зданий из коробетона обладают низкой воздухопроницаемостью и повышенными теплотехническими свойствами. Смеси № 5–7 рекомендуются для внутренних перегородок, где возможны незначительные деформации и нагрузки. Наружные стены должны обязательно покрываться облицовочным материалом для снижения влагопроницаемости.

**Физико-механические свойства коробетона**

Показатель	Смесь №						
	1	2	3	4	5	6	7
Предел прочности при сжатии, МПа	2,1	2,0	1,5	1,7	0,7	1,3	1,1
Марка изделия по прочности	21	20	15	17	7	13	11
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	860	890	820	870	813	780	800
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	0,2589	0,2593	0,2545	0,2589	0,2535	0,2527	0,2652

**Строительный брус.** Для производства строительного бруса конструкционного назначения в качестве сырья используют кору, опилки, стружку, сучья, ветви, а также отходы однолетних растений и магниезиальное вяжущее – каустический магнезит, который затворяют хлоридом или сульфатом магния. Для повышения водостойкости бруса и ускорения процесса твердения смеси вместе с хлоридом магния вводят железный купорос.

Древесное и растительное сырье измельчают на соответствующем оборудовании до фракции, проходящей через сито с отверстиями диаметром 6...10 мм, и сушат до влажности 15%. Смешивание компонентов производят в смесителе ДСМ-5, куда последовательно вводят древесные частицы и хлорид магния, перемешивают в течение 6 мин, добавляют каустический магнезит и вновь перемешивают на протяжении 4 мин. Соотношение компонентов зависит от вида применяемого сырья. Примерное соотношение компонентов, %: древесные частицы влажностью 15% – 51,2; хлорид магния – 14,6; каустический магнезит – 34,2.

После перемешивания масса выгружается в бункер и далее подается конвейером в загрузочное устройство и приемную емкость прессовой установки. Прессование осуществляется в экструзионном прессе.

По заполнении приемной камеры подающий конвейер отключается. Одновременно включается гидропривод, продвигающий пресс-массу в камеру формования бруса. Под давлением 9 МПа масса спрессовывается в брус, направляется в камеру обогрева и затем в камеру выдержки. Температура стенок камеры на входе составляет 180°C, на выходе – 120°C. Полученный брус раскраивают на заготовки на круглопильном станке пилами, оснащенными пластинками из твердых сплавов или упрочненными алмазным напылением.

Далее заготовки маркируют, пакетируют и выдерживают в стопах в течение 72 ч при нормальной температуре.

Прессованный брус с поперечным сечением 150х50 мм имеет плотность 1000...1200 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе – 6...3 МПа, при сжатии – 10...19 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,32 Вт/(м · К). Он экологически чистый, трудногораемый, биостойкий, не имеет усадки, хорошо сохраняет тепло, водо- и морозостойкий. Может применяться для изготовления наружных и внутренних стен, оконных и дверных коробок.

Усредненный расход древесного сырья на 1 м<sup>3</sup> бруса составляет 1,41 м<sup>3</sup>, минерального вяжущего – 0,483 т.

**Гипсостружечные плиты.** В качестве исходных материалов для получения гипсостружечных плит (ГСП) служат гипс, древесина и вода, а также замедлители схватывания гипса. ГСП могут использоваться в качестве строительных элементов для выполнения легких стен, а также в роли сухой штукатурки при внутренней отделке здания. Благодаря применению гипса в качестве вяжущего плиты огнестойкие, сравнительно мало разбухают во влажных условиях, имеют хорошие звукоизоляционные свойства. Древесная стружка придает им прочностные свойства, легкость обработки путем сверления, пиления, забивания гвоздей и другой механической обработки. Их поверхность можно окрашивать, оклеивать обоями, облицовывать различными синтетическими пленками и фанеровать. Физико-механические свойства ГСП представлены в табл. 2.17.

ГСП классифицируют как строительные класса В, огнестойкие. Поверхность их соответствует классу 1/1, т. е. невоспламеняемые и нераспространяющие огонь. ГСП служат материалом для изготовления трудновоспламеняемой мебели.

Таблица 2.17

**Показатели физико-механических свойств ГСП**

Показатель	Значение показателя
Толщина, мм	14...20
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100...1200
Предел прочности при изгибе, МПа	6,0...9,5
Модуль упругости, МПа · 10 <sup>3</sup>	3...5
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа	0,25...0,04
Разбухание при выдержке в воде в течение 2 ч, %	2,5...2,6
Линейное расширение при изменении влажности с 10 до 85% и температуре 20°С, %	0,05...0,06

Из ГСП можно конструировать также звукоизоляционные перегородки, звукопоглощающие свойства которых находятся в пределах 30...65 дБ. Незначительное разбухание плит дает возможность изготавливать из них бесшовную поверхность. Без особой подготовки поверхности ГСП являются хорошим основанием под керамическую плитку, обои и краску.

Основной недостаток гипсостружечных плит – это возможность использовать их только во внутренних помещениях.

Фирма «Бизон» разработала полусухой способ изготовления гипсостружечных плит. Гипс как вяжущее отличается от цемента меньшим сроком твердения, а при полусухом способе – меньшим количеством воды, требуемым для затворения. Схватывание гипса основано на повторном присоединении кристаллизационной воды (гидратации), способствующей повторному превращению полуводного гипса в двухводный. Отношение добавляемой воды к безводному гипсу по массе определяется как водогипсовое. Этот показатель влияет на прочность.

На практике при изготовлении ГСП полусухим способом водогипсовое отношение составляет 0,35. При этом гипсостружечная масса имеет сыпучую консистенцию, позволяющую применять для формирования ковra традиционные настилочные машины.

Уменьшение количества добавляемой воды достигается путем смешивания сухого гипса и влажной стружки. В целях быстрого и равномерного насыщения гипса водой используется мелкая стружка, характеризующаяся большой удельной поверхностью.

Учитывая, что формирование и уплотнение заготовки должно происходить до загустения или в начале загустевания водогипсовой массы, необходимо ограничивать продолжительность смешивания компонентов и формирования заготовки до ее прессования. Расстояние нахождения смесителя и формирующей станции от пресса должно определяться условиями схватывания гипсостружечной смеси. Регулирование этих условий осуществляется с помощью добавок, ускоряющих или замедляющих реакцию.

Гипс по сравнению с цементом менее чувствителен к экстрактивным веществам древесины, поэтому допускается применение древесины (в том числе отходов лесозаготовок и деревообработки) как хвойных, так и лиственных пород. Рекомендуется использование древесины, которая выдерживалась на складе не менее 3 мес. Влажность древесины должна быть не ниже точки насыщения волокна (30%) и не выше 120%.

Технология ГСП полусухим способом предусматривает получение стружки толщиной 0,2...0,3 мм и длиной 10...15 мм; ее сортировку

в устройстве, оснащено ситом с размерами отверстий 2×2 мм; подачу стружки в бункер, оснащенный прибором для непрерывного измерения влажности и ленточными весами. Исходя из влажности стружки определяют количество добавляемой воды, необходимой для получения гипсостружечной смеси и раствора, содержащего замедлитель твердения гипса. Перемешивание компонентов происходит в смесителе, куда поступает в дозированном виде стружка, раствор замедлителя твердения гипса и вода. В зависимости от насыпной массы стружки отношение абсолютно сухой массы ее к массе сухого гипса может быть в пределах 20/100...40/100.

Смешивание гипса со стружкой и формирование ковра осуществляется с помощью устройства, выполняющего одновременно функции смесителя и формирующей станции, и происходит в камере, оснащенной вальцами, последняя пара которых насыпает гипсостружечную смесь в виде бесконечного полотна на стальную ленту, проходящую через пресс непрерывного действия.

В целях получения плит с гладкой поверхностью фирма «Бизон» разработала технологию трехслойных ГСП. Трудность индивидуальной подгонки скорости твердения гипсостружечной смеси для наружных слоев, формируемых двумя станциями, вызывает разную степень удаленности настилочных головок от входа в пресс (рис. 2.4).

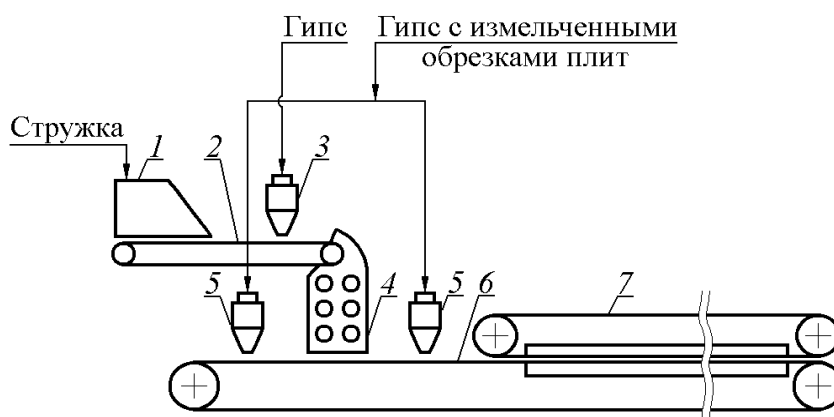


Рис. 2.4. Схема процесса смешивания гипса со стружкой, формирования и прессования трехслойных гипсостружечных плит полусухим способом производства:

- 1 – бункер для дозирования стружки, смешанной с водой;
- 2 – конвейер-дозатор; 3, 5 – устройство для дозирования гипса соответственно для внутреннего и наружных слоев плиты;
- 4 – устройство для смешивания стружки с гипсом и дозирования смеси;
- 6 – формирующий конвейер; 7 – пресс

Принимая это во внимание, наружные слои формируются из сухого гипса с добавлением измельченных отходов от обрезки ГСП. Этим регулируется твердение гипса и упрочняются наружные слои. Увлажнение наружных слоев происходит в прессе самопроизвольно в результате перемещения воды из внутреннего слоя. Толщина наружных слоев составляет около 2 мм. В целях обеспечения их достаточного увлажнения для внутреннего слоя используют более высокий показатель водогипсового отношения по сравнению с изготовлением однослойных плит. Однако в пересчете на количество гипса по всей плите этот показатель равен или менее 0,4.

Учитывая, что реакция схватывания гипса экзотермическая, пресс не обогревается. Максимальное давление прессования составляет 1,5...2,0 МПа. Продолжительность прессования зависит от условий схватывания гипса. Например, если загустевание начинается по истечении 2,4 мин, то гидратация заканчивается через 6 мин. Продолжительность прессования не зависит от толщины плиты.

Бесконечная лента плиты, выходящая из пресса, раскраивается на отдельные плиты, которые сушатся в многоэтажной сушилке проходного типа при температуре  $^{\circ}\text{C}$  с начальной влажности 20% до конечной 2...3%. Готовые плиты обрезаются по формату, а отходы при обрезке измельчаются на молотковой мельнице и полностью используются на наружные слои. Возможно шлифование плит.

Фирма «Бэрэ Гретхен» разработала технологию полусухого способа изготовления гипсостружечных плит на базе оборудования по производству цементно-стружечных плит.

Путем выбора соответствующего замедлителя установили начало схватывания гипса от 40 до 60 мин, что позволило применять используемый при изготовлении цементно-стружечных плит способ прессования в стопах. Соотношение древесины и вяжущего в изготавливаемой смеси составляет 0,2 : 0,3; водогипсовое отношение устанавливается в пределах 0,25...0,35.

Формование плит производится на поддонах из высококачественной стали, которые на участке ускорения рассредоточиваются. Формирующая станция включает машину с четырьмя настилочными головками, причем обе внешние работают по принципу пневматического фракционирования. Поддоны с заготовками плит формируются в штабель, помещенный в пресс-форму, которую зажимают в прессе при удельном давлении прессования 2,5 МПа и выдерживают до окончания процесса гидратации. Затем пресс размыкается, плиты освобождаются от поддонов и поступают в сушилку, где сушатся от начальной



влажности 15% до конечной 2%. При выходе из сушилки плиты обрезают по формату, шлифуют и упаковывают.

**Гипсоволокнистые плиты.** В качестве исходных материалов для получения гипсоволокнистых плит (ГВП) служат гипс, волокно, полученное из древесного сырья или макулатуры, и вода. В последние годы можно отметить увеличение спроса на ГВП как строительного элемента для внутренней отделки зданий. По сравнению с гипсокартонными плитами ГВП обладают рядом преимуществ (табл. 2.18).

Таблица 2.18

**Сравнительная оценка свойств гипсокартонных и гипсоволокнистых плит**

Показатель	Гипсокартонная плита толщиной 12,5 мм	Гипсоволокнистая плита толщиной 10 мм		
		фирмы «Вюртеск»	фирмы «Зимпелькамп»	фирмы «Бабкок-БЗШ»
1	2	3	4	5
Размеры плит, мм: – длина	Начиная с 2000 мм с градацией через 250 мм	2500...3600 , 6000	2500...3600, 6000	2400...3500
– ширина	600, 1250	1250, 2500	1250, 2500	600...1300, 2500
– толщина	9,5...25,0	6,5...25,0	10; 12,5...15,0; 18,0	6,5...25,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	850	1040...1180	Не более 1200	900...1200
Предел прочности при изгибе, Н/мм <sup>2</sup>	7,0...8,5	6,0...7,0	6,0...8,0	6,0...8,0
Предел прочности при поперечном растяжении, Н/мм <sup>2</sup>	0,2	0,4	0,25...0,40	–
Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup> : – параллельно пласти (сжатие в комок)	7...10	–	–	–
– перпендикулярно пласти	8,0...9,5	–	–	–
Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup> : – параллельно направлению волокон	3000...3500	2500...3000	–	–
– перпендикулярно направлению волокон	3500...4000	3000...3500	3400...4000	–

1	2	3	4	5
Твердость поверхности, Н/мм <sup>2</sup>	16,0	22,0	–	12,0
Ударная нагрузка, Н/мм <sup>2</sup>	60,0	120,0	–	–
Способность материала удерживать шурупы, Н	70,0	350,0	–	–
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К)	0,21	0,30	0,35	–
Звукоизолирующая способность, дБ	31,0	33,0	31,0	–
Разбухание по толщине при температуре 20С и повышении относительной влажности воздуха от 30 до 85%, мм	0,03	0,05	–	0,04
Огнестойкость (DIN 4102), класс строительного материала	A2	A2 несгорае- мый	A2	A2

Значение прочности ГВП при растяжении параллельно и перпендикулярно пласти плиты отличается незначительно, поэтому их можно отнести к изотропным материалам. В отличие от ГВП гипсокартонные плиты представляют собой анизотропный материал, в котором гипсовое ядро заключено в оболочку из основы картона.

Прочность гипсокартонных плит на растяжение перпендикулярно пласти соответствует прочности ГВП, в то время как их прочность на растяжение параллельно пласти плиты примерно в 2 раза ниже. Способность ГВП удерживать шурупы в 5 раз выше, чем у гипсокартонных. Механическую обработку ГВП можно производить такими же инструментами, которые используются при обработке древесных материалов, содержащих синтетическую смолу (древесностружечные и древесноволокнистые плиты, фанера и т. п.).

Конструктивные особенности ГВП позволяют осуществлять шлифовку поверхности на плоскошлифовальном станке, облицовывать ее шпоном и синтетическим материалом. Высокие физико-механические показатели ГВП определяют широкий диапазон их использования для внутренней отделки зданий. ГВП можно применять в качестве сухой штукатурки для потолков, стен и перегородок.

Технологический процесс получения ГВП представлен на рис. 2.5 и заключается в следующем. Бункер настилочной машины загружается

с помощью винтового конвейера, обеспечивающего равномерное распределение смеси по длине и ширине бункера.

Ковер из гипсоволокнистой смеси формируется на ленточном конвейере, который снабжен регулируемыми устройствами для выравнивания толщины ковра и обрезки кромки. Отходы гипсоволокнистого ковра, образующиеся на этом участке технологического процесса, возвращаются в бункер настилочной машины для повторного использования. Сформированный ковер с настилочного конвейера поступает на водопроницаемую тканевую ленту, подпрессовывается в прижимном устройстве примерно на  $\frac{2}{3}$  толщины и увлажняется. В зоне увлажнения под увлажнительным устройством расположены вакуум-отсасывающие ящики, обеспечивающие отвод воды из уплотненного материала.

Увлажненный ковер на сетчатой ленте поступает в передвижной одноэтажный пресс. Прессование осуществляется между транспортной лентой и верхней синхронно движущейся тканевой лентой с синтетическим покрытием. Для получения ровных боковых поверхностей пресс снабжен ограничительными ремнями. Как только подпрессованный гипсоволокнистый ковер достигает определенной точки находящегося в разомкнутом состоянии пресса, плиты пресса смыкаются, и он начинает перемещаться синхронно с прессуемым ковром. Вода, отжатая в процессе прессования, стекает в приямок пресса. По истечении времени прессования пресс размыкается и возвращается в исходное положение. Толщина выпускаемых ГВП задается в прессе сменными дистанционными прокладками.

После прессования пакеты поступают на ленточный конвейер, где с помощью водяной струи производится обрезка кромок ковра и разделение его на полотна. Полотна поступают на длинный ленточный конвейер, где начинается процесс схватывания ГВЦ. По окончании этого процесса плиты перемещаются на два ускорительных конвейера, которые направляют их к загрузочному устройству 8-этажной сушилки с сетчатыми лентами, работающей на природном газе. Температура в первой зоне колеблется от 18 до  $20^{\circ}\text{C}$  в последней зоне – от 60 до  $120^{\circ}\text{C}$ . Начальная влажность плит составляет 27%, конечная – 25%.

На линии окончательной обработки плиты калибруют на широколенточном шлифовальном станке и шлифуют с верхней стороны. За шлифовальным станком расположена установка для нанесения покрытия на обе поверхности плиты. В качестве покрытия используется водная силиконовая эмульсия. Она служит для связывания пыли и снижения водопоглощения плит. Для сушки покрытия применяется сопловая сушилка.

На форматно-обрезной установке можно получить плиты размером 1000×1500, 2500×6000 мм.

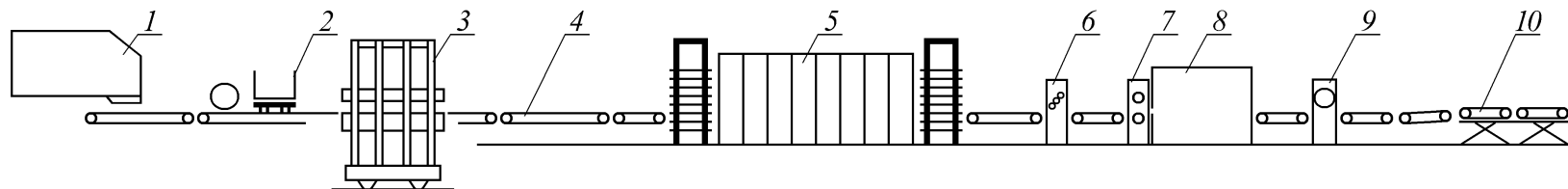


Рис. 2.5. Технологическая схема изготовления гипсоволокнистых плит:

1 – настилочная машина; 2 – пресс для подпрессовки с увлажнением; 3 – передвижной одноэтажный пресс;  
4 – ленточный конвейер; 5, 8 – сушилки; 6 – шлифовальный станок; 7 – установка для нанесения покрытия;  
9 – форматно-обрезной станок; 10 – штабелеукладчик

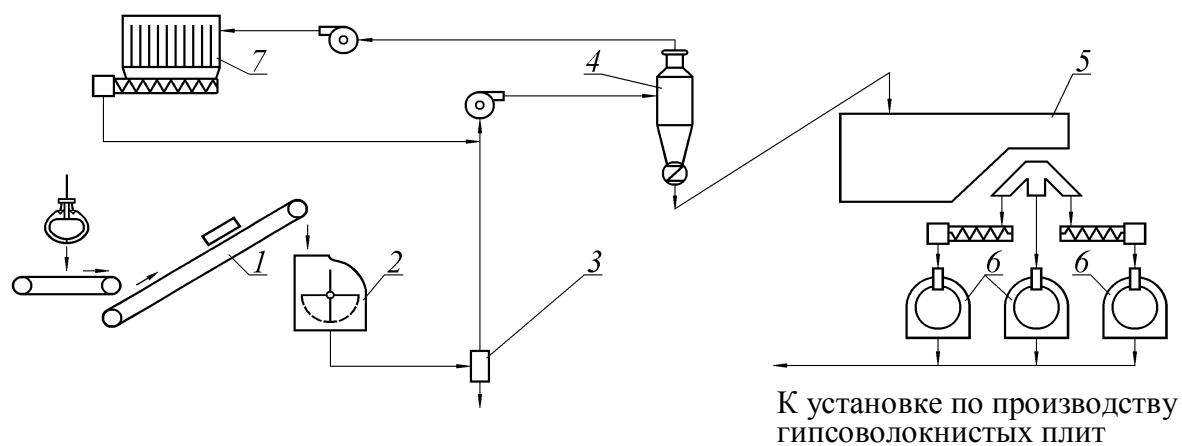


Рис. 2.6. Технологическая схема изготовления волокон из макулатуры:

1 – загрузочный конвейер; 2 – молотковая мельница; 3 – сепаратор; 4 – циклон;  
5 – бункер для обрезков бумаги; 6 – мельница размола; 7 – фильтр

Готовые плиты укладывают на поддон, упаковывают усадочной пленкой или обвязывают стальной лентой и отправляют на склад.

Существует несколько схем производства ГВП в зависимости от исходного сырья и применяемого оборудования.

Фирма «Зимпелькамп» выпускает полностью механизированные, с автоматическим управлением, линии производительностью от 1,4 до 14 млн. м плит в год. В качестве сырья используют отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также макулатуру в виде газет и журналов. При этом последняя не должна содержать загрязнений из синтетических веществ и органических жиров. Такие включения, как песок, пыль, нитки, металлические скрепки, допускаются до 1% массы макулатуры. Влажность макулатуры должна быть в пределах 6...18%.

Технологическая схема изготовления макулатурных волокон для получения ГВП показана на рис. 2.6.

Макулатура с помощью многочелюстного грейдера подается к дозирующему ленточному конвейеру. На пути к молотковой мельнице макулатура проходит через индикатор, который при наличии металлических включений автоматически прерывает загрузку мельницы. В молотковой мельнице макулатура измельчается на отрезки размером в почтовую марку, которые транспортируются в специальный бункер. В процессе транспортировки содержащиеся примеси удаляются.

Через дозатор обрезки подаются из бункера к мельнице, на которой получают сухой волокнистый материал длиной 0,09...2,00 мм. Бумажные волокна поступают в быстроходный смеситель, где перемешиваются с подготовленной смесью полугидрата и дигидрата гипса. После перемешивания гипсоволокнистую смесь транспортируют к бункеру настилочной машины для дальнейшего использования в технологическом процессе.

Заводы по производству ГВП не загрязняют окружающую среду вредными выбросами, поскольку во время технологического процесса не образуется ни сточных вод, ни отходов, подлежащих удалению. Избыточная вода, появляющаяся при увлажнении пакета и прессовании плит, а также вода для очистки прессовых лент отводится из приемка пресса через отстойник и вновь используется в производстве. Все отходы, возникающие при обрезке кромок и при шлифовании плит, собираются и возвращаются в технологический процесс в качестве сырьевого материала.

**Гипсоопилочные блоки.** Гипсоопилочные блоки (ГОб) изготавливают размером 490 × 290 × 250 мм для устройства несущих и самонесущих

стен в жилых и общественных зданиях, где относительная влажность воздуха не превышает 60%.

В качестве древесного заполнителя используются опилки, прошедшие через сито диаметром 10 мм. Опилки после виброгрохота поступают в бункер, снабженный вибратором для устранения зависания опилок. Одновременно в раздаточный бункер подается гипс. Смешивание гипса с опилками происходит в специальном смесителе, оборудованном валом с лопатками, расположенными по винтовой линии.

Смешивание компонентов осуществляется в следующей последовательности. В загрузочное отверстие смесителя по ленточному конвейеру поступают опилки, в это же отверстие из бункера через ячеиковый питатель загружают гипс. Вода подается форсунками в противоположный (разгрузочный) конец смесителя. После перемешивания гипсостружечная смесь выгружается в металлические четырехместные формы таким образом, чтобы уложенная в форму масса превышала высоту бортов на 4...5 мм. Формы имеют откидные борта и съемные перегородки, что обеспечивает быструю их разборку. Продолжительность цикла (от затворения смеси до уплотнения в форме) не должна превышать 2 мин. Уплотнение осуществляется в формах с вибропригрузом.

Формы с блоками перемещаются на склад, где спустя 15...20 мин производят распалубку. Завершающая операция – сушка блоков в сушильных камерах или в атмосферных условиях в течение 2...3 сут.

При изготовлении блоков объемное соотношение гипса и опилок равно 1 : 4. Такая рецептура обеспечивает получение блоков плотностью 650...850 кг/м<sup>3</sup>, с высокими физико-механическими показателями (предел прочности при сжатии – 2,0...3,5 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,233...0,279 Вт/(м · К)).

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

#### 3.1. Основные виды древесно-полимерных материалов

В настоящее время возможно получение практически неограниченного количества древесно-полимерных материалов (ДПМ), в том числе с заранее заданными свойствами. Поскольку используемые в их композиции в качестве наполнителя частицы древесины (опилки, стружка, др о бена, пыль и т. д.) являются о тхо дами, пр о иво дство ДПМ относится к весьма прогрессивным и экономически выгодным технологиям. Их свойства зависят от природы и свойств древесного наполнителя, вида и свойств модифицирующих добавок и технологии изготовления.

В зависимости от количества связующего вещества и давления прессования ДПМ образуют две группы, различающиеся по плотности и получившие название (с определенной степенью условности) легких и тяжелых пластиков.

ДПМ с плотностью  $700 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$  с небольшим содержанием связующего, применяемые в областях, где традиционно используют древесину или ее заменители, относятся к изделиям из *древесно-клеевой композиции* (ДКК). Тяжелые пластики с плотностью  $1250 \dots 1380 \text{ кг/м}^3$ , применяемые для деталей, традиционно изготавливаемых из металлов или заменяющих их пластмасс, являются изделиями из *древесно-прессовочных масс* (МДП).

В качестве связующих веществ используют большое количество полимеробразующих веществ, олигомеров и полимеров. Наилучшие результаты достигнуты на основе термопластов, реактопластов, а также их сочетаний.

При выборе полимерного матричного вещества принимается во внимание потенциальная возможность образования прочной адгезионной связи (в зоне межфазного слоя) между полимером и древесным наполнителем, определяющие конечные свойства материала. Кроме того, учитывают стоимость, нетоксичность, перспективы развития производства, а также аппаратурное оформление процессов получения пресс-композиций и их переработки в изделия.



В существующих производствах чаще всего применяют терморезактивные олигомеры и, главным образом, феноло-, карбамидо- и меламиноформальдегидные смолы и их модификации.

### 3.2. Основные виды масс древесных прессовочных

Массы древесно-прессовочные (МДП) состоят из частиц древесины и терморезактивных олигомеров и их модификаций. В зависимости от состава МДП подразделяют на виды и марки в соответствии с действующим ГОСТ 1368 «Массы древесные прессовочные. Технические условия».

Обозначения марок МДП содержат информацию о виде древесного наполнителя: МДПК – массы древесные прессовочные, содержащие частицы шпона (крошку), МДПС – массы древесные прессовочные, содержащие стружку, МДПО – массы древесные прессовочные, содержащие опилки. Последняя буква в обозначении характеризует связующее вещество: Б – бакелитовые лаки, т. е. спирторастворимые резола; В – водорастворимые фенолоформальдегидные смолы, фенолоспирты и их смеси; М – карбамидоформальдегидные смолы (мочевиноформальдегидные).

МДП основных марок перерабатывают в изделия сложной конфигурации в пресс-формах и применяют в виде различных деталей машин и механизмов, в основном, конструкционного назначения.

В табл. 3.1 приведен состав МДП.

Таблица 3.1

Состав масс древесно-прессовочных

Марка	Древесный наполнитель	Связующее	Добавка
МДПК-Б	Частицы березового шпона размерами, мм, не более: длина – 80, ширина – 10, толщина – 0,8 с содержанием частиц длиной 25...80 мм не более 10% общей массы	Бакелитовые лаки	–
МДПК-Ба			Смесь стеарата кальция, жирных кислот и оксида цинка
МДПК-В <sub>4</sub>	То же, но толщина частиц 1,8 мм	Водорастворимые фенолоформальдегидные смолы или их смесь с фенолоспиртами	–
МДПК-В <sub>5</sub>	Частицы березового шпона	То же	–

МДПК-Ва	размерами, мм, не более: длина – 50, ширина – 5, толщина – 1,8 с содержанием частиц длиной менее 2 мм не более 5% общей массы		Смесь измельченных отходов фторопластов и оксида цинка Скрытокристаллический графит
МДПК-Вг			
МДПС-М	Стружки лиственных пород, смесь стружек лиственных и хвойных пород, смесь стружек с опилками размерами, мм, не более: длина – 15, ширина – 5, толщина – 2	Карбамидоформальдегидные смолы	–

Окончание табл. 3.1

Марка	Древесный наполнитель	Связующее	Добавка
МДПО-Б	Опилки лиственных пород, смесь опилок лиственных и хвойных пород древесины, прошедшие через сито с отверстиями 3 мм и менее	Бакелитовые лаки	–
МДПО-Ба			Смесь стеарата кальция, жирных кислот и оксида цинка
МДПО-В	То же	Водорастворимые фенолоформальдегидные смолы	–
МДПО-Ва			Смесь измельченных отходов фторопласта и оксида цинка

### 3.3. Виды древесных наполнителей, синтетических связующих, модифицирующих добавок

#### 3.3.1. Измельченная древесина как исходное сырье для получения масс древесных прессовочных

Вся измельченная древесина по виду частиц может быть разделена:

1) на зернистую – древесная мука, опилки с формой, близкой к кубической;

2) волокнистую – волокнистая древесная мука, опилки, длина которых в 1,8...8 раз больше ширины или толщины, древесные волокна, узкие полосы древесного шпона;

3) крошкообразную – частицы шпона, стружка-отходы с соотношением длины к толщине (коэффициент гибкости) до 5.

Наиболее широко применяемые древесные наполнители имеют длину 0,0001...0,00025 мм, ширину – 0,00004...0,000025 мм, толщину – 0,00004...0,005 мм и для каждого вида и марки наполнителей строго определенные допуски по всем трем размерам.

Для древесных частиц за длину  $l$  обычно принимают размер вдоль волокон древесины, за толщину  $t$  – минимальный размер поперек волокон, за ширину  $b$  – максимальный размер поперек волокон. Очень важно для каждого вида древесных частиц-наполнителей знать все три размера  $l$ ,  $b$ ,  $t$  и гранулометрический состав.

Дисперсность и гранулометрический состав древесных наполнителей влияют на прочность, плотность и ряд других физико-механических свойств, а также технологичность и эксплуатационные свойства древесно-пластов. Г. М. Шварцманом было показано, что при увеличении  $l$ ,  $t$  и  $b$  значение предела прочности при изгибе у древесностружечных плит возрастает; при изменении гранулометрического состава путем введения до 15% древесной пыли оно также увеличивается, а при введении более 15% – уменьшается. Влияние на прочность дисперсности и гранулометрического состава наполнителя в МДП аналогично.

Древесные наполнители относятся к сильнопористым, так как имеют капиллярно-пористое строение, причем у них удельную поверхность целесообразно разделять на наружную  $S_{нар}$  и внутреннюю  $S_{вн}$ . Наружная поверхность зависит от дисперсности частиц и шероховатости поверхности, внутренняя – от природы древесины. Некоторые характеристики древесных наполнителей приведены в табл. 3.2.

Как видно из табл. 3.2, в качестве наполнителя в производстве МДП применяют: измельченные частицы сухого лущеного шпона (отходы фанерного производства), измельченные отходы фанеры и древесно-слоистых пластиков, опилки и стружку, образующиеся при переработке древесины. Наполнитель используют в композиции в количестве от 55 до 75 мас. %.

### 3.3.2. Синтетические связующие

В качестве связующего вещества для получения МДП используется резольная (терморезистивная) фенолоформальдегидная смола (ФФС), продукты ее начальной конденсации и их смеси, а также карбамидоформальдегидные (КФС) и меламиноформальдегидные (МЛФС) смолы.

Резольные олигомеры (резолы) – продукты поликонденсации, образующиеся при взаимодействии фенола и его гомологов (резорцина, крезолов, ксиленолов) с формальдегидом в щелочной среде при избытке формальдегида (мольное соотношение фенола и формальдегида 1 : (1...3)).

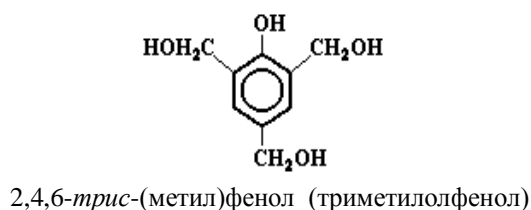
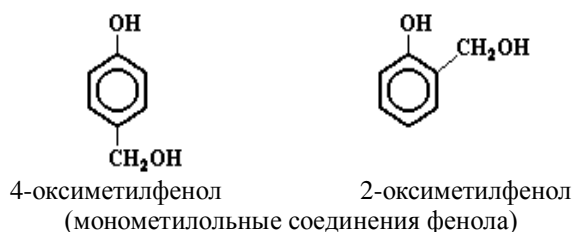
Свойства ФФС зависят от структурных особенностей фенольных компонентов, типа применяемого для создания щелочной среды гидроксида, мольного соотношения исходных компонентов, продолжительности и температуры реакции, молекулярной массы олигомерных соединений, а также используемых ускорителей отверждения. Уже при синтезе, в том числе ФФС, имеются широкие возможности для придания им различных свойств, что влияет на свойства материалов, получаемых на их основе.

Таблица 3.2

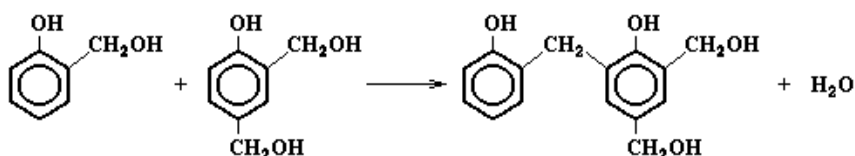
## Характеристики древесных наполнителей

Наполнитель	Порода древесины	Длина частиц, м	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_p$ вдоль волокон, МПа	Эффективный радиус капилляров системы $\times 10^{-4}$ , м		Удельная поверхность частиц, м <sup>2</sup> /кг		Влажность, %, не более
					max	min	наружная $\times 10^{-3}$	внутренняя $\times 10^{-3}$	
Древесная мука I сорта марок РМ, 180, 140, 100 (ГОСТ 16361)	Ель, сосна, пихта, их смесь	$1 \cdot 10^{-4}$	445	103,0	1,10	0,023	0,155	148	8
		$2 \cdot 10^{-3}$	500	103,5	2,97	0,119			
		$1 \cdot 10^{-4}$	375	67,0	–	–			
		$2 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	0,033			
Древесное волокно для древесноволокнистых плит	Хвойные и лиственные	$15 \cdot 10^{-4}$	–	–	3,25	0,023	0,15	353	8
		$2 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	–	–	
		$5 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	0,23	611	
Опилки (ГОСТ 12431)	То же	Не ограничена	–	–	3,25	0,023	0,02...0,08	–	12
Стружка-отходы (ГОСТ 12431)	»	До $5 \cdot 10^{-2}$	–	–	3,25	0,023	–	148...216	12
Специальная стружка для древесно-стружечных плит	»	$5 \cdot 10^{-3}$ $4 \cdot 10^{-2}$	–	–	3,25	0,023	0,075...0,135	148...216	6
Частицы шпона (ГОСТ 12431) для МДП марок: МДПК-А, МДПК-Б, МДПК-В, МДПК-В <sub>2</sub> , МДПК-В <sub>3</sub> , МДПК-В <sub>4</sub> МДПК-Б <sub>1</sub> , МДПК-В <sub>1</sub>	Береза	80	0,63	1680	2,86	0,12	–	216	3,8

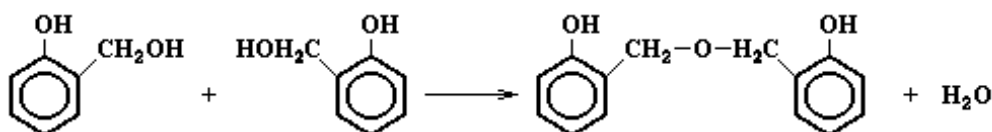
На первой стадии резольной поликонденсации в результате присоединения  $\text{CH}_2\text{O}$  к фенолу образуются фенолоспирты – смесь моно-, ди- и триоксиметилфенолов в соотношениях, зависящих от условий реакции. Оксиметильные (метилольные) группы могут занимать все свободные положения в молекуле фенола, кроме метаположения, что приводит к возникновению нижеследующих соединений:



Фенолоспирты взаимодействуют между собой за счет гидроксиметильных групп и незамещенных атомов бензольного кольца с образованием метиленовых мостиков и выделением воды:



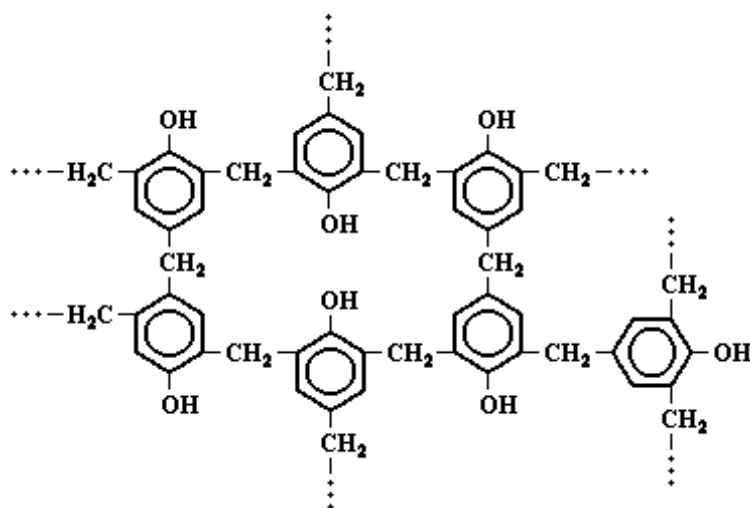
При взаимодействии оксиметилфенолов друг с другом возникают диметиленэфирные связи. Диметиленэфирные мостики не устойчивы и при нагревании выше  $150^\circ\text{C}$  преобразуются в метиленовые с выделением формальдегида:



Реакция поликонденсации фенолоспиртов может идти дальше до образования олигомерных соединений – смеси линейных и разветвленных молекул, состоящих из 4...6 бензольных колец, соединенных между собой метиленовыми и диметиленэфирными группами и содержащих 2...6 гидроксиметильных групп. Молекулярная масса таких соединений, называемых резольными смолами, может составлять 300...2000.

Наличие в цепях молекул гидроксильных и гидроксиметильных групп, являющихся полярными и реакционноспособными, обуславливает высокую адгезию резольных смол к древесине, а также их растворимость в спирте, ацетоне, водных основаниях.

Отверждение ФФС происходит в три стадии. Свойства смол на этих стадиях различны: стадия А – плавкие и растворимые резолы; стадия В – резитолы, способные к набуханию и размягчению; стадия С – резиты, конечные продукты поликонденсации – неплавкие и нерастворимые. Ниже приведен фрагмент структуры резита:

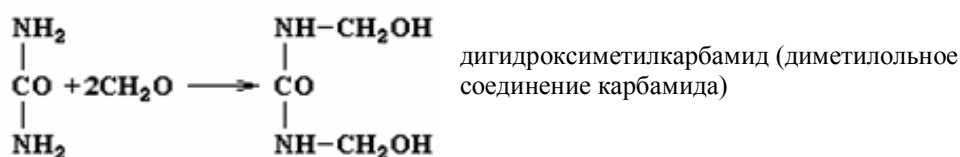
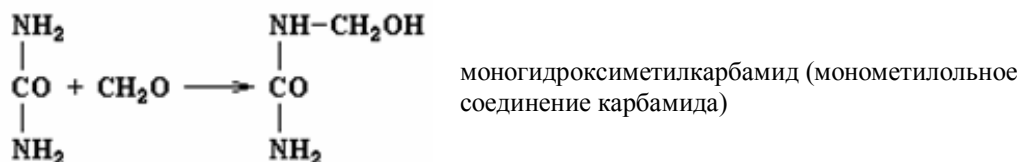


Отверждение резольных олигомеров осуществляется при нагревании (150...180°C) в присутствии ускорителей или без них. В отвержденном сетчатом полимере наравне с поперечными сшивками образуется значительный фронт водородных связей. ФФС придают материалам на их основе высокую термостойкость и гидрофобность в сочетании с диэлектрическими свойствами и прочностью. В производстве МДП используют спирторастворимые ФФС марок СБС-1, ЛБС-3 (бакелитовые лаки), водорастворимую смолу марки СФЖ-3011 и фенолоспирты марок Б и В.

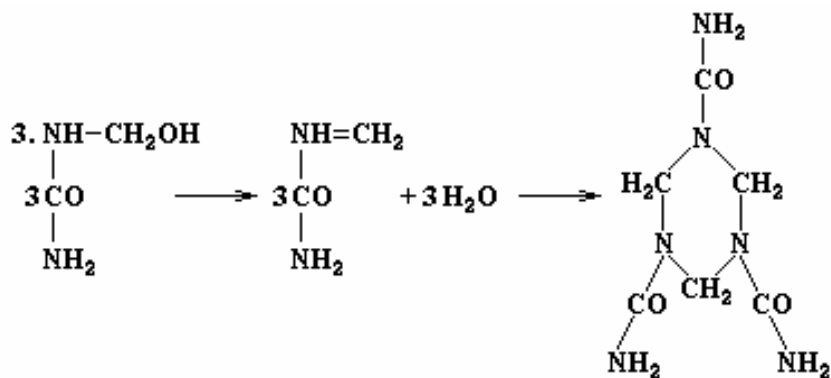
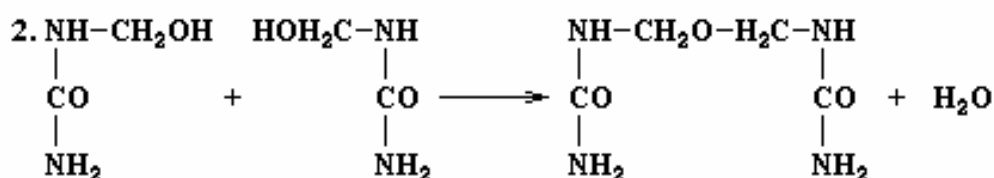
Карбамидоформальдегидные олигомеры с молекулярной массой около 1000 имеют следующие преимущества в сравнении с другими

связующими веществами: более низкую стоимость, доступность исходных продуктов, простоту синтеза, высокую скорость отверждения и адгезию к целлюлозосодержащим материалам.

КФС образуются при взаимодействии карбамида с формальдегидом при переменном значении pH. Синтез КФС проводят преимущественно в две стадии. На первой стадии при pH 7...8 и довольно низких температурах (20...50°C) образуются продукты начальной конденсации – гидроксиметильные производные карбамида:



На второй стадии в слабокислой среде эти производные карбамида вступают в реакцию поликонденсации с образованием линейных и разветвленных макромолекул по следующим основным реакциям:

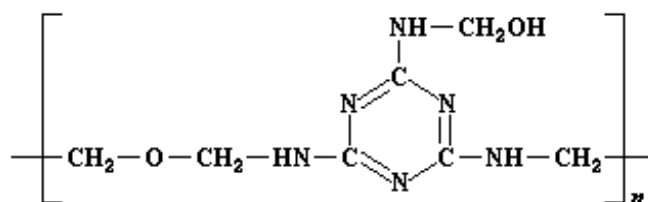




В результате этих реакций образуются макромолекулы, состоящие из 10...20 остатков карбамида, соединенных между собой метиленовыми и метиленэфирными связями и содержащие циклические звенья.

Отверждение КФС происходит при температуре 140...150°C в присутствии кислых катализаторов (кислот, солей сильных кислот, комбинированных отверждающих систем). Образуется полимер с редкой сеткой сшивок, что предопределяет его низкую водостойкость, особенно при повышенной температуре. Особенности структуры отвержденного полимера являются причиной выделения свободного формальдегида и увеличения токсичности материалов на основе КФС. Термогидролитическую устойчивость повышают, заменяя часть карбамида меламинам или фенолом, применяя новые приемы синтеза и подбирая условия отверждения КФС.

Наравне с КФС могут быть использованы МЛФС, имеющие общую формулу:



В отвержденном состоянии, благодаря более высокой функциональности меламина, МЛФС в отличие от КФС содержат большее число поперечных связей и придают материалам повышенную гидрофобность и термостойкость. Считается, что МЛФС обладают всеми достоинствами карбамидных и фенольных олигомеров и не содержат их недостатков, но их широкое применение ограничивается из-за высокой стоимости. За рубежом меламиновые олигомеры широко используются в производстве различных древесных композиционных материалов.

### 3.3.3. Химические добавки

Кроме наполнителей и связующих веществ, при получении масс древесных прессовочных используют различные вспомогательные компоненты – смазки, красители, ускорители отверждения, а также различные модифицирующие добавки, назначение которых – эффективно влиять на свойства изделий.

Как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные соединения способствуют успешной переработке, снижению брака от недопрессовок и изготовлению изделий сложной конфигурации. Эти соединения

улучшают такие важные эксплуатационные характеристики, как ударная прочность, гидрофобность, антифрикционные свойства.

В качестве смазок, применяемых для предотвращения прилипания пресс-массы к рабочим поверхностям пресс-формы, используют олеиновую кислоту, стеарин, стеарат цинка, минеральное масло (1,3... 2,6% от абсолютно сухой массы композиции). Для окрашивания пресс-масс вводят нигрозин, мумие, сурик и др. (2,0...2,2%); для ускорения отверждения синтетического связующего вещества – уротропин, сульфокислоты, оксиды металлов, соли сильных кислот (0,5...1,5%). Антифрикционные добавки (алюминиевая пудра, кристаллический графит, медный порошок); такие полимеры, как фторопласты, полиамиды и др., способствуют снижению коэффициента трения деталей.

Применение совмещенных связующих, состоящих из фенольных и карбамидных или меламиновых олигомеров или продуктов их начальной поликонденсации, позволяет модифицировать свойства, снизить энергоемкость переработки и себестоимость готовых изделий.

Обработка древесного наполнителя аммиаком, карбамидом и другими низкомолекулярными соединениями приводит к изменению свойств наполнителя и основных свойств МДП. Использование в композиции МДП гидролизного лигнина, лигносульфонатов, таллового масла, таллового пека и других отходов химической переработки древесины значительно сокращает расход дефицитной ФФС, красителей, смазок, способствует расширению сферы применения МДП и получению значительного экономического эффекта.

#### **3.4. Основные операции технологического процесса получения масс древесных прессовочных**

Для превращения отходов древесины в наполнитель, имеющий частицы с заданным диапазоном размеров по длине, ширине, толщине, с определенным фракционным составом, формой, влажностью и целым рядом других регламентированных показателей, их измельчают, сушат и сортируют. Затем частицы древесного наполнителя дозируют и совмещают с подготовленным связующим. Полученную пресс-массу сушат, стандартизуют, упаковывают.

В зависимости от вида пресс-масс, применяемого сырья, связующих и способа их совмещения некоторые операции могут быть исключены или введены дополнительные.

Рассмотрим некоторые технологические операции производства древесных пресс-масс.

**Измельчение и сортировка древесных отходов.** На прочностные показатели изделий из древесных пресс-масс влияют размеры частиц. Для обеспечения гарантированного качества пресс-масс необходимо так измельчить отходы, чтобы получились частицы с заданной длиной и шириной.

Для измельчения древесных отходов, например, сухого шпона при изготовлении МДПК используют комбинированные молотковые дробилки типа ДММ-0,3, ДКУ-1А, ДКУ-М. Последняя наиболее эффективна. Полученная измельченная древесина имеет игольчатую форму с размерами, мм: длина – 5...60, ширина – 0,5...5,0, толщина – 0,3...2,0.

Поскольку при измельчении отходов древесины на такого типа дробилках происходит только частичное удаление пыли, а в ряде случаев не обеспечивается заданный фракционный состав, то для получения необходимого соотношения размеров частиц их сортируют, применяя для этого грохоты, отсеивы пневматические и инерционные разделители частиц.

**Сушка древесных наполнителей.** При изготовлении пресс-масс типа МДПК в качестве древесного наполнителя используют сухие отходы шпона, которые не требуют сушки. Для получения пресс-масс других типов применяют, например, опилки, образующиеся от пиления древесины на лесопильных рамах. Их влажность варьирует от 30 до 90%. Опилки и стружки (или их смеси), полученные при обработке пиломатериалов на деревообрабатывающих станках, имеют влажность 10...25%.

В зависимости от влажности частиц древесины для их сушки используют кондуктивные (контактные), конвективные и комбинированные сушилки. Кондуктивные сушилки целесообразно применять для отходов деревообработки со сравнительно невысокой влажностью. Наиболее часто используемые конвективные сушилки могут быть с механическим, пневматическим и комбинированным перемещением частиц.

К конвективным сушилкам с механическим перемещением частиц относят многоэтажные ленточные сушилки марки ПКС-20, ЦНИИФ-14. Их применяют для сушки древесных частиц при температуре не выше 150...160°C.

К конвективным сушилкам с пневматическим перемещением частиц относят трубы-сушилки и сушилки с коническими рюмками. В этих сушилках агентом сушки являются топочные газы с температурой

600...800°C на входе и 130...140°C на выходе, поэтому в них целесообразно сушить опилки с исходной высокой влажностью (70...90%).

К конвективным сушилкам с комбинированным (пневмомеханическим) перемещением частиц относятся сушилки с «кипящим» слоем типа «Келлер», которые бывают одно- и двухступенчатые, и типа «Прогресс».

**Дозирование компонентов.** В зависимости от марки МДП, назначения и технологии переработки в их состав входят различные компоненты в заданных соотношениях. Для обеспечения этих соотношений применяют дозирование компонентов. Чаще всего наполнитель и химические добавки дозуют по весу, а связующие – по объему.

Количество компонентов на получение одного замеса в смесителе периодического действия определяют по следующим формулам:

$$G_H = \frac{P_H G_H (100 + W_H)(100 - W_M)}{10^6}, \quad (3.1)$$

$$G_{ж.с} = \frac{P_c G_H (100 - W_M)}{100K}, \quad (3.2)$$

$$G_D = \frac{P_D G_M G_H (100 + W_D)(100 - W_M)}{10^6}, \quad (3.3)$$

где  $G_H$ ,  $G_{ж.с}$ ,  $G_D$  – масса соответственно древесного наполнителя, жидкого связующего и каждого вида добавок при влажности в момент

загрузки, кг;  $P_H$ ,  $P_c$ ,  $P_D$  – содержание в пресс-массе соответственно абсолютно сухих древесного наполнителя, связующего, каждого вида добавок, %;  $K$  – содержание сухого вещества в связующем, %;  $G_M$  – масса одного замеса готовой пресс-массы, кг;  $W_H$ ,  $W_D$ ,  $W_M$  – влажность соответственно древесного наполнителя ( $W_H = 5...12\%$ ), сухих добавок ( $W_D = 0\%$ ) и готовой пресс-массы ( $W_M = 6...8\%$ ), %.

Для объемного дозирования связующего его массу переводят в объем ( $V_{ж.с}$ ) с учетом плотности раствора.

Для дозирования древесного наполнителя применяют циферблатные весы ВПЦ-500 с закрепленным на их площадке стальным бункером и автоматические весы ДДС-10 ДДСП-10, ДМ-100-2, ДК-100 с дистанционным управлением.

Для смолы используют емкостные дозаторы различной конструкции, чаще с поплавками. По достижении заданного объема смолы поплавок поднимает толкатель, который нажимает на выключа-

тель, связанный с насосом, перекачивающим смолу из емкости в мерник. Емкостный мерник снабжен водяной рубашкой, в которую можно подавать горячую воду или другой теплоноситель для подогрева смолы до температуры 45...50°C.

#### ***Совмещение частиц древесного наполнителя и связующих.***

В производстве древесно-прессовочных масс процессы смешивания и пропитки наполнителя связующим происходят одновременно. Следовательно, эту операцию правильнее называть совмещением. Совмещение частиц древесины со связующим – важнейшая операция технологического процесса, обеспечивающая как технологические (текучесть, скорость отверждения, длительность вязкотекучего состояния), так и физико-механические (прочность, плотность, водопоглощение) свойства МДП и изделий из них. Рациональное совмещение древесных частиц со связующим позволяет сэкономить синтетические смолы, стоимость которых составляет от 48 до 55% себестоимости МДП.

В результате совмещения древесных наполнителей с жидкими полимерными связующими последние покрывают наружные поверхности и некоторую часть внутренних поверхностей древесных частиц.

Толщина слоя возрастает при повышении содержания связующего, уменьшении удельных поверхностей древесных частиц и степени их покрытия связующим. Увеличение толщины слоя связующего на поверхности улучшает текучесть пресс-массы.

В технологическом процессе производства МДП для достижения высокого качества продукции при минимальном расходе связующего необходимо применять частицы с минимальными размерами по толщине при достаточно большой длине. Это обеспечивает минимальную наружную поверхность. Минимизации расхода связующего способствует уменьшение возможности проникновения связующего в межфибриллярные промежутки и капилляры.

Наиболее эффективными путями решения проблемы в целом являются смешивание древесных наполнителей с сухим связующим, а также скоростное смешивание с жидким связующим.

Совмещение частиц древесины со связующим осуществляют способами вымачивания, «динамической» пропитки и смешивания.

«Динамическая» пропитка частиц древесины связующим производится в смесительных бегунах. Такое смесительное устройство применяют для пропитки опилок в производстве МДПО. Режим пропитки опилок водорастворимыми фенолоформальдегидными смолами следующий: количество загружаемых опилок – 80...100 кг, темпера-

тура пропиточного раствора – 20...25°C, концентрация раствора смол – 28...35%; продолжительность пропитки 30...40 мин. Содержание сухой смолы в пресс-массе составляет 25...35%.

Для совмещения древесных частиц со связующим методом смешивания применяют устройства с пневматическим распылением связующего или с заливкой связующего в смеситель. В этих целях используют лопастные смесители с Z-образными мешалками без и с обогревательной рубашкой (с жаровым или электрическим обогревом).

При изготовлении древесных пресс-масс с применением червячно-лопастных смесителей режим совмещения наполнителя со спирто- и водорастворимыми фенолоформальдегидными смолами следующий: количество древесины – 80...100 кг, температура пропиточного раствора – 25...45°C, концентрация пропиточного раствора – 43...55%, продолжительность перемешивания – 10...30 мин.

Способ вымачивания использован в пропиточно-сушильном агрегате (ПСА), где совмещены операции пропитки и сушки (рис. 3.1).

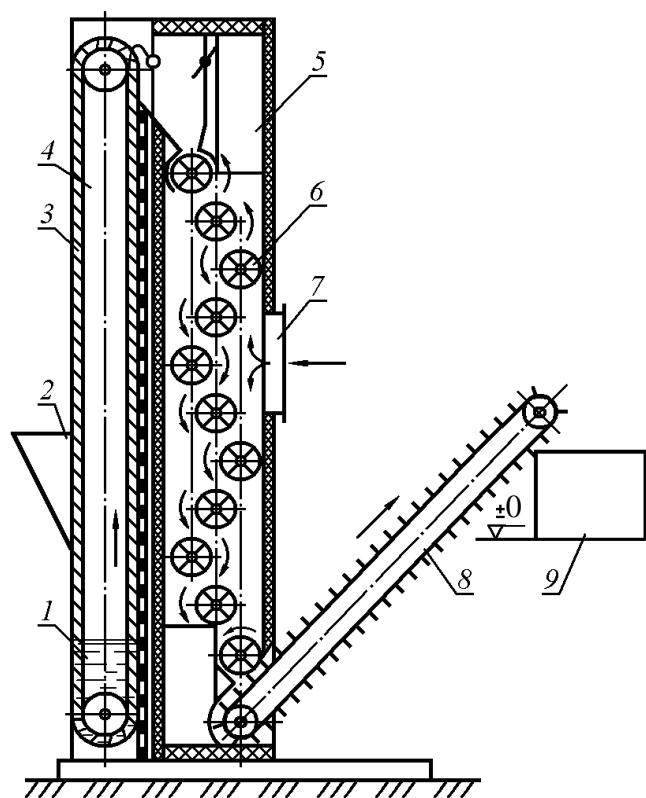


Рис. 3.1. Схема пропиточно-сушильного агрегата:  
 1 – ванна; 2 – бункер; 3 – цепной элеватор с ковшами;  
 4 – шахта для подачи измельченной древесины;  
 5 – сушильная шахта; 6 – вращающиеся мотовила;

7 – патрубок; 8 – наклонный конвейер;  
9 – приемный бункер готовой массы

ПСА представляет собой вертикальный аппарат высотой 5 м, разделенный на две шахты. В нижней части одной из шахт 4 происходит пропитка измельченной древесины, затем пропитанная масса с помощью цепного элеватора с ковшами 3 выгружается и поднимается наверх, при этом излишки смолы стекают по наклонной стенке в ванну 1. Пропитанная масса в верхней части аппарата передается в сушильную шахту 5, где, просыпаясь сверху вниз, высушивается нагретым воздухом, поступающим через патрубок 7. Движение массы задерживается вращающимися мотовилами 6, представляющими собой валы с радиально расположенными лопастями. Высушенная масса наклонным конвейером 8 выгружается в приемный бункер готовой массы 9. Ковши цепного конвейера при движении вниз автоматически заполняются древесиной из бункера 2 и транспортируют ее на пропитку.

Пропитку проводят чаще всего 28...38%-ным спиртовым раствором фенолоформальдегидной смолы. За 9...10 мин пребывания измельченной древесины в пропиточной ванне впитывается 25...30% смолы (в расчете на сухие вещества). Продолжительность процесса изготовления пресс-массы (от загрузки до получения готового материала) составляет 45...50 мин; температура сушки на входе в сушильную шахту равна 100...110°C, на выходе – 60°C. Существуют и другие схемы совмещения частиц древесного наполнителя и связующего.

***Сушка осмоленных древесных прессовочных масс.*** Сушка древесных прессовочных масс принципиально отличается от сушки измельченной древесины тем, что в МДП частицы древесины покрыты связующим по наружной поверхности и частично им пропитаны. Это накладывает ограничения на максимальную температуру сушки, так как ее превышение приводит к частичной поликонденсации связующего и ухудшает текучесть пресс-масс.

В зависимости от количества выделяемой влаги, влажности связующего, размеров и форм частиц древесины сушку пресс-масс осуществляют в конвективных сушилках с механическим, пневматическим и комбинированным перемещением частиц.

Многоэтажные ленточные сушилki и трубы-сушилki применяют и для сушки пресс-массы, только при сушке последних температура частиц должна быть меньше температуры поликонденсации смолы, что достигается установкой калориферов взамен топок. Кроме того,

для сушки пресс-масс пригодны барабанные сушилки типа «Прогресс», «Бютнер» и многокамерные сушилки с «кипящим слоем».

**Стандартизация и упаковка.** Для выравнивания влажности древесных прессовочных масс, полученных в различных замесах, и равномерного распределения частиц различных размеров производят их перемешивание, называемое стандартизацией. Обычно эту операцию выполняют в смесителях или в стандартизаторах – емкостях, имеющих лопасти для перемешивания. Длительность перемешивания составляет 15...20 мин. Готовую пресс-массу упаковывают в 4- и 5-слойные бумажные мешки. Зашивка мешков осуществляется на специальной машине, например, модели ЗЗЕМ, производительность которой достигает 500 мешков в час. При зашивке мешка пришивается этикетка с указанием марки пресс-массы, номера ГОСТа, наименования предприятия-изготовителя или кодовый штрих.

### **3.5. Технологические схемы изготовления масс древесных прессовочных**

Технологические процессы изготовления древесных пресс-масс различных марок определяются составом пресс-композиции (структурой наполнителя, маркой связующего, наличием модифицирующих добавок) и состоят из различных технологических операций, осуществляющихся на разном оборудовании. Технологический процесс производства пресс-масс из опилок марки МДПО предусматривает следующие операции: сортировку опилок; их сушку; приготовление рабочего раствора смолы; дозирование компонентов композиции их совмещением; сушку; упаковку и маркировку.

Технологическая схема промышленного производства древесных пресс-масс с использованием смесительных бегунов показана на рис. 3.2.

Смесь опилок хвойных и лиственных пород автосамосвалом доставляют в приемное отделение цеха, выгружают в приемник, которым они подаются в накопительный бункер 1. Далее опилки поступают на вибросито 2 для сортировки. Промышленную фракцию опилок винтовым питателем 3 и элеватором 4 направляют в бункер сырых опилок 5, откуда с помощью тарельчатого питателя 6 они поступают в барабанную сушилку 7. Высушенные до влажности 10...12% опилки ковшовым элеватором 8 загружают в бункер сухих опилок 9. Через



весовой дозатор *10* и винтовой конвейерный ресивер *11* они направляются на пропитку в бегуны *12*.

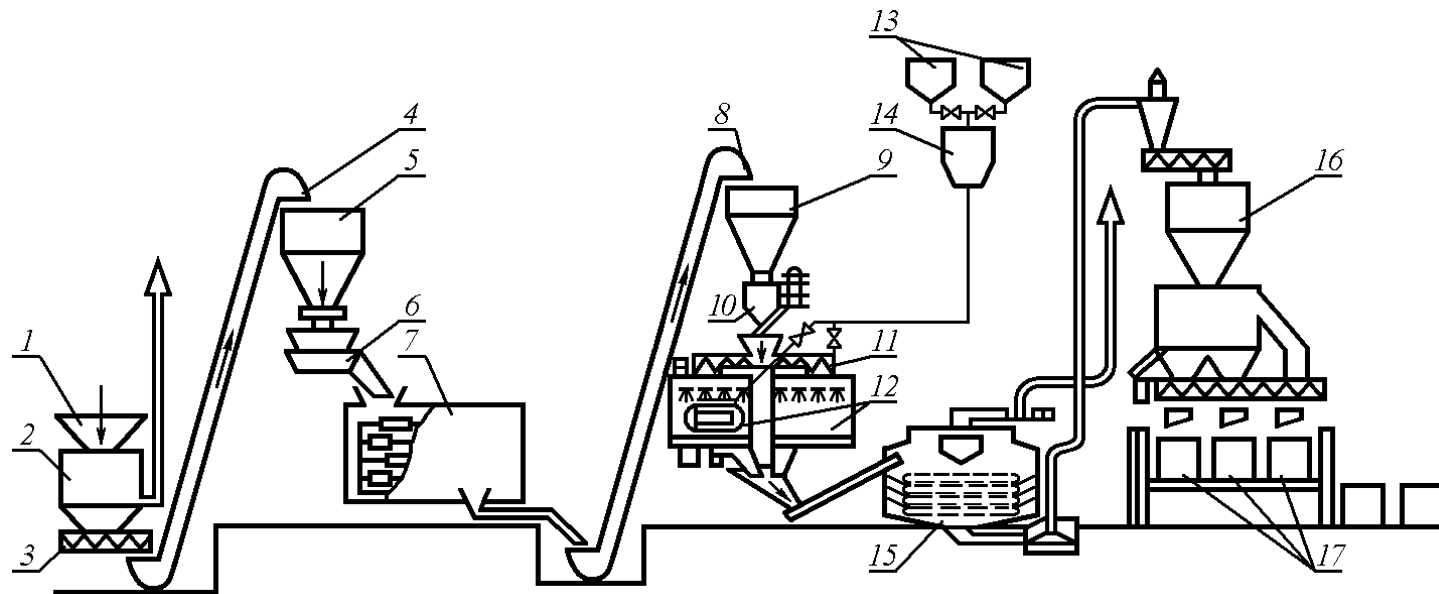


Рис. 3.2. Схема технологического процесса производства древесных пресс-масс с использованием смешительных бегунов:

- 1 – накопительный бункер; 2 – вибросито; 3 – винтовой питатель;  
 4 – элеватор; 5 – бункер сырых опилок; 6 – тарельчатый питатель; 7 – барабанная сушилка;  
 8 – ковшовый элеватор; 9 – бункер сухих опилок; 10, 14 – весовые дозаторы;  
 11 – винтовой конвейерный ресивер; 12 – бегуны; 13 – емкости с мешалками;  
 15 – конвейерная сушилка; 16 – бункер готовой пресс-массы; 17 – упаковочные мешки

Пропиточный раствор смолы 28...35%-ной концентрации в количестве 25...35 мас. % в пересчете на сухие вещества, а также необходимые компоненты композиции (олеиновую кислоту, уротропин, красители и возможные другие модифицирующие добавки) приготавливают в емкостях, снабженных мешалками 13, дозируют через весовой дозатор 14 и распыляют на опилки в бегунах. Пропитку опилок водорастворимыми фенолоформальдегидными олигомерами в бегунах осуществляют при температуре 20...25°C в течение 30...40 мин. Сырая пресс-масса через люки бегунов и желоб с помощью наклонного конвейера подается в конвейерную сушилку 15. Для марки МДПО-В сушка ведется горячим воздухом при температуре 90...120°C до влажности 6...10%.

Сухая пресс-масса пневмотранспортом через циклон винтовым конвейером подается в бункер 16. Готовую пресс-массу сортируют, упаковывают в мешки 17, которые маркируют и отправляют на склад готовой продукции.

Технологический процесс производства древесных пресс-масс из отходов шпона марки МДПК состоит из операций измельчения отходов шпона, сортировки измельченной древесины, приготовления рабочего раствора олигомера, дозирования и смешивания измельченной древесины, связующего вещества, отверждающих, смазывающих и модифицирующих добавок, сушки сырой композиции, стандартизации ее, упаковки и маркировки.

Пресс-масса марки МДПС-М, состоящая из смеси стружек и опилок, совмещенных с карбамидной смолой, изготавливается наиболее часто.

Стружка-отходы, образующиеся при обработке высушенных пиломатериалов, пневмотранспортом подают на вибросито. С его помощью отделяют крупные древесные частицы, а стружку и опилки, прошедшие через сита размером 2×25 мм, загружают в весовой дозатор, который отделяет дозу массой 200 кг. Влажность частиц должна быть в пределах 7...12%.

Из дозатора древесные частицы пневмотранспортом перемещают в смеситель. После полной загрузки смесителя его лопасти приводятся во вращение и одновременно через форсунки разбрызгивают отмеренное количество связующего. После совмещения со связующим массу выгружают из смесителя на загрузочный транспортер сушилки, где вводят 2...5% стеарата цинка. Пресс-массу сушат в многоходовой ленточной сушилке при температуре не более 70°C до влажности 4...8%. Высушенную пресс-массу ссыпают в бункер, контролируют и затаривают.

### 3.6. Технологические схемы изготовления древесно-клеевых композиций и изделий из них

Технологический процесс изготовления древесно-клеевых композиций (ДКК) во многом напоминает получение неосмоленной стружки в технологии ДСтП. Он определяется назначением получаемых изделий и зависит от вида древесного сырья, каким располагает данное производство. В общем случае получение ДКК складывается из следующих основных операций: подготовки наполнителя; подготовки растворов связующих веществ, модифицирующих и отверждающих добавок. При применении опилок или станочной стружки операция подготовки наполнителя упрощается и ограничивается сушкой и сортировкой измельченной древесины. При наличии кусковых отходов или тонкомерной древесины технологическая схема производства ДКК и применяемое оборудование могут быть целиком заимствованы из производства ДСтП.

**Измельчение древесины.** Данная операция может осуществляться любым способом. По одному из них используют предварительное дробление кусковых отходов на дисковых или барабанных рубительных машинах и последующее измельчение полученной щепы на стружечных станках роторного типа. По другому способу древесину измельчают на дисковых стружечных станках резанием параллельно волокнам и доизмельчают полученную стружку шириной 20...30 мм на молотковых дробилках.

В первом случае получают стружку игольчатой формы, применяемую во внутренних слоях ДСтП, пригодную для изготовления ДКК. Вторым способом получают длинную и тонкую стружку с ровной и гладкой поверхностью.

Хранение измельченной древесины и создание межоперационного запаса производят в специальных бункерах для сырой и сухой измельченной древесины.

Все операции по приему и выдаче измельченной древесины выполняют автоматически. Для создания больших промежуточных запасов щепы применяют бункеры вертикального типа емкостью 60...300 м<sup>3</sup>, а также горизонтальные – емкостью 18...30 м<sup>3</sup>.

**Сушка измельченной древесины.** Опилки, стружка, изготовленные из отходов, имеют влажность 40...120%, станочная стружка – 6...12%. Измельченную древесину высушивают в барабанных, пневматических, ленточных и других сушилках до определенной влажности. При осмолении стружки вносится влага, поэтому наполнитель

высушивают до 2..4 % Для сушки измельченной др весины могут быть использованы барабанные сушилки, ротационный аппарат, сушилки с «кипящим слоем».

**Смешивание наполнителя с раствором связующего вещества и другими добавками (гидрофобизатором, антисептиком, антипиреном и др.).** После дозирования всех компонентов проводят смешивание наполнителя с раствором связующего и другими добавками в смесителях периодического и непрерывного действия. Введение жидких компонентов может быть совместным или отдельным. Назначение этой технологической операции – равномерное покрытие поверхности древесины связующим веществом. Этого достигают, применяя распыление смолы сжатым воздухом под давлением 0,2...0,3 МПа, снижая вязкость смолы ее нагреванием, обработкой ультразвуком или разбавлением до 50%-ной концентрации. Равномерное распределение смолы на поверхности древесных частиц приводит к повышению прочности при статическом изгибе материалов и ДКК в 3 раза.

Поскольку связующее вещество при осмолении наполнителя вносит дополнительную влагу, в некоторых случаях появляется необходимость подсушивания ДКК.

На рис. 3.3 представлена схема технологического процесса производства цельнопрессованных изделий из ДКК.

Древесина измельчается на стружечном станке 1 и пневмотранспортом подается на сортировку в воздушном сепараторе 2, где крупные частицы отделяются и вторично измельчаются на молотковой дробилке 3.

Кондиционная стружка из сепаратора и молотковой дробилки загрузочным конвейером 5 направляется в сушилку 6, обогреваемую топочными газами, поступающими из топки 4.

Высушенная стружка подается в бункер 7, из которого загружается в смеситель непрерывного действия 8. Из клееприготовительного отделения 9 в смеситель поступает раствор связующего вещества и другие добавки. Осмоленный наполнитель подсушивается в сушилке 10 в условиях, предотвращающих преждевременное отверждение связующего. Далее пресс-материал через циклон 11 конвейером 12 направляется в дозирующее устройство 13, а для дальнейшей переработки – в пресс-формы прессов 14. Затем изделия поступают на кондиционирование и заключительную отделку.

Сырьем служит доизмельченная стружка (подобная стружке для производства ДСтП), связующим – меламинокарбамидоформальдегидные олигомеры с применением отверждающих компонентов.

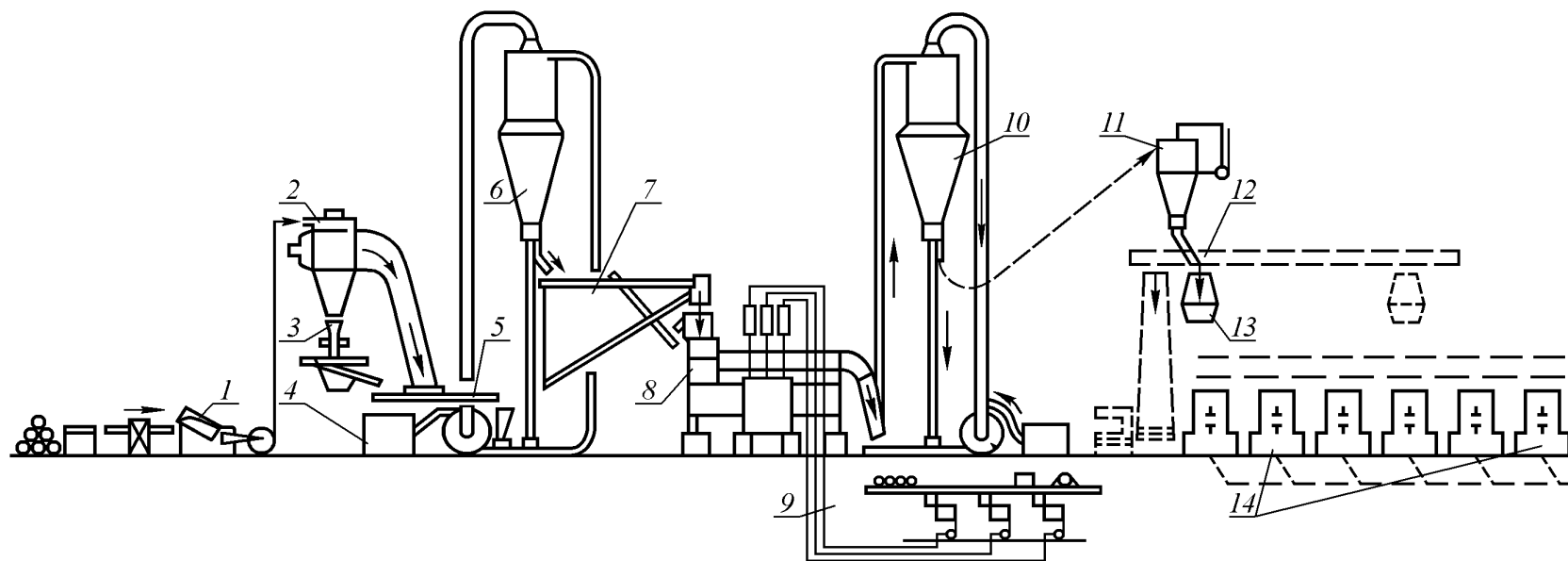


Рис. 3.3. Схема технологического процесса производства изделий из ДКК:  
 1 – стружечный станок; 2 – воздушный сепаратор; 3 – молотковая дробилка;  
 4 – топка; 5 – загрузочный конвейер; 6, 10 – сушилка; 7 – бункер сухой стружки;  
 8 – смеситель непрерывного действия; 9 – клееприготовительное отделение; 11 – циклон;  
 12 – конвейер; 13 – дозирующее устройство; 14 – пресс-формы прессов

Содержание связующего вещества в деталях сложной конфигурации и деталях для наружной эксплуатации достигает 20...25%, а для внутренней – 10...15%. Расход древесины на 1 м<sup>3</sup> изделия составляет 600...750 кг, связующего – 30...200 кг.

На действующих предприятиях широко используют последние технические достижения, а применяемые процессы автоматизированы. Изделия из ДКК, отделанные в процессе изготовления бумажно-смоляными и винильными пленками, отличаются разнообразием и отвечают современным эстетическим требованиям. Известен выпуск более 600 наименований различных изделий из ДКК, таких как дверные полотна, плитки для пола, плинтуса, наличники, облицовочные и стеновые панели, детали мебели, корпуса телевизоров и радиоприемников, тарные ящики и многие другие изделия.

В последнее время получили распространение технологии изготовления изделий из измельченной древесины и термопластичных порошкообразных связующих (т. е. связующих, не содержащих растворителя).

К таким технологиям относится получение изделий из древесных частиц в смеси с порошкообразным полипропиленом методами прессования, литья под давлением, экструзией. При прессовании плит из полипропилена и древесной стружки применяется технология, близкая к технологии ДСтП.

Стружку, полученную на стружечных станках с ножевым валом или путем переработки щепы на центробежных стружечных станках, сушат в сушилке до влажности 3...6%, затем пневмотранспортом доставляют в бункер. С помощью вибросита отсеивают крупные фракции, которые направляются в дробилку, а кондиционные частицы поступают в бункер. В специальном бункере хранится порошкообразный полипропилен, который вместе со стружкой подают в смеситель, где происходит равномерное перемешивание.

Полученную древесно-полимерную смесь с помощью формирующей машины насыпают в виде ковра на бесконечную ленту главного конвейера. Затем ковер предварительно подогревают до 180°C в специальном устройстве, передают в однопролетный пресс, где прессуют при давлением 2...6 МПа. Полученную плиту охлаждают в камере, обрезают по контуру. Обрезки возвращают в дробилку. Кондиционные плиты принимают на подъемный стол и складывают.

Такая технология предложена фирмой «Бизон», материал получил название «Бизолен».

Одним из наиболее прогрессивных методов изготовления изделий из древесных частиц и полипропилена является способ экструзии.

Древесный наполнитель подсушивают до влажности не более 15%, фракционируют и подают в двухчервячный экструдер, где его нагревают до 80°C. Под вакуумом влага испаряется в зоне дегазации и влажность наполнителя становится ~6%. Затем подогретый древесный наполнитель смешивают с расплавом полипропилена (температура 200...220°C), подаваемого из двухчервячного экструдера. Полученный материал подвергают дегазации в специальном устройстве, после чего пропускают (экструдировать) через щелевую головку, откуда лента заданной толщины подается в трехвалковый каландр, затем на охлаждение. Охлаждение проводят на столе, где ножами осуществляют продольную резку ковра. Поперечную резку производят на гильотинных ножницах. Отходы, образующиеся при обрезке, измельчают и возвращают в экструдер наполнителя, чем обеспечивается безотходная технология. Готовый лист манипулятором с вакуумными присосками подают на подъемный стол и транспортируют на склад.

Такая технология используется фирмой «Полис» (Италия) при производстве материала, получившего фирменное название «Поливуд». Эта технология известна в Швеции, Японии, Польше и других странах.

### **3.7. Изготовление древесно-полимерных материалов в виде изделий из масс древесных прессовочных**

#### **3.7.1. Теоретические основы формирования изделий**

Массы древесные прессовочные являются композициями со сложной структурой. Изменяя свойства компонентов структуры, можно варьировать прочностные свойства изделий, получаемых из МДП. Важным свойством структуры древесно-клеевой массы является ее организованность, т. е. расположение элементарных частиц по отношению друг к другу. Процесс структурообразования влияет на конечные свойства композиции, особенно прочностные.

Изучение структурообразования в целом целесообразно начать с рассмотрения макроструктурообразования, оценивая его как результат взаимодействия древесных частиц друг с другом. Элементарные частицы композиции по своим размерам представляют довольно большую величину по сравнению с тонким слоем связующего, нанесенного на их поверхность. В древесно-клеевых композициях содержание связующих практически не превышает 25% сухого вещества



смолы по отношению к массе абсолютно сухой древесины. Поэтому характер образования макроструктуры древесно-клеевой массы действительно может быть рассмотрен как взаимодействие древесных частиц друг с другом. В насыпном состоянии древесная масса из измельченной древесины имеет характерную структуру. Но при наложении нагрузки (прессование) происходит ее преобразование.

Рассмотрим, прежде всего, структурообразование, другими словами, взаимное расположение частиц до начала деформации пресс-массы, т. е. при засыпке ее в форму. Самым важным здесь является определение наиболее вероятного положения каждой элементарной частицы в общей системе.

Допуская, что во всех вертикальных плоскостях древесно-клеевой массы структурные картины одинаковы, при решении вероятностной задачи можно рассмотреть только одну из плоскостей.

Форму каждой древесной частицы условно примем как прямоугольную, тогда геометрические размеры ее будут выражены длиной  $\ell$ , толщиной  $\delta$ , либо шириной и толщиной. Предположим, что частица однородна и, следовательно, центр тяжести ее будет находиться на пересечении диагоналей прямоугольника. При ориентировке частиц в процессе насыпки определяющими факторами будут геометрические размеры и положение центра тяжести элементарной древесной частицы.

При засыпке древесно-клеевой массы в загрузочную камеру пресс-формы древесная частица может занять на поверхности три положения, представленные на рис. 3.4.

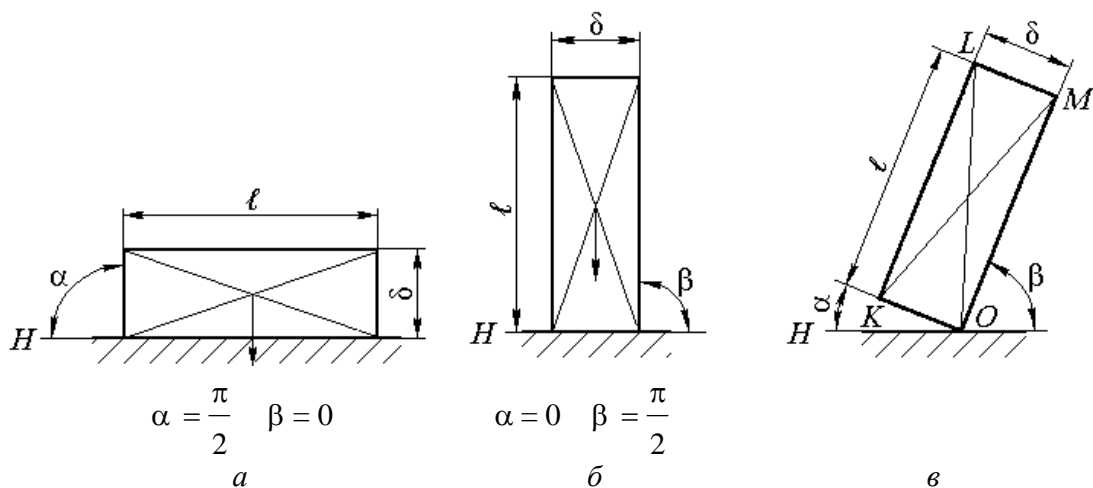


Рис. 3.4. Положение, занимаемое древесной частицей при засыпке древесно-клеевой композиции в загрузочную камеру пресс-формы: *a* – горизонтальное; *б* – вертикальное; *в* – наклонное

Маловероятно, что частица соприкасается с горизонтальной плоскостью  $H$  сразу же строго горизонтально или вертикально. Наиболее вероятно, что она будет расположена к плоскости под каким-то углом  $\beta$ . Поэтому для определения вероятности поворота частицы в горизонтальное или вертикальное положение рассмотрим ее положение при изменении углов  $\alpha$  и  $\beta$ . При повороте частиц вокруг точки  $O$  угол  $\beta$  изменяется от  $0$  до  $\pi/2$ , дополняя друг друга до  $\pi/2$ , поэтому условно можно рассматривать один угол  $\beta$ , прилегающий к большей стороне.

В момент падения частицы и касания ее с плоскостью  $H$  угол  $\beta$  с одинаковой вероятностью может принимать любые значения от  $0$  до  $\pi/2$ . Частица займет горизонтальное положение своей большей стороной, если угол  $\beta$  будет меньше величины угла, определяющего положение неустойчивого равновесия, т. е. когда линия действия силы тяжести совпадает с диагональю частицы, и вертикальное – когда величина угла  $\beta$  будет больше угла, определяющего положение неустойчивого равновесия.

Величину угла  $\beta$  можно найти из следующих условий:

$$\angle\beta + \angle LOM = \frac{\pi}{2} \quad \text{и} \quad \angle KOL + \angle LOM = \frac{\pi}{2}. \quad (3.4)$$

Отсюда  $\angle\beta = \angle KOL$ , следовательно,

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\ell}{\delta}, \quad (3.5)$$

откуда

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\ell}{\delta}. \quad (3.6)$$

В данном случае значение угла  $\beta$  будет определять положение неустойчивого равновесия частицы. Следовательно, от этой величины угла  $\beta$  и до  $0$  частица будет занимать своей длинной стороной горизонтальное положение. Вероятность такого положения можно установить отношением возможного числа всех значений угла, благоприятствующих повороту частицы в горизонтальное положение, к общему числу значений, которое может иметь данный угол  $\beta$ , и выразить зависимостью:

$$P_{\ell} = \frac{\operatorname{arctg} \frac{\ell}{\delta}}{\frac{\pi}{2}} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\ell}{\delta}, \quad (3.7)$$

где  $P_\ell$  – вероятность того, что частица будет располагаться на плоскости  $H$  стороной  $\ell$ .

Аналогично можно найти вероятность  $P_\delta$  того, что частица будет располагаться на горизонтальной поверхности  $H$  меньшей стороной:

$$P_\delta = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\ell}. \quad (3.8)$$

Вероятность  $P_\delta$  второго варианта можно определить из условия равенства единице вероятности всех событий – как благоприятных, так и неблагоприятных, т. е.

$$P_\delta = 1 - P_\ell = 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\ell}{\delta}. \quad (3.9)$$

Анализируя зависимость (3.7), можно видеть, что с увеличением длины частицы  $\ell$  вероятность укладки ее длинной стороной в горизонтальное положение возрастает. Если учесть, что реальные древесные частицы не имеют правильной прямоугольной формы, а к краям утончаются, т. е.  $\delta \rightarrow 0$ , то такая частица еще в большей мере будет стремиться занять горизонтальное положение, так как при этом величина  $\ell/\delta \rightarrow \infty$ ,  $P_\ell \rightarrow 1$ . Но как бы ни был мал размер  $\delta$ , он не становится равным нулю, поэтому и вероятность опоры частицы на меньшую сторону не может стать равной нулю.

Данное исследование образования насыпной структуры проведено без учета влияния взаимодействия частиц друг с другом в момент падения. Рассмотренное структурообразование имеет место при равномерной засыпке древесной массы с небольшим расходом ее на единицу площади в единицу времени. При засыпке все возрастающих порций массы взаимное влияние частиц увеличивается, поэтому степень ориентации частиц в положение, параллельное рабочей поверхности, будет уменьшаться; большее количество будет занимать произвольное положение, а значит, объем пустот в массе возрастает.

Из изложенного следует, что с увеличением расхода массы при засыпке ориентация частиц в горизонтальное положение уменьшается, высота насыпного слоя возрастает, а насыпная плотность становится меньшей. Все это позволяет говорить о необходимости учета зависимости насыпной плотности и высоты ковра от расхода массы при насыпке. Такие данные важны при разработке пресс-форм, емкостей для древесных частиц и т. п.

### 3.7.2. Свойства масс древесных прессовочных, характеризующие их способность заполнять пресс-форму

Основные свойства МДП можно разделить на три группы: структурно-механические, технологические и общие (рис. 3.5).

Структурно-механические свойства (дисперсность, структурообразование, текучесть и т. д.) отражают структурное состояние, деформативность и сопротивляемость композиций в процессе формования ее в изделие. Технологические свойства проявляются в процессе пьезотермической обработки пресс-массы (теплопроводность, температура и время отверждения связующего; прилипаемость к форме и др.). Общие свойства (влажность, вид и количество связующего, порода древесины и др.) характеризуют подготовленную к прессованию древесно-клеевую композицию.

Способность пресс-материала равномерно заполнять формирующую полость определяется его *сыпучестью*. Массы древесные прессовочные можно отнести к сыпучим телам, обладающим некоторой способностью к адгезионному взаимодействию отдельных частиц. В свободнонасыпном состоянии сыпучие тела принимают форму конуса.

Свойства сыпучести характеризуются углом внутреннего трения, т. е. углом естественного откоса между образующей конуса и горизонтальной плоскостью. Специфические свойства пресс-материала на основе измельченной древесины (низкая насыпная способность, переплетение древесных частиц, их шероховатость, присутствие связующего и др.) отличают его от чистосыпучих тел. Поэтому в свободнонасыпном состоянии такой пресс-материал не образует правильного геометрического тела, что затрудняет проведение измерений.

С технологической точки зрения для таких материалов интерес представляет показатель укладываемости, характеризующий способность пресс-материала свободно, без воздействия внешней нагрузки распределяться (укладываться) в пресс-форме. Показатель *укладываемости* – это величина отношения площади основания конуса, образованного пресс-композицией в свободнонасыпном состоянии, к его высоте, выраженная в метрах. Зависимость показателей насыпной плотности и укладываемости от вида измельченной древесины в композиции представлена в табл. 3.3.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что укладываемость пресс-материала тем выше, чем мельче фракция, чем короче и уже древесные частицы.



Рис. 3.5. Основные свойства масс древесных прессовочных

Наилучшую укладываемость имеет пресс-материал, изготовленный на основе опилок и мелкой стружки-отходов; наихудшую – пресс-материал на основе специально нарезанной стружки. Укладываемость пресс-материала тем лучше, чем выше его насыпная плотность.

Таблица 3.3

**Зависимость показателей насыпной плотности и укладываемости пресс-материала от вида измельченной древесины**

Вид измельченной древесины пресс-материала	Насыпная плотность пресс-материала, кг/м <sup>3</sup>	Укладываемость пресс-материала, м
Специально изготовленная плоская стружка фракции 7/2	90	0,475
Специально изготовленная игольчатая стружка фракции 7/2	100	0,515
Стружка-отходы фракций: – 7/2	100	0,535
– 5/2	110	0,615
Стружка-отходы фракции свыше 7 после дополнительного измельчения в молотковой дробилке	130	0,700
Опилки фракции 1/0	140	0,785

Зависимость укладываемости от влажности пресс-материала представлена на рис. 3.6.

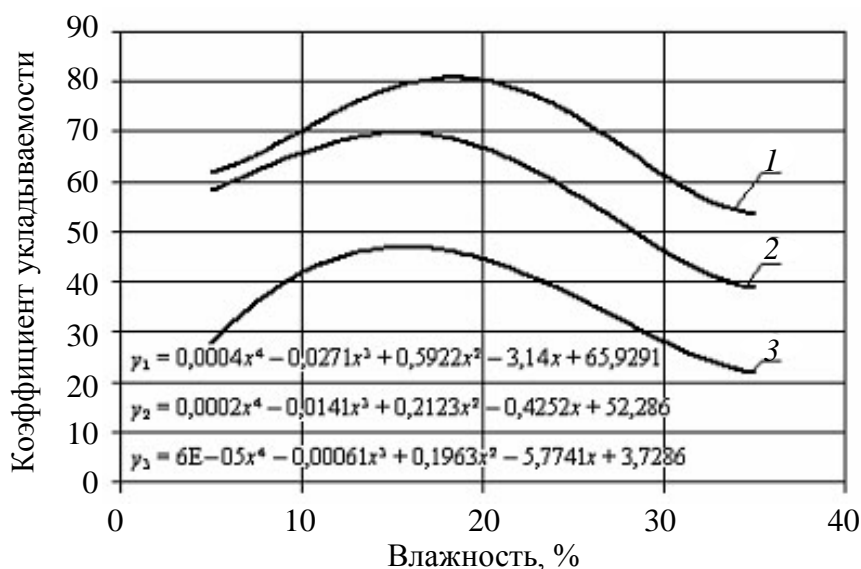


Рис. 3.6. Влияние влажности пресс-материала на его укладываемость:

- 1 – фракция опилок 1/0; 2 – стружка-отходы фракции 7;  
3 – специально изготовленная стружка фракции 7/2

Из рис. 3.6 видно, что независимо от вида древесного наполнителя увеличение его влажности от 5 до 20% повышает коэффициент укладываемости. Дальнейшее увеличение влажности до 30% приводит к резкому уменьшению коэффициента укладываемости.

При загрузке пресс-материала в форму угол сброса его должен быть не менее 60°. Если он меньше, то материал застревает на сбрасывающей плоскости и заполняет пресс-форму лишь под действием давления. Пресс-материал, обладающий плохой укладываемостью, неравномерно заполняет пресс-форму, особенно углубления, зависает, образует своды.

### **3.7.3. Физические явления, протекающие в пресс-форме при получении изделий**

В древесине под действием внешней нагрузки наряду с упругими деформациями возникают остаточные, развивающиеся во времени. Следовательно, такое тело можно рассматривать как упруго-вязкое, т. е. проявляющее одновременно и свойства текучести, и свойства упругости.

Особенность процесса изменения формы упруго-вязкого тела заключается в том, что одна и та же внешняя нагрузка вызывает в нем необратимое вязкое течение и обратимую упругую деформацию. В зависимости от длительности действия внешней нагрузки в процессе деформации упруго-вязких тел преобладает либо их свойство текучести, либо свойство упругости.

Сложность явлений, происходящих под нагрузкой в пресс-материалах, полученных на основе измельченной древесины, вызывает необходимость идеализировать строение пресс-материала, представляя его в виде древесной основы с упругими и пластическими свойствами и жидкого связующего во время перехода в вязкотекучее состояние. При этом в состав вязкого компонента, кроме связующего, должны быть включены различные добавки и смазки, вводимые в пресс-композицию, а также свободная влага, входящая в состав древесных частиц. Измельченная древесина и связующее связаны между собой силами адгезии и представляют комплекс, сопротивляющийся действию внешних нагрузок. Внешняя нагрузка, передающаяся на пресс-материал, воспринимается в момент ее приложения как измельченной древесиной, так и связующим. Такая система является статически неопределенной, а ее компоненты воспринимают внешнюю нагрузку сообразно своей сопротивляемости.

Под действием приложенной к пресс-материалу нагрузки древесные частицы стремятся расположиться по траекториям главных нормальных напряжений, деформируясь при этом как в направлении действия внешних сил вдоль оси частиц, так и в поперечном направлении к оси этих частиц. Поперечная деформация частиц сопровождается изменением их конфигурации. В результате внутреннего трения вследствие наличия вязкой среды, возникающего при поперечном смещении частиц, уменьшаются упругие деформации, развивающиеся в направлении действия внешней нагрузки.

Процесс прессования пресс-материала в замкнутой пресс-форме можно разделить на четыре периода (рис. 3.7).

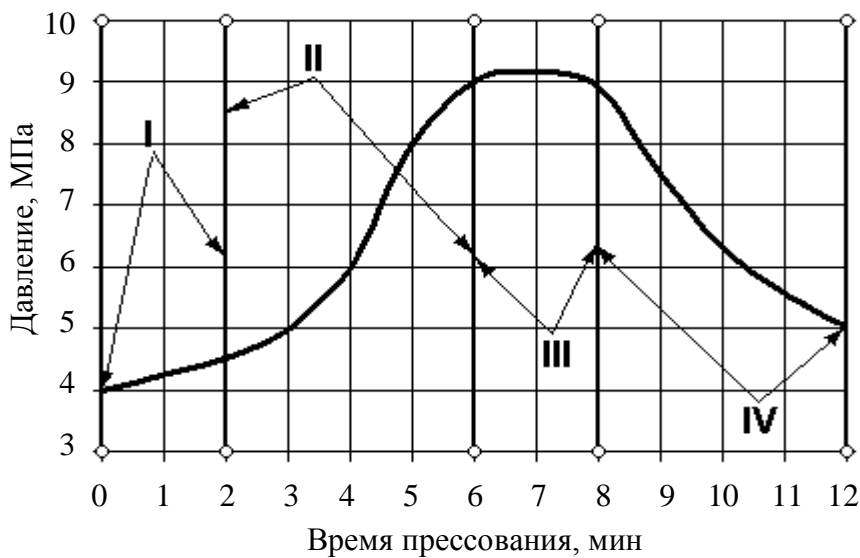


Рис. 3.7. Зависимость давления прессования от времени нахождения пресс-материала в пресс-форме

В первом периоде уплотнение происходит в основном за счет взаимного перемещения частиц для заполнения близлежащих пустот между ними. При этом частицы верхних слоев пресс-материала, находящихся в непосредственной близости к пуансону, уплотняясь, передают нагрузку слоям, лежащим под ними. Эти слои, в свою очередь, также уплотняются и передают нагрузку слоям, расположенным еще ниже.

Во втором периоде по мере увеличения плотности изделия и повышения нагрузки частицы сближаются, что сопровождается вытеснением воздуха и разрушением сводов, которые образуются в результате хаотического расположения древесных частиц при заполнении объема пресс-формы.



В третьем периоде нагрузка достигает максимального значения, происходит смыкание пресс-формы и фиксация требуемой конфигурации изделия. Процесс приложения нагрузки оказывает существенное влияние на размерную точность получаемых изделий. При медленном приложении нагрузки частицы перемещаются значительно легче, чем при быстром, когда в структуре развиваются большие сопротивления трению, препятствующие перемещению частиц. Величина сближения частиц понижается в направлении действия давления. Неравномерность прессованного изделия по толщине тем больше, чем меньше продолжительность уплотнения пресс-материала.

В четвертом периоде после смыкания пресс-формы и фиксации толщины изделия на формообразующие элементы пресс-формы начинают действовать упругие силы пресс-материала, которые постоянно уменьшаются. Релаксация напряжений является результатом внутренних структурных превращений, связанных с физическими и химическими процессами, протекающими в материале во времени под влиянием переменных гидротермических условий среды. При прогреве пресс-материала в замкнутой пресс-форме изменения температуры в его наружных и внутренних зонах имеют различный характер. Температура наружной зоны возрастает очень быстро. Далее температура непрерывно повышается, но уже медленнее, пока не достигнет температуры формообразующих деталей пресс-формы.

Изменение температуры по зонам изделия происходит в течение нескольких периодов. В первый, сравнительно короткий период температура повышается до точки кипения воды. Затем следует период стабилизации, когда все подведенное тепло идет на испарение влаги из внутренней зоны. Промежуточная зона получает тепло быстрее, чем внутренняя, поэтому второй период в промежуточной зоне начинается и заканчивается раньше, чем во внутренней. В третьем периоде температура промежуточной и внутренней зон медленно увеличивается.

Интенсивный нагрев контактного с пресс-формой слоя наружной зоны прессуемого изделия приводит к возникновению мощного внутреннего градиента давления пара, способствующего движению фильтрационного потока внутрь изделия. При дальнейшем подсушивании поверхности изделия происходит релаксация давления пара в контактном слое и выравнивание поля давления по всему сечению.

Достигнув внутренней зоны, фильтрационный поток нагревает ее до температуры кипения воды под некоторым избыточным давлением.

Одновременно повышается внутреннее избыточное давление по всему сечению изделия. По мере выкипания свободной влаги избыточное давление, пройдя максимум, уменьшается по всему сечению; температура в центральной зоне прессуемого изделия в период интенсивного кипения стабилизируется.

Изменение температуры по поперечному сечению изделия вызывает изменение его влажности. Находящаяся в наружной зоне свободная влага быстро превращается в пар. Влажность наружной зоны становится незначительной, и парообразование происходит медленно. В это время в пар начинает превращаться и связанная влага.

Из наружной зоны пар, проходя через поперечное сечение изделия, захватывает с собой часть влаги в виде воды. Встречаясь с более холодными слоями внутренней зоны, пар отдает им свое тепло и конденсируется с большой скоростью. Максимальная влажность в зоне, непосредственно следующей за наружной, наступает тогда, когда в соответствующей наружной зоне совершается первый быстрый этап парообразования. По достижении максимальной величины влажность этой зоны уменьшается, достигая влажности наружной зоны, и т. д. Рост влажности во внутренней зоне прессуемого изделия проявляется в виде конденсации пара, а нагрев происходит в основном за счет отдачи конденсируемым паром своего тепла. Влажность так же, как и теплопроводность пресс-материала, зависит от геометрии измельченной древесины, породы древесины, плотности изготавливаемого изделия.

Гидротермические процессы также влияют на процесс формирования неравномерной плотности изделия. В соответствии с характером изменения в прессуемом изделии температуры и влажности изменяется и пластичность пресс-композиции. Поэтому наружная зона, более прогретая, чем внутренняя, постепенно теряет упругие свойства. В это время внутренняя зона, прогретая еще недостаточно, сохраняет упругость, продолжая оказывать сопротивление сжатию, и давит на наружную зону. В результате внутренняя зона упрессовывается в меньшей степени.

### **3.8. Прессование масс древесных прессовочных в пресс-формах одностороннего и двустороннего действия**

При изготовлении изделий из МДП применяются различного типа пресс-формы (рис. 3.8), в которых процесс прессования осуществляется приложением давления на материал с одной или с двух сторон.

Под односторонним прессованием понимается такой способ уплотнения сыпучего материала, когда относительно матрицы 2 перемещается только пуансон 1 (рис. 3.8, *а*). Этот пуансон называют прессующим, а второй – неподвижным пуансоном 3.

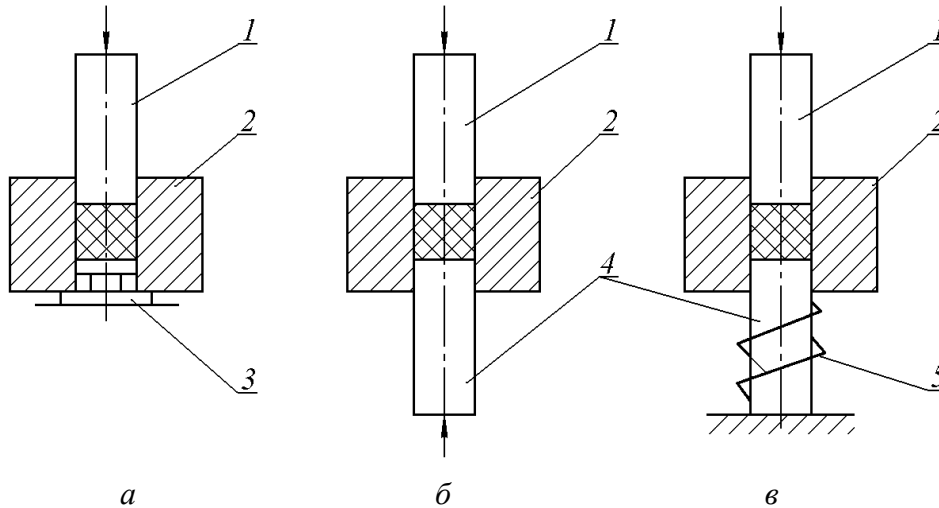


Рис. 3.8. Типы пресс-форм:

*а* – для одностороннего прессования; *б* – для двустороннего прессования;

*в* – для двустороннего прессования с «плавающей» матрицей:

1, 4 – подвижные пуансоны;

2 – матрица; 3 – неподвижный пуансон;

5 – упругая опора

При двустороннем прессовании пуансоны 1 и 4 являются прессующими и частицы прессуемого материала перемещаются навстречу друг другу. Вариантом конструктивной реализации двустороннего прессования является использование «плавающей» матрицы. Матрица устанавливается на упругой опоре 5, подвижным является лишь один из пуансонов. Возникающие при прессовании силы трения действуют не только на изделие, но и на матрицу, смещая ее в сторону движения прессующего пуансона. Это создает эффект двустороннего прессования.

При прессовании композиционных материалов на основе измельченной древесины наибольшую трудность представляет формирование равноплотной структуры изделия в формирующей полости пресс-формы. Здесь могут применяться два вышеуказанных способа процесса прессования. Процесс уплотнения композиции в пресс-форме одностороннего действия графически изображен на рис. 3.9.

Пресс-композиция, загруженная в пресс-форму 1, уплотняется пуансоном 2 под действием силы  $P$ . Первоначальная высота пресс-композиции  $H$  уменьшается до высоты прессуемого изделия  $h_2$

с заданной плотностью. Перемещение пуансона на расстоянии  $h_1$  происходит под действием силы  $P$ , которая изменяется от 0 до  $P_{\max} = Fp_{\max}$  (где  $F$  – площадь поперечного сечения пор;  $p_{\max}$  – удельное давление в конце прессования). При этом удельное давление также меняется от 0 до  $p_{\max}$  по кривой  $AC$ . Площадь, ограниченная кривой  $AC$  и линиями  $AB$  и  $BC$ , пропорциональна работе, затраченной на уплотнение пресс-материала при перемещении пуансона на расстояние  $h_1$ .

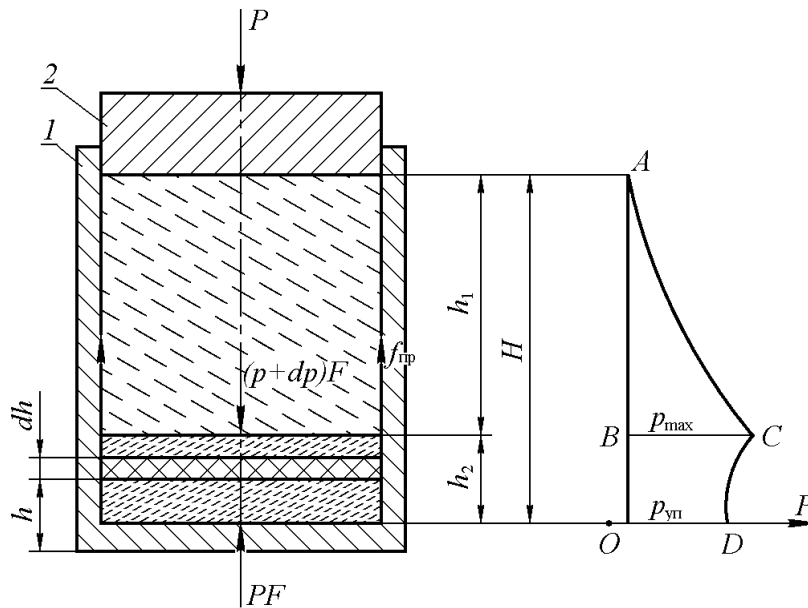


Рис. 3.9. Процесс уплотнения композиции в пресс-форме одностороннего действия:  
1 – пресс-форма; 2 – пуансон

Давление прессования в изделии на разной высоте от дна формирующей полости меняется по кривой  $CD$  от  $p_{\max}$  до  $p_{\text{уп}}$ . Уменьшение давления по высоте изделия обусловлено трением пресс-материала о стенки пресс-формы. Характер кривой  $CD$  позволяет судить о механизме образования структуры изделия, для чего найдем уравнение кривой.

Рассмотрим равновесие слоя прессуемого материала толщиной  $dh$ , находящегося на расстоянии  $h$  от неподвижного пуансона (дна матрицы). На верхнюю поверхность слоя действует усилие  $(p + dp)F$ , на нижнюю –  $pF$ , на боковую поверхность – сила трения  $f\eta p\ell dh$ , где  $f$  – коэффициент бокового трения;  $\eta$  – коэффициент бокового распора;  $\ell$  – периметр матрицы.

Условие равновесия слоя запишем в следующем виде:

$$pF + f\eta p\ell dh - (p + dp)F = 0. \quad (3.10)$$

После преобразования, интегрирования и определения постоянных найдем следующее текущее значение  $p$  (уравнение кривой  $CD$ ):

$$p = p_{\text{уп}} e^{\frac{f\eta\ell}{F}h} \quad (3.11)$$

Полагая  $h = h_2$ , получим значение давления в плоскости пуансона на высоте  $h_2$ .

По значению  $p_{\text{max}}$  определим значение давления в плоскости упора:

$$p_{\text{уп}} = p_{\text{max}} e^{-\frac{f\eta\ell}{F}h_2} \quad (3.12)$$

Отношение  $p_{\text{уп}}/p_{\text{max}}$  является показателем однородности изделия, или коэффициентом однородности:

$$K = \frac{p_{\text{уп}}}{p_{\text{max}}} = e^{-\frac{\ell}{F}f\eta h_2} \quad (3.13)$$

Анализ формулы (3.13) показывает, что с уменьшением  $f$  и  $h$  при прочих равных условиях равномерность формирования структуры изделия повышается. При постоянных значениях  $f$ ,  $\eta$  и  $h_2$  равномерность структуры изделия зависит от отношения периметра формирующего гнезда  $\ell$  к площади прессования  $F$ . С уменьшением этого отношения равномерность формирования повышается. Наиболее выгодным сечением в части минимальной величины  $\ell/f$  является круглое сечение и наименее выгодным – прямоугольное.

В конечный момент прессования сила  $P_{\text{max}}$ , действующая на изделие, равна

$$P_{\text{max}} = Fp_{\text{max}} \quad (3.14)$$

В этот момент сила  $P_{\text{уп}}$ , действующая на основание пресс-формы, составляет:

$$P_{\text{уп}} = Fp_{\text{уп}} \quad (3.15)$$

Отсюда сила трения  $P_{\text{тр}}$ , действующая между боковой поверхностью изделия и поверхностью пресс-формы по высоте изделия, равна

$$P_{\text{тр}} = F(p_{\text{max}} - p_{\text{уп}}) \quad (3.16)$$

При двустороннем прессовании, когда силы  $P$  увеличиваются до  $P_{\text{max}}$ , первоначальная высота материала уменьшается до  $h_2$ ; при этом каждый пуансон переместится на  $h_1/2 = H - h_2$ . Силы трения равны и направлены навстречу друг другу (рис. 3.10).

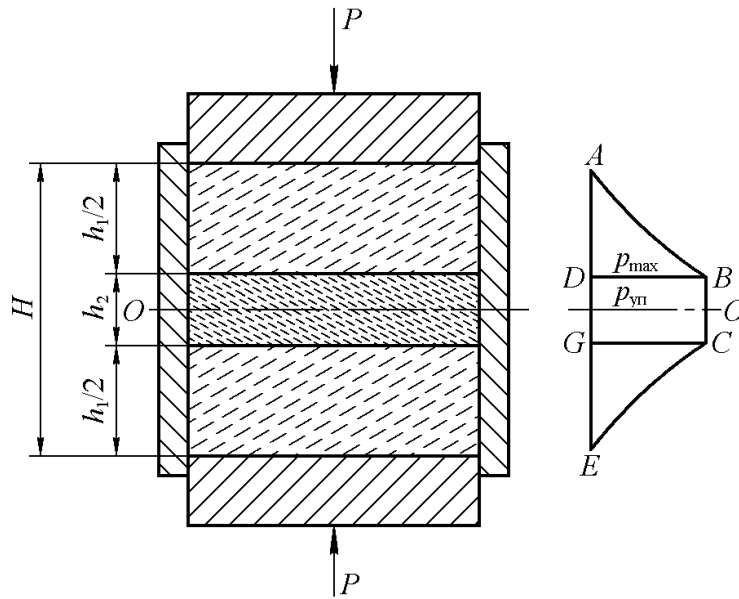


Рис. 3.10. Процесс уплотнения композиции в пресс-форме двустороннего действия

Предположим, что значения величин  $\ell$ ,  $F$ ,  $h_2$ ,  $f$ ,  $\eta$  равны в обоих случаях. При двустороннем прессовании плоскость упора проходит через середину изделия по оси  $OO$ . При этом давление  $p'_{\text{уп}}$ , действующее в плоскости упора, больше, чем при одностороннем прессовании.

Следовательно, уравнение для двустороннего прессования примет вид

$$P_{\text{тр}} = F(p_{\text{max}} - p_{\text{уп}}). \quad (3.17)$$

Поскольку  $p'_{\text{уп}} > p_{\text{уп}}$ , то  $p'_{\text{тр}} < p_{\text{тр}}$ . При одностороннем прессовании  $p_{\text{уп}}$  связано с  $p_{\text{max}}$  уравнением (3.12). При двустороннем прессовании это уравнение имеет вид

$$p_{\text{уп}} = p_{\text{max}} e^{-\frac{f\eta\ell}{2F}h_2}. \quad (3.18)$$

Уравнение указывает на возможность уменьшения давления при двустороннем прессовании для уплотнения пресс-материала до одной и той же плотности. Коэффициент однородности при двустороннем прессовании  $K'$  может быть определен как отношение

$$K' = \frac{p'_{\text{уп}}}{p_{\text{max}}} = e^{-\frac{\ell}{2F}f\eta h_2}. \quad (3.19)$$

Сравнение значений коэффициентов однородности при двустороннем и одностороннем прессовании показывает, что  $K > K'$ .

### 3.9. Усилия прессования, упругого восстановления и бокового давления при прессовании изделий

Для формирования определенной структуры изделия в пресс-форме усилие прессования может быть направлено на его пластъ или кромку. От выбора направления зависят прочностные характеристики изделия. При прессовании в направлении, перпендикулярном пласти, частицы измельченной древесины в основном располагаются параллельно ей, что позволяет получать изделия высокопрочные при испытаниях на статический изгиб, но при этом увеличивается показатель разбухания по толщине.

Для получения изделия заданной плотности к пресс-материалу необходимо приложить соответствующее давление. Причем максимальное усилие прессования, необходимое для уплотнения пресс-материала до плотности готового изделия, в пресс-формах двустороннего прессования на 40% меньше, чем в пресс-формах одностороннего действия.

При прессовании внешняя нагрузка, передаваемая через пуансон, уравнивается равной и противоположной силой упругости материала. После снятия внешней нагрузки уплотненный пресс-материал стремится к всестороннему расширению, что особенно характерно для изучаемых нами материалов. Поперечному расширению пресс-композиции препятствуют боковые стенки пресс-формы, и упругое восстановление наиболее выражено в направлении, обратном направлению усилия прессования. Величина упругого восстановления пресс-материала зависит от усилия прессования, продолжительности его нахождения под давлением, содержания связующего, высоты прессуемого изделия, площади прессования, породы и вида измельченной древесины.

Величина упругого восстановления при одностороннем и двустороннем прессовании изделий различной плотности представлена в табл. 3.4.

Таблица 3.4

#### Величина упругого восстановления пресс-материала различной плотности

Плотность пресс-материала, уплотненного до конечных размеров изделия, кг/м <sup>3</sup>	Величина упругого восстановления, МПа, при прессовании	
	одностороннем	двустороннем
600	1,000	0,595
800	1,625	0,935
1000	2,025	1,185
1200	2,375	1,410

Из табл. 3.4 следует, что с увеличением плотности изделия упругое восстановление возрастает независимо от способа прессования. Вместе с тем при двустороннем прессовании величина усилия при прочих равных условиях меньше, чем в случае одностороннего прессования. Упругое восстановление пресс-материала может быть уменьшено за счет многократного приложения нагрузок, так как при этом пресс-материал теряет свои упругие свойства.

При уплотнении пресс-материала возникает боковое давление в направлении, перпендикулярном действию приложенной нагрузки. Отношение бокового давления к давлению прессования называется коэффициентом бокового давления. Зависимость бокового давления от давления прессования для изделий с различной формой сечения имеет линейный характер. Тангенс угла наклона этих прямых к горизонтальной оси равен коэффициенту бокового давления. Из этого следует, что чем выше величина давления прессования, тем большая его часть передается на боковые стенки пресс-формы.

При прессовании изделий в пресс-формах часть давления теряется на внешнее трение, т. е. на трение пресс-материала о боковые стенки пресс-формы, которое выражается коэффициентом трения  $K_{тр}$ . Зависимость коэффициента бокового давления, внешнего трения и их произведения от давления прессования представлена на рис. 3.11. Анализ показывает, что  $K_{тр}$  оказывается практически постоянным при увеличении давления, даже когда  $\eta$  растет, так как  $f$  уменьшается. Следовательно,  $\eta f$  будет постоянным (практически) по всей высоте  $h$  прессуемого изделия.

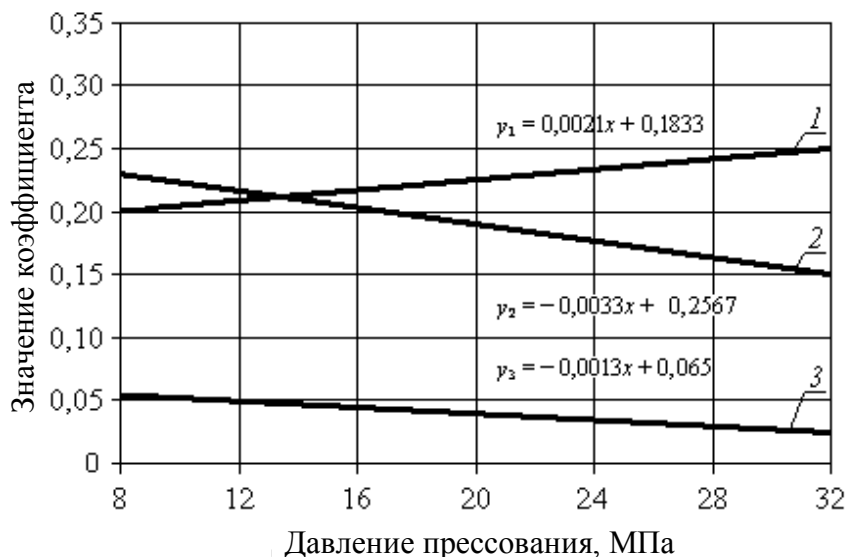


Рис. 3.11. Зависимость коэффициентов бокового давления (1),



внешнего трения (2) и обобщенного (3) от давления прессования

### **3.10. Способы производства формованных изделий**

#### **3.10.1. Классификация способов формования изделий**

В настоящее время основным направлением производства материалов, изделий и деталей из измельченной древесины является формование со связующим. В качестве связующего используются синтетические смолы с включением их в композицию в количестве до 25% от массы древесных частиц.

В зависимости от заданной структуры изделия, характера и организации процесса способы формования классифицируют следующим образом (рис. 3.12).

В соответствии с направлением прилагаемого усилия прессования относительно основных размеров изделия различают пластевое, кромочное и комбинированное формование. Пластевое – когда усилие прессования направлено перпендикулярно пласти изделия, кромочное формование – когда параллельно. При этом в изделии получают различное расположение частиц древесины, а следовательно, и различную структуру пресс-материала и, как результат, – разные физико-механические свойства.

В зависимости от рабочего пространства, в котором проходит сжатие композиции, выделяют формование между плитами пресса, экструзией и в пресс-формах. В первом случае получают листовой материал с рыхлыми кромками, во втором – листовой материал и погонажные изделия, в третьем – детали и изделия. Для формования применяются различные типы пресс-форм, которые рассматриваются ниже.

Исходя из характера процесса формования различают периодический, непрерывный и пульсирующий способы.

При периодическом способе формование проводят в прессах периодического действия и получают плоские плиты и изделия.

Непрерывным способом изготавливают листовой материал, а также рифленые погонажные изделия в неподвижном канале при помощи рабочего органа в виде полосы.

В нагретом канале-матрице производят прессование пульсирующим способом, при этом прессующее усилие является не постоян-

ным, а периодически изменяется. Этим способом получают штучные изделия.



Рис. 3.12. Способы формования измельченной древесины

По организации процессов прессования выделяют однопозиционный, двухпозиционный и многопозиционный способы. Однопозиционным способом изготавливают цельнопрессованные изделия в пресс-формах, которые устанавливаются на пресс, где и протекают все необходимые технологические операции. Двухпозиционный способ включает холодную подпрессовку МДП и последующее прессование в горячей пресс-форме для окончательного формования. Многопозиционный способ характерен тем, что в прессе происходит только процесс формования, остальные операции производятся вне прессы.

**Малопозиционные способы производства формованных изделий.** Малопозиционными (одно- и двухпозиционными) способами изготавливают различные детали для мебельной, строительной, машиностроительной и электротехнической промышленности.

Однопозиционным способом в стационарных пресс-формах на Броварском заводе холодильников выпускают сидения табуретов из станочной стружки, смешанной с карбамидоформальдегидной смолой. Режим прессования следующий: давление в пресс-форме – 19,0 МПа и температура – 393...479 К.

На Костромском фанерном комбинате организовано производство сидений унитазов, стульев и табуретов по двухпозиционному способу. Формование осуществляется в два этапа: холодное прессование заготовок и последующее прессование брикета, загруженного в пресс-форму в горячем прессе под давлением 10 МПа и при температуре 413...423 К.

Производительность прессового оборудования благодаря использованию многоэтажных прессов и применению двухпозиционного способа возрастает в несколько раз по сравнению с производительностью прессов, работающих по однопозиционному способу в стационарных пресс-формах. Однако использование двухпозиционного способа требует значительного количества пресс-форм, транспортных средств, дополнительной оснастки и производственных площадей.

У нас в республике по однопозиционному способу на Витебском и Минском станкостроительных заводах освоен выпуск более 200 наименований изделий для машиностроения, которые отвечают всем необходимым требованиям.

Из зарубежных работ следует отметить технологию «Верцалит», разработанную фирмой «Верц» (Германия). В этом способе применяют стружку размером  $(0,01...0,012) \times (0,001...0,002) \times 0,0002$  м и связующее в количестве от 8 до 25%. Формование состоит из трех основных операций.

1. Пресс-композиции запрессовывают в холодном состоянии под давлением до 10 МПа в течение 20...30 с.

2. Полученные заготовки вкладывают в матрицы пресс-форм и формируют при температуре 140...160°C и давлении, пониженном на 20...25%. Продолжительность выдержки зависит от толщины изделия и составляет в среднем 30 с на 1 мм толщины. Изделия выгружают без охлаждения из пресс-форм.

3. Пресс-формы тщательно очищают и вкладывают в матрицу облицовочную бумагу, пропитанную смолой, а на нее – вынутое из того же гнезда изделие. Происходит напрессовка облицовочной пленки. Готовые изделия извлекают из пресс-форм и обрабатывают от заусениц. Установка включает два пресса (холодный и горячий), последний имеет 8 пресс-форм.

**Многопозиционный способ производства формованных изделий.** Одно- и двухпозиционные способы формования изделий являются малопроизводительными, так как все операции, включая нагрев, технологическую выдержку и в некоторых случаях – охлаждение изделий, выполняются в прессе. При выдержке 60 с на 1 мм толщины изделия при его толщине 0,02 м за рабочую смену можно изготовить только 35...40 штук.

В Украинском научно-исследовательском институте механической обработки древесины (УкрНИИМОД) разработан многопозиционный способ производства формованных изделий, по которому в прессе осуществляется только формование изделий, а все остальные операции (загрузка пресс-формы массой, нагрев ее и отверждение связующего, извлечение готового изделия и др.) выполняются на конвейерной линии вне пресса.

Сжатая в пресс-форме масса обладает упругими свойствами и стремится к релаксации до тех пор, пока не произойдет отверждение связующего. Следовательно, при снятии нагрузки до нагрева сжатая пресс-масса потеряет свою первоначальную форму. Поэтому пресс-форма оборудована специальными самозапирающимися пружинными замками для предотвращения релаксации массы после удаления из пресса. Пресс-форма с запрессованной пресс-композицией выгружается из пресса и поступает в печь инфракрасного облучения. После тепловой обработки производится охлаждение ее и извлечение изделия.

Производительность пресса при этом способе значительно возрастает. В зависимости от формы изделия и конструкции пресс-формы продолжительность формования составляет 30...60 с. С таким же ритмом должен работать и конвейер при изготовлении формованных изделий.

Общий цикл производства изделия будет длительным, следовательно, на конвейере необходимо иметь около 100 пресс-форм. Поэтому, кроме основного пресса, для формования изделий должен быть использован вспомогательный, выполняющий операции распрессовки.

Недостатком многопозиционного способа являются громоздкость нестандартного оборудования (транспортеры, рольганги, пневмоподъемники, толкатели, нагревательные печи, охлаждающие камеры), применение большого количества металлоемких пресс-форм и наличие больших производственных площадей.

**Способ пульсирующего формования изделий.** Для создания компактного высокопроизводительного оборудования и автоматизации всего процесса при минимальных материальных и технических затратах целесообразно совместить выполнение технологических операций во времени и выполнять их в одном агрегате. Это достижимо при пульсирующем способе формования изделий.

Сущность этого способа состоит в том, что вместо формования в обычных пресс-формах МДП прессуют в канале между полуформами, наружные контуры которых соответствуют внутренней контуру канала, а обращенные к пресс-массе поверхности имеют профиль, обратный профилю изделия. Канал по всей длине заполняется полуформами и расположенными между ними порциями пресс-массы, причем загрузка производится с одного конца, а выгрузка готовых изделий и полуформ – с другого конца канала. Сжатие и передвижение в канале пакетов осуществляются одним и тем же пуансоном, работающим в заданном ритме. Принципиальная схема устройства для пульсирующего способа формования показана на рис. 3.13.

В канал, образованный направляющими 1 и 2, закладывается нижняя полуформа 3, загружается определенная порция пресс-массы 4, далее закладывается верхняя полуформа 5 и при помощи пуансона 7 производится прессование. В дальнейшем две полу-формы и сжатую между ними пресс-массу будем называть комплектом 8. Когда пуансоном создается давление, опорой служит опорная плита 6. При загрузке первых порций пресс-массы комплекты опираются на плиту через опорные болванки, которые по мере заполнения канала опускаются.

От опорной плиты до крайнего положения пуансона устанавливается и выдерживается определенный размер  $H$ , равный произведению номинального размера  $h$  комплекта на количество этих комплектов в направляющих. При постоянном размере  $H$  и одинаковом количестве загружаемой пресс-массы обеспечиваются постоянная плотность и толщина изделия.

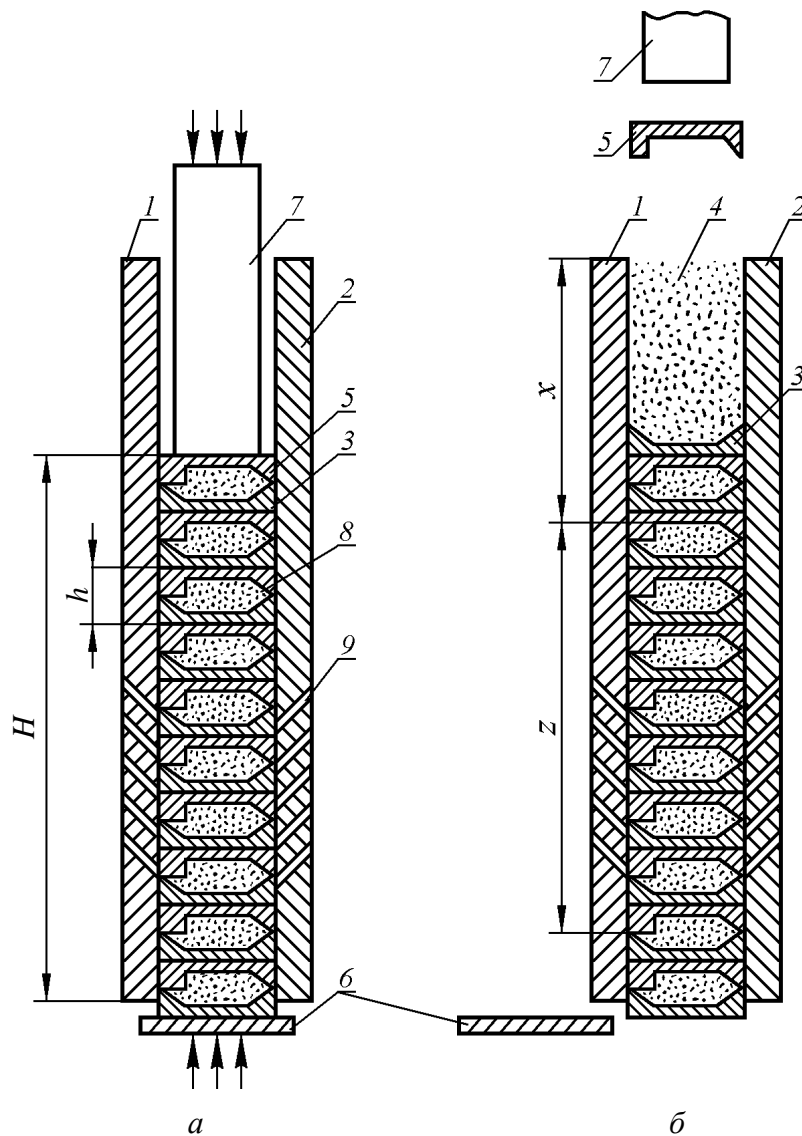


Рис. 3.13. Принципиальная схема устройства для прессования изделия пульсирующим методом:

*a* – прессование; *б* – загрузка массы и полуформ:

- 1, 2 – направляющие; 3 – нижняя полуформа;  
 4 – исходная пресс-масса; 5 – верхняя полуформа; 6 – опорная плита;  
 7 – пуансон; 8 – комплект; 9 – отверстия

Когда пуансон спрессовал очередной комплект до размера  $h$ , положение верхней полуформы 5 фиксируется специальными защелками, а пуансон возвращается в верхнее положение. В это время закладывается нижняя полуформа 3, загружается порция пресс-массы 4 и накладывается верхняя полуформа.

Удаление из канала готового изделия с полуформами происходит следующим образом. Опорная плита 6 отодвигается, а пуансон начинает

давить на только что заложенный очередной комплект. В это время все комплекты в канале удерживаются трением между комплектом и стенками канала. Пуансон, оказывая давление на верхний комплект, продвигает все комплекты вниз. Когда нижний комплект вышел из направляющих, он убирается и опорная плита становится на место.

Вверху на участке, где пресс-масса еще не спрессована, чтобы предотвратить преждевременное отверждение связующего, создается холодная зона  $x$  при помощи водяной рубашки. Ниже, где пресс-композиция уже спрессована до номинального размера, создается горячая зона  $z$ . Обогрев – омический или электроиндукционный. Для выхода наружу газов, образующихся при нагреве пресс-массы и отверждении связующей смолы, в стенках канала горячей воды имеются отверстия  $\varnothing$  диаметром 1,5...2,0 мм.

Таким образом, пульсирующий способ формования изделий – это совокупность процессов загрузки пресс-массы, сжатия, нагрева и выдержки под давлением при определенной температуре, передвижения комплектов по каналу и выгрузки готовых изделий. Эти процессы происходят одновременно, благодаря чему достигается высокая производительность установки, так как наиболее длительный процесс – нагрев пресс-массы и выдержка ее под давлением совмещаются во времени с остальными.

Выполнение всех технологических операций в одном агрегате экономит производственную площадь, сокращает транспортные средства, создает возможность автоматизации процесса.

Себестоимость изделий, изготовленных по этому способу, ниже, чем полученных другими способами.

**Экструзионный способ изготовления погонажных изделий.** При этом способе формование производится в канале при помощи пуансона, который проталкивает изделие и выгружает его. Усилие прессования направлено вдоль продольной оси изделия. Устройство для экструзионного формования погонажных изделий (поручней, наличников, багетных планок и др.) представлено на рис. 3.14 и состоит из загрузочного бункера 2, пуансона 1 с приводом возвратно-поступательного движения и канала 3, который обеспечивает размеры изделия 4 по сечению. Стенки канала в зоне формования и отверждения связующего имеют отверстия диаметром 1...2 мм для выхода воздуха и газов.

Прочность на изгиб изделий, полученных подобным образом, мала, так как частички древесины располагаются перпендикулярно длине изделия. С увеличением плотности повышается прочность изделия, однако рост плотности вызывает увеличение сил трения о стенки канала



вследствие повышения напряжений упругой деформации. Кроме того, для изделий с большой плотностью необходимо увеличить длину канала, уменьшить скорость проталкивания, т. е. снизить производительность. При этом сильно возрастают удельное давление формования и энергозатраты. Поэтому более целесообразно повысить прочность погонажных изделий за счет ориентирования древесных частиц и использования естественной прочности древесных волокон.

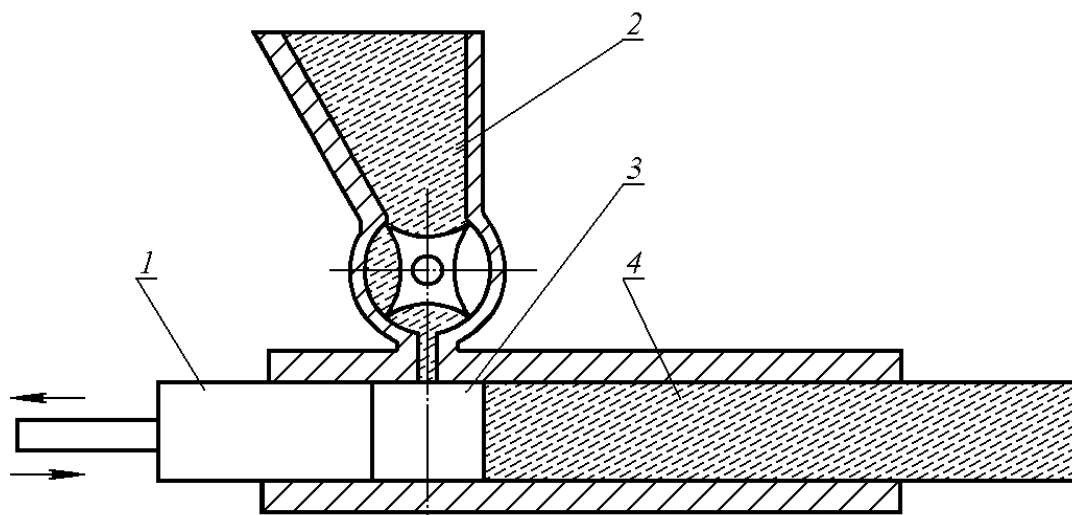


Рис. 3.14. Устройство для экструзионного формования погонажных изделий:  
1 – пуансон; 2 – загрузочный бункер; 3 – канал; 4 – изделие

Прочность на изгиб изделий, полученных экструзионным способом, будет определяться прочностью наружных слоев материала на растяжение, которая будет зависеть от ориентации частиц древесины и плотности упрессовки в наружных слоях.

В связи с тем, что при изгибе материала средний слой несет минимальные нагрузки, ориентация его частиц на прочность при изгибе погонажных изделий существенного влияния не оказывает. Следовательно, решающее значение будет иметь ориентация частиц древесины в наружных слоях. Максимальная прочность получается в том случае, если древесные частицы в наружных слоях будут расположены вдоль продольной оси изделия.

Необходимый эффект ориентирования древесины и повышения плотности наружных слоев материала может быть достигнут при помощи пуансона с выгнутой рабочей поверхностью (рис. 3.15).

В данном случае с уменьшением угла  $\beta$  и увеличением глубины профиля эффект ориентирования частиц возрастает, но необходимо следить за предотвращением залипания массы в углублении.

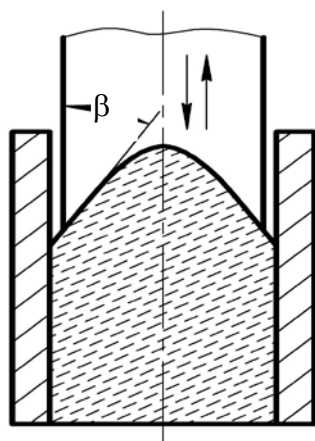


Рис. 3.15. Пуансон с выгнутой рабочей поверхностью

Возможен вариант, когда пуансон состоит из двух половинок. В этом случае залипание массы исключается. Способ экструзионного формования наряду с положительными сторонами (сосредоточение в неподвижном канале всех операций получения погонажного материала, простота оборудования и низкая его стоимость) имеет недостатки. Пресс-масса в канале продвигается толчками, и при этом необходимо преодолевать силы трения покоя, величина которых значительно больше сил трения движения; расходуется мощность на преодоление инерционных усилий при каждом такте прессования; структурообразование не обеспечивает высоких прочностных показателей на изгиб.

**Способ непрерывного формования.** Способ непрерывного формования состоит в том, что деформирование пресс-композиции и прогрев ее происходят в неподвижном канале при непрерывном равномерном движении пресс-массы (рис. 3.16).

В канал, образованный стенкой 1, равномерно и непрерывно засыпается пресс-масса 2. Тяговый орган 3, представляющий собой рифленую полосу, двигаясь сверху вниз, увлекает с собой пресс-массу и обеспечивает упрессовку ее между сужающимися частями направляющих 4 (зона деформирования). Сжатая масса 5 вместе с тяговым органом 3 равномерно перемещается между параллельными стенками направляющих через зону нагрева. На этом участке связующая смола отверждается. После выхода из канала две полосы сформованного материала и тяговый орган некоторое время движутся вместе, после чего полосы материала отводятся в сторону и режутся на заготовки нужной длины.

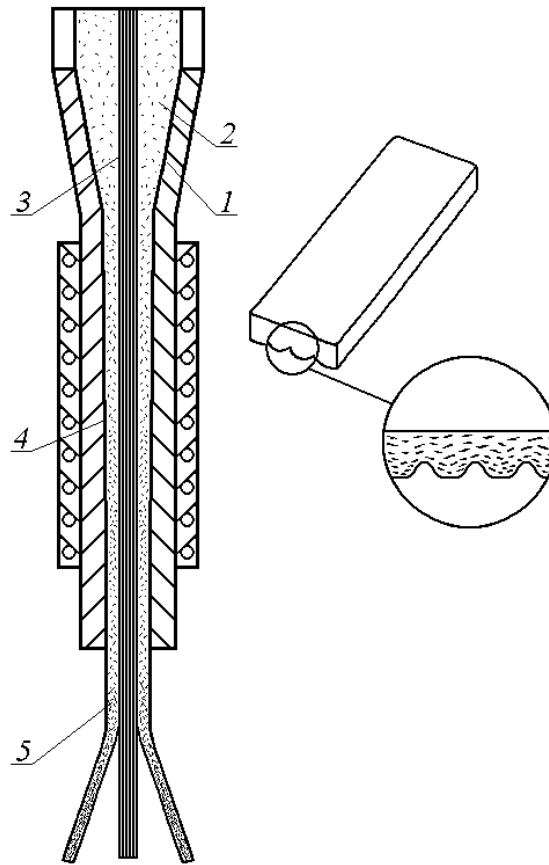


Рис. 3.16. Схема непрерывного формования:  
 1 – стенка; 2 – пресс-масса;  
 3 – тяговый орган; 4 – направляющие;  
 5 – сжатая масса

Способ непрерывного формования дает возможность сохранить преимущества и простоту экструзионного формования в неподвижном канале и одновременно обеспечивает структурообразование подобно пластевому формованию. Это является важным фактором, так как придает изготавливаемому материалу высокую прочность на изгиб и растяжение.

### 3.10.2. Технологические и конструктивные требования к изделиям из масс древесных прессовочных

Измельченная древесина в смеси со связующими веществами представляет собой сыпучую массу, при формовании которой можно получить изделия различных профилей и конфигураций (пазы, гнезда, отверстия и т. п.), прием механическая обработка их сводится к минимуму (обработка заусениц). С целью соединения изделий

с другими конструктивными элементами в процессе формования изделия можно оснащать различной арматурой.

При конструировании формованных изделий предоставляются широкие возможности функционального формообразования с одновременным обеспечением жесткости конструкции при минимальной массе изделия. Основными технологическими преимуществами нового материала являются:

- способность приобретать заданную форму и после прессования сохранять ее;
- возможность формования изделий значительных размеров;
- равномерная прочность в различных направлениях (чего не обеспечивает натуральная древесина);
- возможность формования изделий с пазами, отверстиями, арматурой, необходимыми для осуществления сборочных операций;
- малая формоизменяемость (по сравнению с древесиной);
- возможность отделки одновременно с прессованием.

Целью конструирования из МДП является создание детали с минимально возможным расходом материала, которая не имела бы ослабленных мест и мест с избытком материала. Следовательно, нужно избегать образования в детали мест с надрезами, острыми углами, резкими изменениями толщины стенок и т. п. Строго соблюдать принципы правильной геометрии особенно важно для деталей, подвергающихся ударным нагрузкам. Воздействие ударной нагрузки зависит от жесткости конструкции, причем это влияние тем меньше, чем больше материала участвует в восприятии удара.

Изделия из МДП в процессе формования и прессования приобретают новые свойства, отличные от свойств натуральной древесины. В связи с этим для нового материала должна разрабатываться конструкция с учетом его свойств и возможностей технологии. Разработка принципиально новой рациональной конструкции почти всегда начинается с выбора способа формования.

**Особенности конструкции изделия, обусловленные технологическими требованиями.**

*Технологические уклоны.* Одна из особенностей формованных деталей заключается в наличии у них специальных съемных уклонов, которые необходимы для беспрепятственного извлечения изделий из пресс-формы. Снабжают ими те элементы изделия, направление поверхностей которых совпадает либо с направлением прессования, либо с направлением извлечения из изделия подвижных формирующих элементов.

Основным требованием при назначении уклонов является определение их оптимальной величины. Установление ее представляется сложной задачей. С технологической точки зрения наличие уклонов – явление благоприятное, но необходимость повышения точности размеров (величина уклона – одна из составляющих величины допуска на размер) заставляет уменьшать эти уклоны. Следовательно, появляются два противоречивых требования. Чтобы найти для них компромиссное решение, следует определить такую допускаемую величину уклона, при которой обеспечивалась бы заданная точность, удовлетворялись бы требования сборки и в то же время не возникло бы никаких затруднений в процессе получения изделия. Рассмотрим ряд факторов, играющих важную роль при выборе оптимального значения уклона. При назначении уклонов следует учитывать: характер поверхности элементов изделия, степень механической прочности формующего элемента, степень механической прочности пресс-композиции.

Влияние характера поверхности элемента заключается в том, что уклоны внутренних полостей или отверстий в изделии не должны быть больше уклонов наружных поверхностей. Это вызвано тем, что под действием усадки происходит плотное охватывание заключенных в изделии формующих элементов и съём изделий с них требует значительных усилий.

Степень механической прочности изделия влияет на способность его противостоять тем усилиям, которые возникают в процессе его извлечения из формующего гнезда. Для элемента с меньшим уклоном потребуется больше усилий для извлечения его из гнезда, чем для элементов с большим уклоном. Следовательно, чем меньше уклон, тем прочнее должен быть элемент и изделие в целом.

Основными показателями влияния механической прочности пресс-композиций на величину уклона следует считать значения предела прочности при сжатии. Более высокие его показатели влекут за собой меньшие значения уклонов и наоборот.

Для обозначения уклона на чертежах изделий пользуются различными способами: указывают линейные размеры, угловые величины, отношения. Наиболее рационально обозначать уклоны величинами отношений (рис. 3.17).

Для определения абсолютной величины одностороннего уклона  $i$  можно воспользоваться формулой

$$i = HK, \quad (3.20)$$

где  $H$  – высота элемента, м;  $K$  – значение отношений (1/50; 1/500).

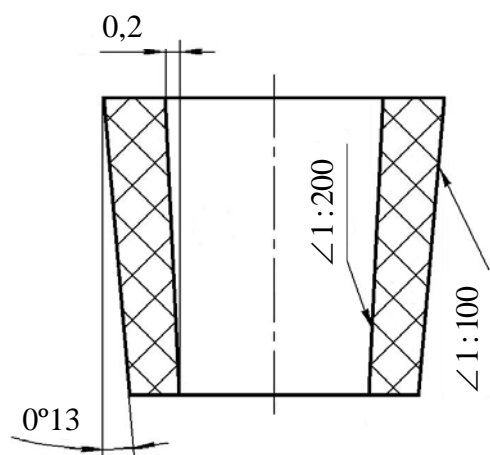


Рис. 3.17. Уклон

**Закругления.** Наличие закруглений на кромках и в углах изделий из МДП является одним из обязательных условий, соблюдаемых при их конструировании. Благодаря закруглениям увеличивается механическая прочность как отдельных элементов, так и изделия в целом; создаются более благоприятные условия для процесса формообразования. Наличие плавных, закругленных переходов от одного элемента изделия к другому снижает величину коробления, что в конечном итоге способствует повышению точности.

Принимая во внимание положительный эффект наличия закруглений, необходимо стремиться к повсеместному их применению. Закруглениями следует снабжать как наружные, так и внутренние кромки и углы. Причем закругления наружных кромок и углов, кроме всего прочего, способствуют упрочнению формирующих элементов пресс-форм, устраняя возможные концентрации напряжений, возникающих в процессе термообработки или во время эксплуатации. Наименьшие значения радиусов закруглений для МДП составляют 1,0...2,5 мм.

Основное требование, предъявляемое к изделию с точки зрения выполнения радиусов закруглений, можно свести к тому, что величина радиуса по всей длине закругленного элемента должна быть одинаковой. Желательно также применять наименьшее количество значений радиусов закруглений на одном и том же изделии (рис. 3.18), так как это приводит к увеличению ассортимента инструмента, необходимого для изготовления пресс-формы, и, следовательно, повышает ее стоимость. Не следует стремиться к чрезмерному увеличению радиусов закруглений, поскольку это может привести к нежелательному утолщению мест стыка отдельных элементов изделий, особенно когда закругления внутренних и наружных контуров не согласованы между собой.

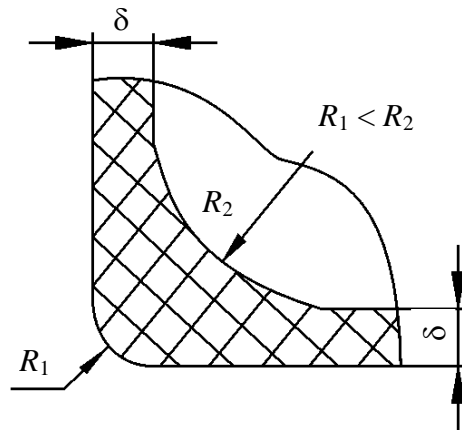


Рис. 3.18. Закругление

Для определения оптимальной величины закруглений в настоящее время нет каких-либо особых правил. Считают, что критерием радиусов могут служить величины закруглений режущих кромок стандартных фрез (для обработки формирующих элементов).

**Технологические углубления, выступы.** Некоторые изделия из МДП имеют ряд специфических элементов конструкции, которые, не играя никакой роли в процессе эксплуатации изделий, служат в основном только технологическим целям. К таким элементам изделий следует отнести различные технологические углубления, выступы, цель которых заключается в удовлетворении некоторых особенностей процесса изготовления изделий. В конечном итоге благодаря этим элементам улучшается качество изделий, уменьшается их масса и др.

Конфигурация технологических углублений очень разнообразна и зависит от формы изделия (рис. 3.19). Для осуществления равномерности желательно, чтобы эти углубления представляли собой подобие тех элементов изделия, для уменьшения толщины которых они предназначены.

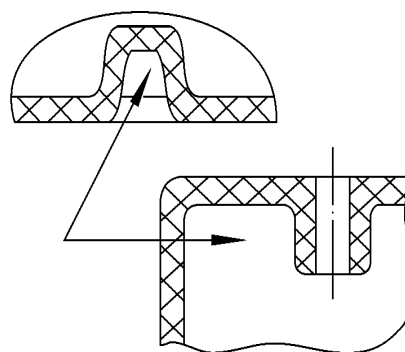


Рис. 3.19. Углубления

Технологические выступы вводятся в изделия специально для размещения в этих местах выталкивателей. Если изделие обладает достаточной прочностью, то снабжать его технологическими выступами не обязательно. Они должны иметь место лишь в том случае, когда для извлечения тонкостенных или ребристых изделий применяют стержневые выталкиватели. Подобным технологическим выступам придают такую конфигурацию, которая гармонизировала бы с общим видом изделия, а следы от выталкивателей как бы вписались в конфигурацию выступов.

Одна из разновидностей выступов (для размещения выталкивателя в зоне ребра изделия) изображена на рис. 3.20.

К технологическим выступам можно отнести также довольно обширную и разнообразную группу элементов конструкций изделия, называемых ребрами жесткости.

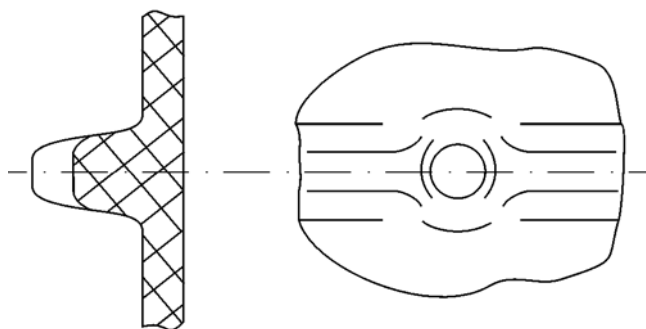


Рис. 3.20. Выступы

**Ребра жесткости.** Деформацию изделия из МДП, возникающую в процессе его изготовления, обычно называют короблением. Одним из мероприятий, направленных на устранение коробления, является применение различных ребер жесткости, разновидность которых представлена на рис. 3.21.

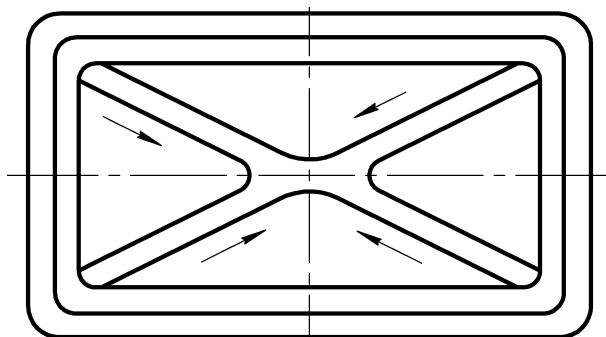


Рис. 3.21. Ребра жесткости



Основные требования, предъявляемые к ребрам жесткости:

1) желательно, чтобы оси ребра жесткости совпадали либо с направлением прессования, либо с направлением движения формирующего это ребро подвижного элемента пресс-формы;

2) ребра жесткости по возможности должны располагаться вдоль предлагаемого направления усадки;

3) ребро жесткости не должно быть толще стенки или другого элемента изделия, к которому оно примыкает, так как в противном случае оно может явиться причиной деформации примыкающего к нему элемента. Рекомендуемая толщина ребра должна составлять 60...80% от толщины стенки;

4) ребро жесткости на всем протяжении должно по возможности иметь неизменяющуюся форму сечения;

5) ребро жесткости в своем нормальном сечении должно иметь закругления как у основания, так и при вершине;

6) желательно, чтобы ребро жесткости не доходило до опорной поверхности или до края примыкаемого к нему элемента на 5...10 мм.

Несмотря на общность целевого назначения, все существующие разновидности ребер жесткости можно разделить на три группы:

I – ребра жесткости, применяемые для усиления элементов изделия, расположенных под некоторым углом друг к другу (рис. 3.22);

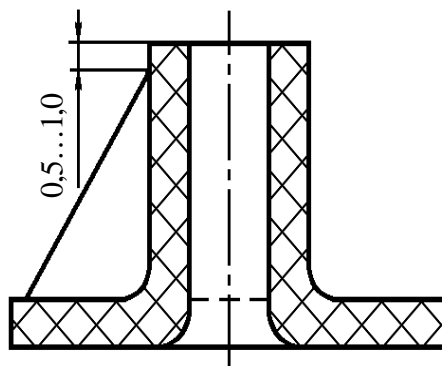


Рис. 3.22. Наклонные ребра жесткости

II – ребра жесткости, используемые для усиления различных гладких поверхностей, особенно если эти поверхности имеют значительные размеры (рис. 3.21). Рекомендуемые формы и размеры ребер приведены на рис. 3.23, а;

III – бурты, применяемые для укрепления края изделия, имеют разнообразную форму (рис. 3.23, б).

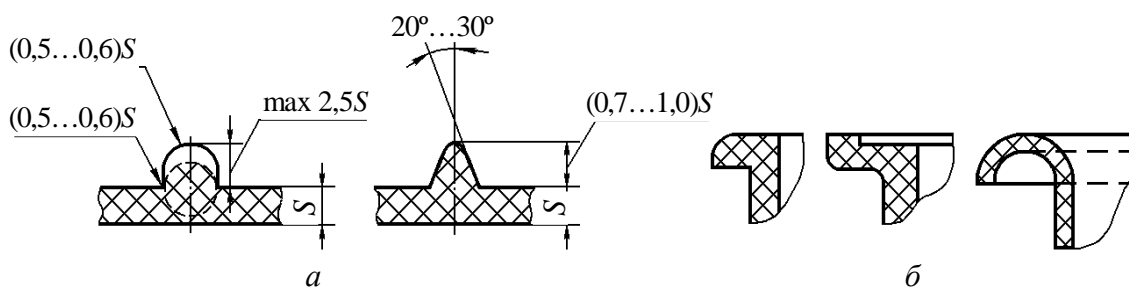


Рис. 3.23. Рекомендуемые формы ребер и буртов:  
*a* – формы и размеры ребер; *б* – формы буртов

**Стенки.** Стенки – наиболее важный элемент конструкции, так как они соединяют воедино все звенья изделия и несут на себе основную эксплуатационную нагрузку. Их толщина должна быть такой, чтобы, не нарушая технологических требований, можно было обеспечить необходимую прочность изделия, а также стабильность его размеров и конфигурации. Толщина стенок изделия зависит от следующих факторов: высоты (длины) стенки; величины текучести пресс-массы; степени механической прочности пресс-массы; конфигурации элемента изделия (лучше всего – полый цилиндр).

Определение оптимальной толщины стенки приобретает особое значение при конструировании изделий из МДП. Объясняется это тем, что, несмотря на сравнительно невысокую величину текучести этих материалов, из них приходится изготавливать изделия самой разнообразной формы. Для установки наименьшей допускаемой толщины стенки  $\delta$ , мм, можно рекомендовать следующую эмпирическую формулу:

$$\delta = \frac{2h}{L - 20} + \frac{1}{\lg a}, \quad \delta_{\max} \leq 12 - 16 \text{ мм}, \quad (3.21)$$

где  $h$  – предполагаемая высота стенки, мм;  $L$  – величина текучести (по Рагишу), мм;  $a$  – величина ударной вязкости, Дж/м<sup>2</sup>.

Соблюдение равностенности изделий из МДП является одним из основных требований, предъявляемых к их конструкциям. Но в связи с тем, что это требование в буквальном его понимании практически невыполнимо, то правильно сконструированным изделием в этом отношении может считаться такое, у которого величина равностенности не превышает 30% от наименьшей толщины стенки. Это допущение может быть оправдано тем, что в ряде случаев наличие утолщений не только желательно, но и необходимо. К подобным утолщениям следует отнести ряд элементов изделия, предназначенных как для технологических, так и эксплуатационных целей (рис. 3.24).

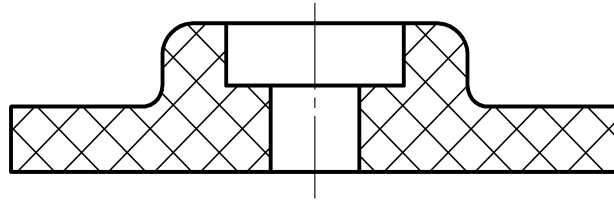


Рис. 3.24. Вид утолщений элементов изделия

**Отверстия.** Отверстия в прессованных изделиях по своей конфигурации очень разнообразны, что с конструктивной точки зрения обусловлено широкой областью их применения.

При выборе конфигураций отверстия, а также при задании его размерных соотношений в процессе конструирования изделия следует соблюдать принятые правила и нормы.

Одна из особенностей заключается в том, что прочность формующих элементов имеет установленные пределы, и при определении размеров и формы отверстий в деталях в основном следует руководствоваться степенью механической прочности формующего элемента.

Другая особенность отверстий, получаемых способом прессования, состоит в том, что эти отверстия не должны иметь поднутрений, которые могли бы препятствовать извлечению формующего элемента.

И, наконец, третьим условием, которое нужно соблюдать при выборе формы отверстия, является необходимость наличия в них технологических уклонов.

Для определения допускаемой наибольшей длины  $\ell$ , м, глухих отверстий можно воспользоваться следующей формулой:

$$\ell = d \sqrt[4]{\frac{E\pi w}{8p}}, \quad (3.22)$$

где  $d$  – диаметр отверстия, м;  $E$  – модуль упругости материала формующих стержней, который принимается  $2 \cdot 10^5$  МПа;  $w$  – величина наибольшего прогиба формующего стержня, м;  $p$  – удельное давление прессования, МПа.

Для нахождения допускаемой длины сквозных отверстий  $\ell_{\text{скв}}$ , м, можно рекомендовать формулу

$$\ell_{\text{скв}} = d \sqrt[4]{\frac{6E\pi w}{5p}} \quad (3.23)$$

При расположении отверстия вблизи от края изделия необходимо, чтобы края изделия соответствовали форме примыкающего к ним отверстия.

Не следует располагать отверстия слишком близко к краю изделия и между собой. Это может привести к растрескиванию перемычки вследствие внутренних напряжений от усадки. Для определения наименьших допускаемых значений перемычек между отверстиями можно пользоваться диаграммой, изображенной на рис. 3.25.

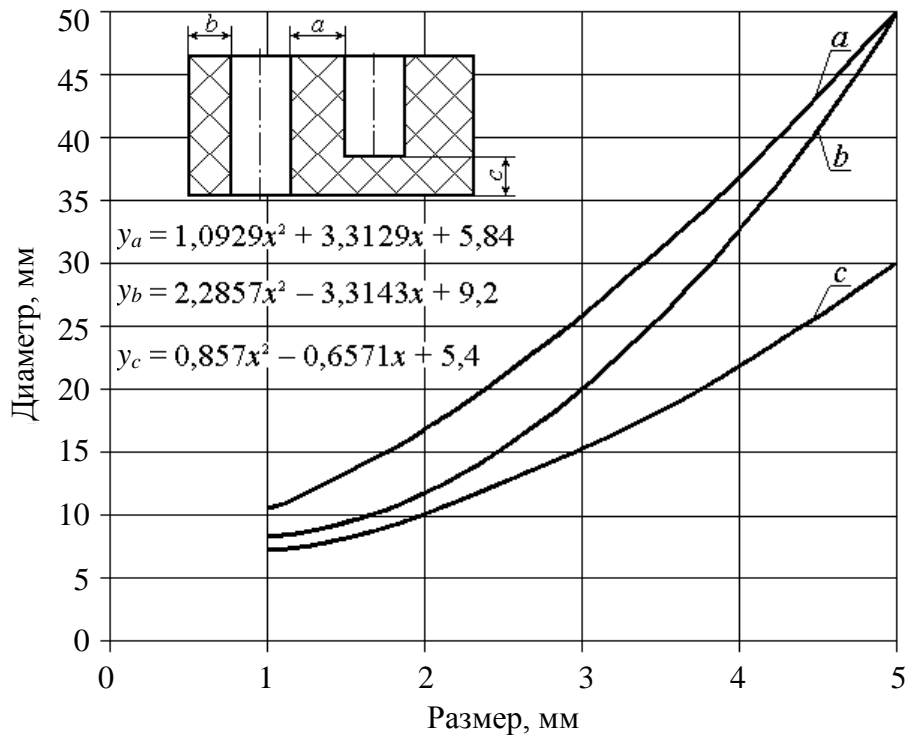


Рис. 3.25. Диаграмма для определения размера перемычек между отверстиями

**Резьбы.** Резьбы на деталях, сформированных из МПД, могут быть получены следующими способами: прессованием непосредственно в самом изделии; выполнением резьбы в специальных металлических деталях с последующей запрессовкой в формованные изделия; путем механической обработки отдельных элементов изделия.

Получение резьбы прессованием наиболее экономично и производительнее по сравнению с другими из вышеперечисленных способов.

Не следует изготавливать прессованием резьбы, наружный диаметр которых меньше 5 мм, и с шагом, меньшим минимальной фракции наполнителя. Большинство резьб, прессуемых непосредственно в изделия, могут быть получены с точностью в пределах 3-го класса для среднего диаметра резьбы.

Не менее широко чем прессованные резьбы применяют различные резьбосодержащие детали, запрессованные в изделие. Этот вид резьбовых элементов, называемых иначе арматурой, способствует улучшению качества изделия за счет увеличения прочности и износостойкости резьбы, однако себестоимость изделия значительно возрастает.

Способ изготовления резьб путем механической обработки имеет практическое применение. Однако резьбы, выполненные этим методом, всегда обладают меньшей прочностью, чем такие же, полученные прессованием. Преимущество резьб, изготовленных механическим путем, заключается в том, что они могут быть выполнены с большей точностью по сравнению с прессованием. К этому способу надо прибегать и тогда, когда необходимы резьбы с диаметром меньше 5 мм.

Рекомендуемые размеры элементов резьбовых соединений для сквозных и несквозных отверстий представлены на рис. 3.26.

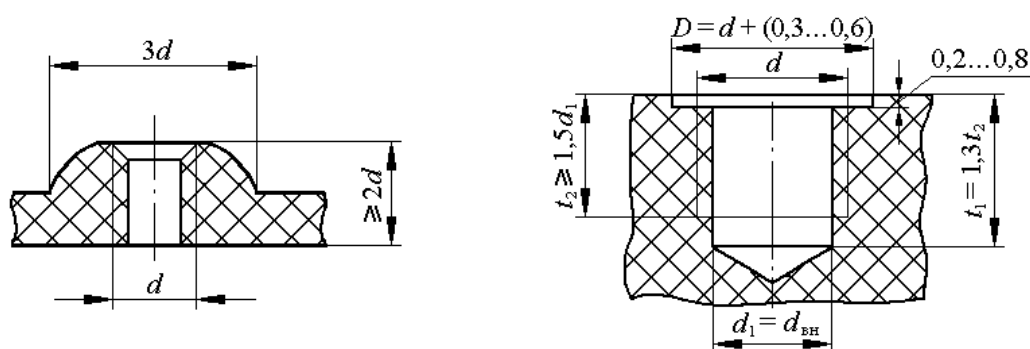


Рис. 3.26. Элементы резьбовых соединений для сквозных и несквозных отверстий

**Армирование.** Формованные изделия в ряде случаев снабжаются дополнительными элементами, необходимость в которых обусловлена либо условиями сборки, либо условиями эксплуатации. Эти элементы (арматура), представленные на рис. 3.27, образуют с изделиями неразъемное соединение.

Арматура в формованных изделиях применяется для следующих целей:

- увеличения механической прочности отдельных элементов изделия или изделия в целом (рис. 3.27, а);
- обеспечения более высокой степени точности некоторых элементов изделия, неосуществимой без применения арматуры (рис. 3.27, б);
- увеличения износостойкости отдельных элементов изделия (рис. 3.27, в);
- в качестве крепежных элементов.

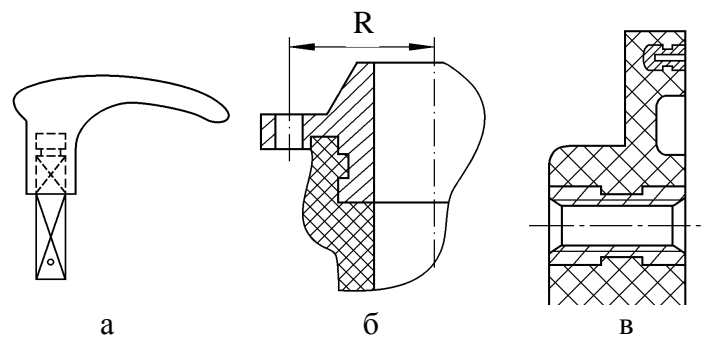


Рис. 3.27. Арматура в виде квадратного стержня (а), кольцевого фланца (б) и металлической буксы (в)

Для соединения формованных деталей целесообразно запрессовывать крепежные элементы в массу в процессе формования. Надежное закрепление закладной детали в пресс-материале возможно при деформации массы и элементов арматуры. Запрессованная деталь должна иметь такую конструкцию и форму, чтобы пресс-композиция могла заполнить пространство вокруг нее и иметь прочное соединение с пресс-материалом.

Часть детали, в которой расположена резьба, не должна деформироваться.

Для МДП применяются специально разработанные гайки ГС-1 и ГС-2 (рис. 3.28). ГС-1 представляет собой круглый или граненый корпус в виде трубки, с одной стороны которого выполнена внутренняя крепежная резьба, а с другой – сделаны прорези. Полоски, образовавшиеся между ними, отогнуты в противоположные стороны в радиальном направлении. Такие гайки целесообразно использовать в местах ограниченной ширины детали.

ГС-2 выполнена в виде плоского основания с внутренней резьбой и двух пар V-образно расположенных полосок с углами между ними. ГС-2 может быть применена для более тонких изделий.

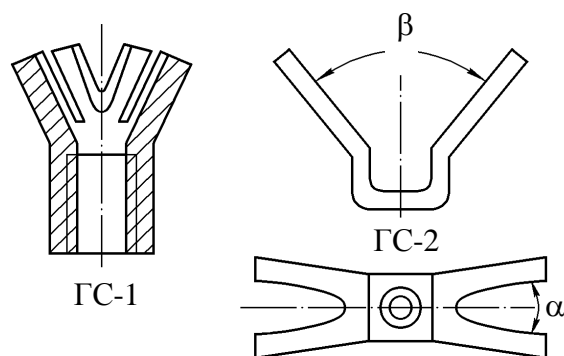


Рис. 3.28. Крепежные гайки для МДП

При запрессовке гаек GC-1 и GC-2 необходимо получить в конце деформации массы и арматуры положение полосок, приближающееся к перпендикулярному оси сжатия (рис. 3.29). Закрепленные в пресс-массе плотностью  $0,8 \text{ г/см}^3$  гайки различных видов испытывали на выдергивание. Получили следующие результаты: гайка обыкновенная – 50 Н (ГОСТ 5915); GC-1 – 1800 Н; гайка с рифленой боковой поверхностью – 450 Н; GC-2 – 2180 Н.

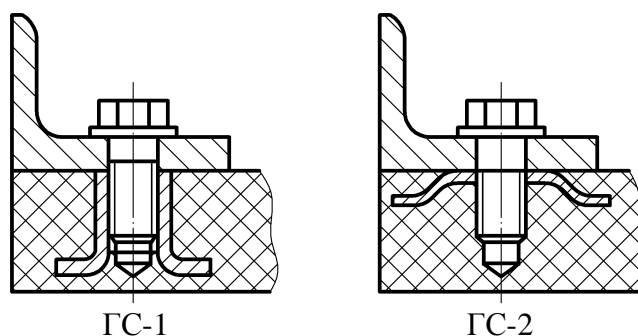


Рис. 3.29. Закрепление крепежных гаек в изделии

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что в конструкции изделий из МДП обязательно наличие элементов, обусловленных требованиями технологии их изготовления, – технологических уклонов, радиусов закруглений, ребер жесткости, различного рода буртов и крепежных гаек.

### 3.10.3. Основы расчета деталей на прочность

Физико-механические свойства композиционных материалов зависят от вида элементов, участвующих в их образовании, а также структуры. Для МДП в напряженном состоянии характерны резко

выраженные отклонения как от свойств идеально упругих тел, так и свойств идеально вязких жидкостей:

– скорость деформации не прямо пропорциональна напряжению, а связана с ним более сложной зависимостью;

– напряжение зависит от величины деформации и ее скорости.

На прочность изделий из МДП влияют также разнообразные технологические факторы их получения и переработки.

Расчет прочности изделий при воздействии механических нагрузок имеет поверочный характер и состоит из следующих основных стадий:

1) расчет действующей нагрузки. Установление температурных условий работы, определение воздействия окружающей среды;

2) выделение напряжений в опасных сечениях изделия и нахождение трех главных напряжений;

3) расчет по найденным главным напряжениям наибольшего эквивалентного напряжения, равного условному, создающему степень напряжений, которая равна совместному воздействию трех основных напряжений;

4) определение допустимых напряжений для выбранного материала и принятых условий эксплуатации изделия.

Прочность изделий из МДП при воздействии механических нагрузок определяют по формуле

$$\sigma_{\max \text{ экв}} \leq [\sigma], \quad (3.23)$$

где  $\sigma_{\max \text{ экв}}$  – максимальное эквивалентное напряжение в изделии при заданных условиях нагружения;  $[\sigma]$  – допустимое напряжение для материала изделия при тех же самых условиях.

Эквивалентное напряжение изделий из изотропных материалов для объемно-напряженного состояния при кратковременном нагружении рассчитывают по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{экв}} = & \frac{1}{2} \left[ a(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c \sqrt{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} \sqrt{a(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}} \right]^2 + \\ & + 4b(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \end{aligned} \quad (3.25)$$

при  $a = 3(1 - y)/(5 + y)$ ,  $b = 4(1 - y)/(5 + y)$ ,  $c = (y + 2)(y + 1)/(\sqrt{2(5 + y)})$ ,  
 $y = \sigma_p / \sigma_{\text{сж}}$



Здесь  $\sigma_p$  – предел прочности при кратковременном растяжении;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности при кратковременном сжатии.

Для плоского напряженного состояния при кратковременном нагружении эквивалентное напряжение изделий из изотропных материалов вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{экр}} = & \frac{1}{2} \left[ a(\sigma_1 + \sigma_2) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} \right] + \\ & + \frac{1}{2} \sqrt{a(\sigma_1 + \sigma_2) + c \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}^2 + \\ & + 4b(\sigma_1 + \sigma_2)^2. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  в опасных сечениях определяют методами, которые применяются в сопротивлении материалов.

Предел прочности при кратковременной нагрузке в 8...10 раз превышает значения предела прочности при длительном нагружении. Расчет прочности изделий из изотропных материалов при воздействии механических нагрузок по формуле (3.24) является приближенным, потому что не учитывает особенности конструкции изделий, строения материала и наличия микродефектов (трещины, царапины, поры), так называемых разносторонних концентраторов напряжений. Поэтому более пригодной является следующая формула:

$$\frac{\sigma_{\text{раз}}}{\sigma_{\text{макс экв}}} \leq n, \quad (3.27)$$

где  $\sigma_{\text{раз}}$  – разрушающее напряжение (предел прочности);  $n$  – коэффициент запаса прочности.

Значение коэффициента запаса прочности для изделий из изотропных материалов находят по формуле

$$n = SKTN, \quad (3.28)$$

где  $S$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации изделия;  $K$  – расчетно-конструкторский коэффициент;  $T$  – технологический коэффициент;  $N$  – коэффициент, учитывающий особенности структурного строения и физико-механических свойств материала.

Корректирующие коэффициенты рассчитывают по следующим формулам (значения показателей приведены в табл. 3.5):

$$S = S_1 S_2 S_3 S_4, \quad (3.29)$$

$$K = K_1 K_2 K_3,$$

$$T = T_1 T_2 T_3 T_4,$$

$$N = N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 N_8 N_9.$$

Если деталь из изотропного материала является комплектующей какого-нибудь изделия с известным коэффициентом запаса прочности, то ее запас прочности должен соответствовать коэффициенту запаса прочности основного изделия. Изотропные материалы не имеют предела усталости, поэтому при переменной нагрузке принято ограничивать количество циклов нагружения. Обычно число циклов устанавливается в пределах от  $10^6$  до  $10^7$ .

Таблица 3.5

**Корректирующие коэффициенты запаса прочности**

Наименование коэффициента	Наименование множителя	Характеристика множителя	Значение множителя
Коэффициент условий эксплуатации изделия $S$	Общий запас $S_1$	Для изотропных материалов	1,15...1,30
	Ответственность эксплуатации $S_2$	Для изотропных материалов	1,00...2,50
	Вид нагрузки $S_3$	Статическая.	1,00
		Знакопеременная	1,30
Агрессивность среды $S_4$	Нормальные условия.	1,00	
	Повышенная влажность	1,10	
Расчетно-конструкторский коэффициент $K$	Точность расчета $K_1$	Точное. Приблизительное	1,00 1,40...1,60
	Концентрация напряжений $K_2$	–	1,00...1,60
	Сложность изделия $K_3$	–	1,00...1,15
Технологический коэффициент $T$	Сложность изготовления изделия $T_1$	Прессование	1,05...1,15
	Сложность монтажа $T_2$	Диаметр насадочного отверстия, мм: – до 50 – от 50 до 100 – от 100 до 200	1,00
			1,05
			1,10
Условия вставки $T_3$	Без посадки.	1,00	
	Тугая посадка	1,70...2,60	
Способ отверждения $T_4$	Длительный.	1,05	
	В пресс-форме. Высокочастотный	1,10...1,20 2,00...2,50	

Коэффициент свойств материала $N$	Условия испытания материала $N_1$	–	1,10
	Вид деформации $N_2$	Изгиб.	1,00...1,10
		Растяжение.	1,40...1,75
		Сжатие.	1,10...1,65
		Срез.	1,25...1,50
		Кручение	1,40...1,60
	Изменение свойств $N_3$	Прессование	1,20...1,40
Термодинамическая природа материала $N_4$	Термореактивная	1,00	
Физико-механические свойства $N_5$	Изотропные	1,10	
Температурно-часовая зависимость $N_6$	Возвратная	1,00...1,50	

Окончание табл. 3.5

Наименование коэффициента	Наименование множителя	Характеристика множителя	Значение множителя
Коэффициент свойств материала $N$	Масштабный фактор $N_7$	–	1,00...1,20
	Строение материала $N_8$	Наполненный. Армированный	1,10...1,15 1,00
	Состояние поверхности $N_9$	–	1,00...1,50

Начиная конструирование изделий из МДП, следует максимально выполнять следующие требования к конструкции:

- они должны иметь технологические уклоны;
- при назначении допусков в первую очередь необходимо учитывать эксплуатационные характеристики, величины колебаний усадки материала, а также высоту детали;
- изделия должны иметь закругления для облегчения течения пресс-массы в процессе формования, увеличения механической прочности как самой детали, так и оформляющих деталей оснастки;
- изделие по возможности должно быть равностенным;
- в конструкции изделия желательно отсутствие поднутрений.

## 4. ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

### 4.1. Брикетирование измельченной древесины

#### 4.1.1. Общие сведения

*Брикетированием* называется процесс получения из сыпучего мелкоразмерного вещества плотного материала в виде кусков правильной формы, вследствие чего сыпучий материал становится вполне транспортабельным и удобным в обращении.

При брикетировании, например, опилок, стружек или коры достигается значительно более высокая теплотворная способность, чем у исходной древесины, и обеспечивается возможность сжигания в различных топочных устройствах. Это объясняется значительным (до  $1450 \text{ кг/м}^3$ ) повышением плотности древесного вещества.

По назначению брикеты разделяются на сырьевые и топливные. Сырьевые брикеты используют, например, в гидролизном производстве. Топливные брикеты применяют в бытовых и промышленных топках, а также в газогенераторных установках для получения газа.

По форме брикеты могут быть брусковыми, шашечными, цилиндрическими и т. д.

Брикеты необходимо испытывать на плотность, механическую прочность, водостойкость, теплотворную способность.

На физико-механические свойства брикетов влияют насыпной вес брикетируемого материала, его влажность, величина и фракционный состав брикетируемого материала, его температура, а также тип и конструкция пресса.

Чем меньше насыпной вес брикетируемого материала, тем тоньше получается брикет и тем меньше его прочность, поскольку главным фактором, обуславливающим связывание в брикете частиц древесины, является поверхностная энергия этих частиц, которая возрастает с уменьшением размера частиц. Поэтому при брикетировании древесных отходов с малым насыпным весом, например стружки, ее необходимо предварительно измельчать.

Для связывания частиц в брикет большое значение имеет их влажность. Оптимальная влажность находится в пределах 9...12%. При этой влажности в капиллярах и между волокнами древесины

возникают вогнутые мениски, что значительно увеличивает поверхностное натяжение, а следовательно, способствует уплотнению волокон.

При более низкой влажности (особенно ниже 5...6%) содержащаяся в древесине вода приобретает свойства пленок, она концентрируется в зонах контакта частиц и для ее вытеснения требуется затратить большие усилия.

При влажности около и выше 25% брикеты разваливаются при выходе из пресса; а при влажности 18% хотя и сохраняют свою форму, но оказываются непрочными.

С увеличением размера брикетируемых частиц для получения качественного брикета повышают удельное давление. Полезным оказывается определенный подбор фракционного состава, так как брикеты, полученные из частиц одинакового размера, менее прочные.

После образования брикета имеет место упругое последствие древесины, вызванное, главным образом, разностью напряжений, возникающих внутри и на поверхности брикета в процессе прессования, что ослабляет его прочность. Упругое последствие можно значительно снизить предварительной термообработкой брикетируемого материала, вследствие чего повышается пластичность древесины. Увеличение пластичности древесины идет медленно при температуре 100...150°C и ускоряется при температуре 200 и более. Поэтому при подогреве массы, например, до 100°C требуется удельное давление 50...100 МПа, а при подогреве до 250°C достаточно 20...40 МПа.

По литературным данным, максимальная прочность брикетов в зависимости от влажности составляет 1,2 МПа при невысокой температуре прессования и 10 МПа – при высокой. Однако необходимо учитывать, что температура в пределах 250...300°C вредно влияет на материал матриц в прессах непрерывного действия, ускоряя их износ.

#### **4.1.2. Технология брикетирования опилок**

Технологический процесс брикетирования опилок в полном объеме включает следующие операции: сепарацию опилок, сушку, термообработку, прессование и выравнивание напряжения в брикетах.

В зависимости от целевого назначения брикета и характеристики исходного продукта применяются следующие варианты технологического процесса: холодное брикетирование (когда сушка и термообработка не используются); брикетирование при прогреве опилок в процессе сушки; брикетирование при глубокой термообработке в процессе прессования.

Холодное брикетирование дает неводостойкий, невысокой механической прочности брикет, который может применяться при наличии сухих опилок и использовании брикетов на месте их прессования.

Применение опилок, нагретых в процессе сушки, обеспечивает получение нормального сырьевого или топливного брикета. Для изготовления газогенераторного высококалорийного брикета рекомендуется брикетирование при глубокой термообработке в процессе прессования.

Сепарация опилок производится для отделения посторонних примесей (крупных щепок, кусков коры и прочих включений). Для сепарации используются механические или пневматические сортировки.

Сушка опилок осуществляется в барабанных или пневматических сушилках, аналогичных применяемым в производстве древесно-стружечных плит.

По способу формирования брикета современные прессы можно разделить на четыре основные группы: матричные, поршневые, с винтовым конвейером (шнеком) и вальцовые.

В прессах первой группы брикеты формируются в сплошной матрице поршнем, движущимся возвратно-поступательно. К таким прессам относятся пресс типа «Ганц» (рис. 4.1) и торфобрикетные БПС-2 (рис. 4.2).

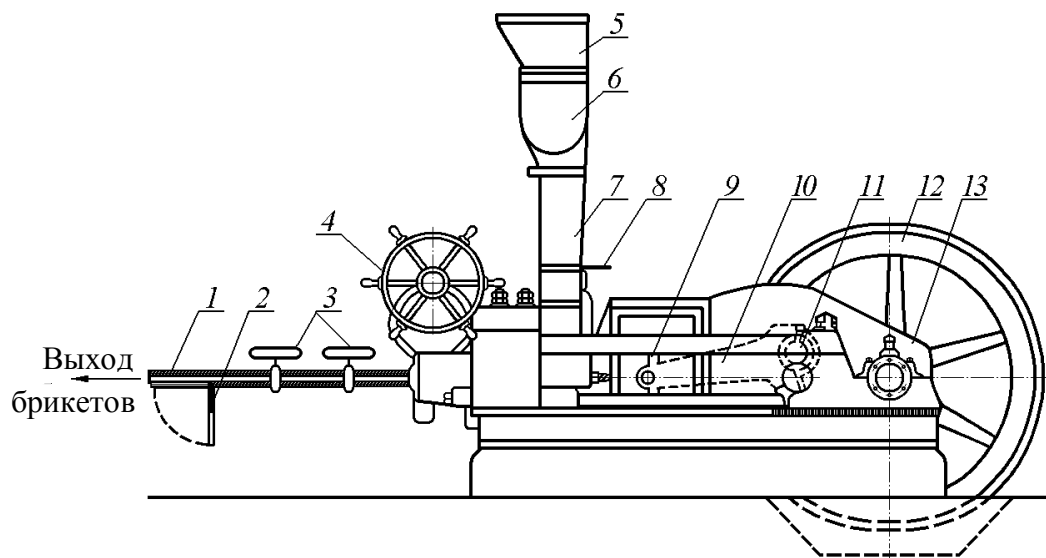


Рис. 4.1. Брикетный мундштучный пресс типа «Ганц»:

1 – кулерина; 2 – откидная планка; 3 – маховички; 4 – штурвал; 5 – приемная воронка; 6 – шнековый питатель; 7 – вертикальный канал питателя; 8 – заслонка; 9 – ползун (крейцкопф); 10 – шатун; 11 – кривошипный вал; 12 – маховое колесо; 13 – кожух

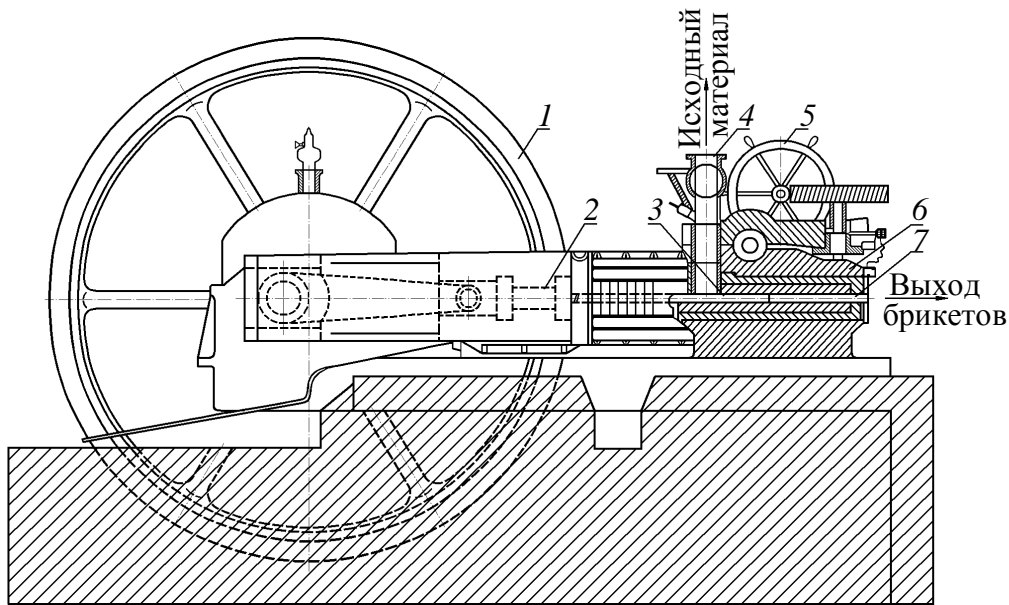


Рис. 4.2. Торфобрикетный мунштучный пресс БПС-2:  
 1 – маховое колесо; 2 – кресткопф; 3 – плунжер пресса; 4 – вертикальный канал питателя; 5 – штурвал для управления установкой «языка» камеры; 6 – «язык» камеры; 7 – прессовальная камера

Из бункера питателя с помощью дозаторов опилки подаются в вертикальный канал и высыпаются перед пуансоном во время холостого хода. Двигаясь вперед, пуансон захватывает опилки и вдавливает их в открытый канал прессовальной камеры, в котором уже находится ряд спрессованных брикетов. Пуансон продвигает готовые брикеты на расстояние, равное толщине одного брикета.

При прохождении брикетов по кулерине в них выравниваются внутренние напряжения и повышается механическая прочность. Для регулирования давления на брикет в кулерине установлены прижимы (винтовые или эксцентриковые).

Продолжением канала служит кулерина, представляющая трубу-лоток (рис. 4.3).

Для регулирования давления в прессовальной камере служит так называемый «язык». Поворотом «языка» вокруг оси устанавливают расстояние между матрицами, изменяя тем самым ширину канала. Вследствие сильного трения, развивающегося при прохождении брикета через прессовальную камеру, боковая поверхность его нагревается и пластифицируется, приобретая темный цвет.

В матричных прессах изготавливаются брусковые брикеты. Важное значение в таких прессах имеет буккель. Буккелем называется расширение прессовальной камеры у входа и выхода. Каждое



из таких расширений выполняется на конце и обычно бывает небольшим. Устройство буккеля особенно целесообразно при холодном брикетировании.

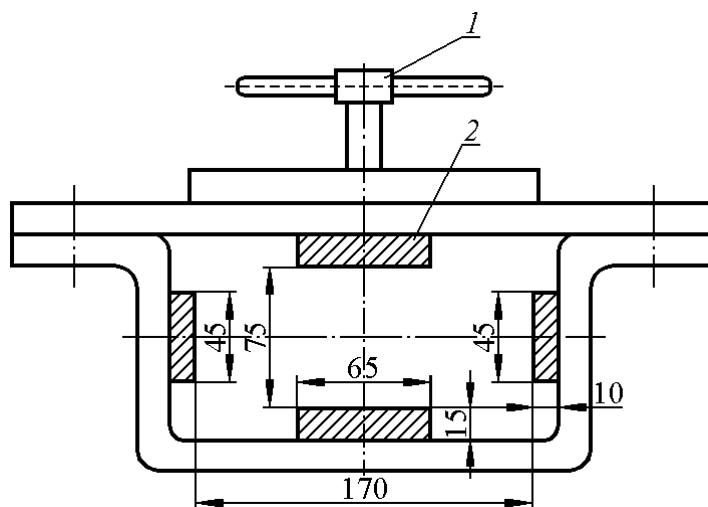


Рис. 4.3. Поперечное сечение кулерины:

- 1 – винтовой прижим;
- 2 – отжимающая пружина

Ко второй группе относятся прессы с разъемной (цанговой) матрицей и поршнем.

Пресс Weimath-60 (Германия) оснащен поршнем и загрузочным устройством с гидравлическим приводом. Особенностью данного пресса является управляемая гидравлическая цанга (матрица), раскрывающаяся при определенном давлении. Это упрощает выгрузку готового брикета и снижает нагрев матрицы. Недостаток – ограничение длины полученного брикета.

Фирма Holzmag Elan (Италия) выпускает пресс вместе с измельчителем, который может перерабатывать использованную деревянную тару вместе с гвоздями и обвязочной лентой, макулатуру, бытовые отходы и т. п. Пресс имеет поршень с приводом от гидроцилиндра, систему предварительного уплотнения и управляемую гидравлически матрицу-цангу. Ее применение обеспечивает получение за один цикл брикетов длиной 250...350 мм.

К третьей группе относятся прессы непрерывного прессования брикета с винтовым конвейером и высокотемпературным нагревом матриц, а также прессы, выпускаемые фирмой Pini+Kau (Австрия), Volon-Kone (Финляндия), Takeuchi Machinery (Япония) и др.

В прессах фирмы Volon-Kone (Финляндия) брикеты прессуют при удельном давлении 100...200 МПа, создаваемым винтовым конвейером (шнеком), и температуре 350. Схема брикетировочного процесса в зоне прессования представлена на рис. 4.4.

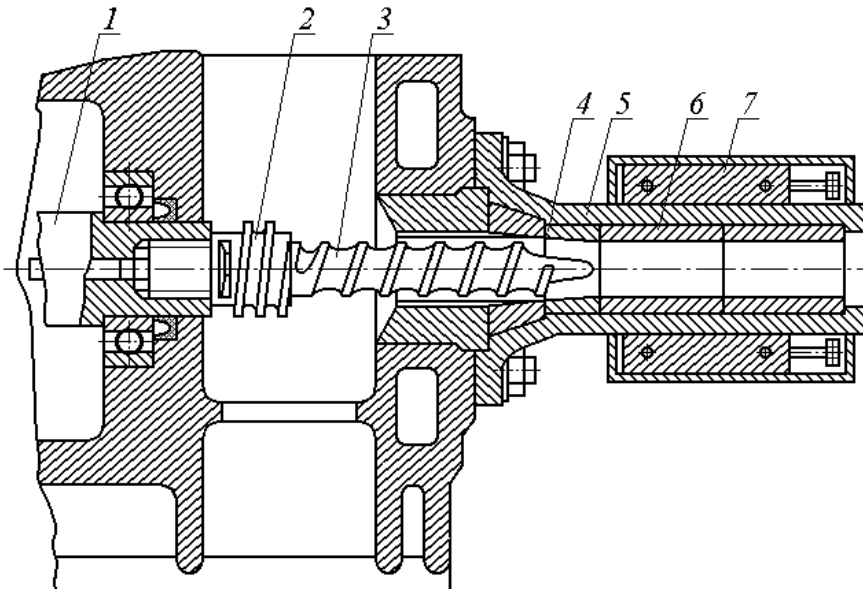


Рис. 4.4. Схема брикетировочного процесса в зоне прессования:  
 1 – привод с полым валом; 2 – подающий винт; 3 – прессующий винт;  
 4 – сужающаяся втулка; 5 – мундштук; 6 – сменные втулки;  
 7 – электронагреватель

Привод с полым валом соединен резьбой с подающим и прессующим винтовым конвейером. В зоне наибольшего давления, в сужающейся втулке, сырье вдавливаются в мундштук, в котором установлены зажимные сменные втулки, нагреваемые до температуры 300...350°C нагревательными элементами. Сжатая масса выталкивается в квадратное отверстие. В результате контакта с нагретыми стенками поверхность брикета обугливается. Науглероженный слой выполняет функцию смазки и способствует более легкому проталкиванию брикета внутри матрицы. Непрерывно выходящий со скоростью 1,5...3,0 м/мин из пресса брусок сечением 50x50 мм раскраивается на брикеты длиной 420 мм.

После выхода из пресса брикет имеет высокую температуру и дымит около 2 мин, поэтому несущий конвейер вентилируют. Брикеты охлаждаются в штабелях с воздушными промежутками, после чего их механическая прочность возрастает. Плотность брикета колеблется от 1100 до 1250 кг/м<sup>3</sup>. Охлажденные брикеты упаковываются в пачки.

На прессах подобного типа можно прессовать брикеты квадратного и круглого сечения как сплошные, так и пустотные с круглыми отверстиями. На мебельном комбинате «Вильнюс» работает линия с использованием опилок, стружки и кусковых отходов на базе прессов Novo Balt (рис. 4.5).

#### 4.1.3. Особенности технологии брикетирования коры

Отходы окорки после окорочных станков представляют собой продукт, который состоит из кусков коры, имеющих длину до 150 мм и значительное количество мелкого и крупного отсева. Процесс изготовления брикетов из коры включает те же операции, что и в случае использования других древесных отходов. Особенность заключается в применении специальных дробилок для измельчения коры (корорубок).

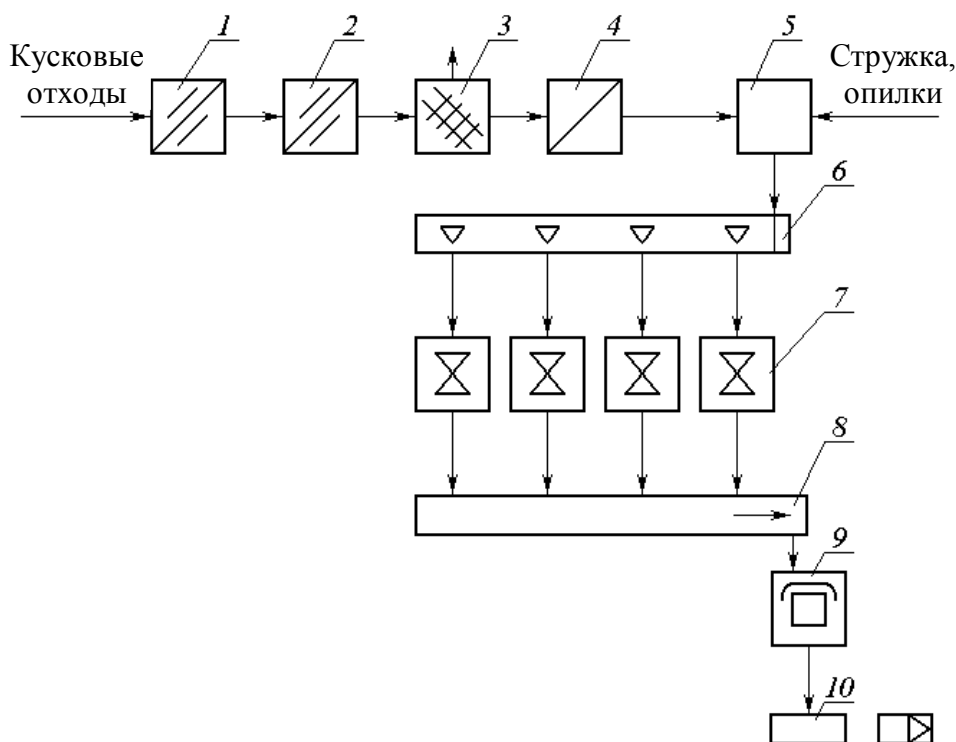


Рис. 4.5. Схема линии брикетирования мелких древесных отходов:

- 1, 2 – дробилки первой ступени; 3 – вибросито;
- 4 – турбомельница; 5 – циклон;
- 6 – винтовой конвейер; 7 – брикетировочные прессы;
- 8 – сетчатый конвейер; 9 – стол; 10 – поддоны

Для измельчения коры используют дробилки роторного типа со специальным подвижным и неподвижным ножом модели Ц6-02 и КР-6 и др.

Однако они обеспечивают только грубое дробление коры до фракции 50 мм и более, когда для брикетирования требуется кора более мелких фракций.

В УкрНИИМОДе разработана бесситовая мельница МК-10. Кора измельчается режущими кромками бил (молотков), уплотненных наплавкой, во взаимодействии с контрножами. Степень измельчения и производительность мельниц регулируются в широких пределах изменением количества одновременно установленных бил. Отходы измельчаются до фракции, соответствующей проходу через сито с отверстиями 10 мм и до 96...98% измельченной продукции. Анализ машин для измельчения отходов окорки показывает, что мельница МК-10 по своим эксплуатационным качествам превосходит зарубежные корорубки. Единственной конкурентоспособной машиной является корорубка модели HSC (Япония).

Измельченную кору можно сушить в циклонно-спиральных сушилках, разработанных в Центральном научно-исследовательском институте фанеры (ЦНИИФ), от начальной абсолютной влажности 180...250% до конечной 60...80%. Оптимальной для брикетирования влажности (10...15%) можно достигнуть при использовании сушильного барабана «Прогресс», который применяется в производстве ДСтП для сушки измельченной древесины.

Карельский научно-исследовательский институт (КарНИИЛ) совместно с НПО «Научплитпром» разработал топочно-сушильный агрегат, в котором до 50% коры, высушенной до влажности 3...20%, служит топливом для агрегата, а 45...50% используется для получения топливных брикетов, поставляемых в малолесные районы страны. Выпускаемая фирмой Volon-Kone (Финляндия) сушилка Novo Balt с обогревом топочными газами предназначена для сушки мелких древесных отходов и коры при влажности более 45% до влажности 15%. Древесные отходы сушатся при вращательном движении материала и топочных газов. В качестве источника тепловой энергии используются сухие древесные отходы, брикеты или жидкое топливо.

Прессование брикетов из коры производится на прессах по брикетированию опилок или других древесных отходов, описанных выше.

#### **4.1.4. Влияние технологических факторов на свойства брикетов**

Качество брикетов зависит от множества факторов, основными из которых являются химический состав прессуемого материала, его насыпная масса, влажность, размер брикетируемых частиц,

температура и давление прессования, продолжительность выдержки под давлением.

**Влажность прессуемого материала.** Влажность измельченной древесины и коры – один из наиболее важных факторов, влияющих на качество брикетов и на процесс брикетирования.

На рис. 4.6 показана зависимость прочности брикетов, полученных из хвойных опилок, от влажности сырья (по данным лабораторных исследований).

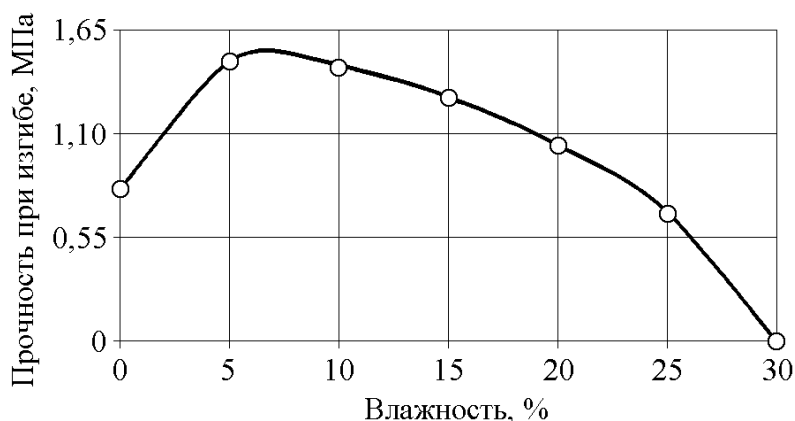


Рис. 4.6. Зависимость прочности брикетов от влажности прессуемого материала

Из рис. 4.6 следует, что наиболее прочные брикеты получаются при влажности 5%. При увеличении влажности от 5 до 30% прочность брикетов уменьшается, особенно при влажности более 20%. При влажности больше 30% брикеты разрушались при выходе из матрицы.

Экспериментальные исследования и практика работы линий по брикетированию и гранулированию древесных отходов позволяют рекомендовать оптимальную влажность прессуемого материала 8...12%.

Использование отходов с меньшей влажностью нецелесообразно из-за затруднений при сушке, хранении и прессовании, кроме того, прочность и влагостойкость таких брикетов низкие.

**Фракционный состав и вид отходов.** Размеры частиц древесных отходов оказывают существенное влияние на свойства получаемых из них брикетов. Зависимость плотности и прочности брикетов из опилок и коры от фракционного состава отходов показана на рис. 4.7.

Анализируя эти графики, можно отметить, что с уменьшением размеров частиц плотность и прочность брикетов увеличиваются.

При прессовании брикетов из отходов фракции более 5 мм наблюдается существенное снижение этих показателей. На основании этих данных можно сделать вывод о нецелесообразности брикетирования древесных отходов с размером частиц, превышающим 5 мм.

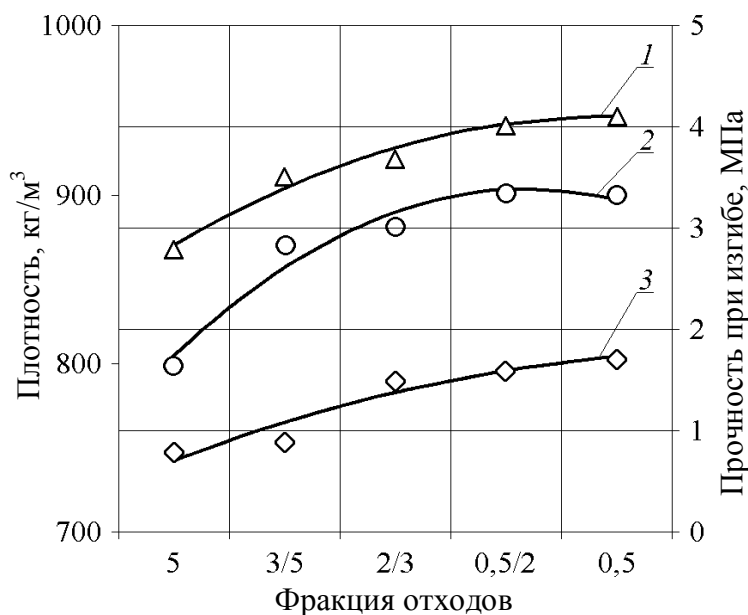


Рис. 4.7. Зависимость плотности и прочности брикетов из опилок и коры от фракционного состава отходов:  
 1, 2 – прочность брикетов, изготовленных из опилок и коры соответственно;  
 3 – плотность брикетов

Результаты исследований показывают, что древесная кора также может быть использована в качестве сырья для брикетирования, однако прочность брикетов из коры заметно ниже, чем из древесины.

**Давление, продолжительность и температура прессования.** Важнейший фактор, влияющий на показатели брикетов, – давление прессования.

Изменение давления прессования в прессах с открытыми матрицами достигается путем варьирования размера сечения матричного канала в регулируемой части матрицы с помощью гидравлических или механических прижимов. В прессах с кольцевой матрицей для получения гранул изменение давления достигается изменением диаметра отверстий матрицы и не поддается плавной регулировке. Зависимость свойств брикетов от давления прессования показана на рис. 4.8.

Данные на графике приведены для брикетов из хвойных опилок фракции 3/2 и коры фракции 5 мм.

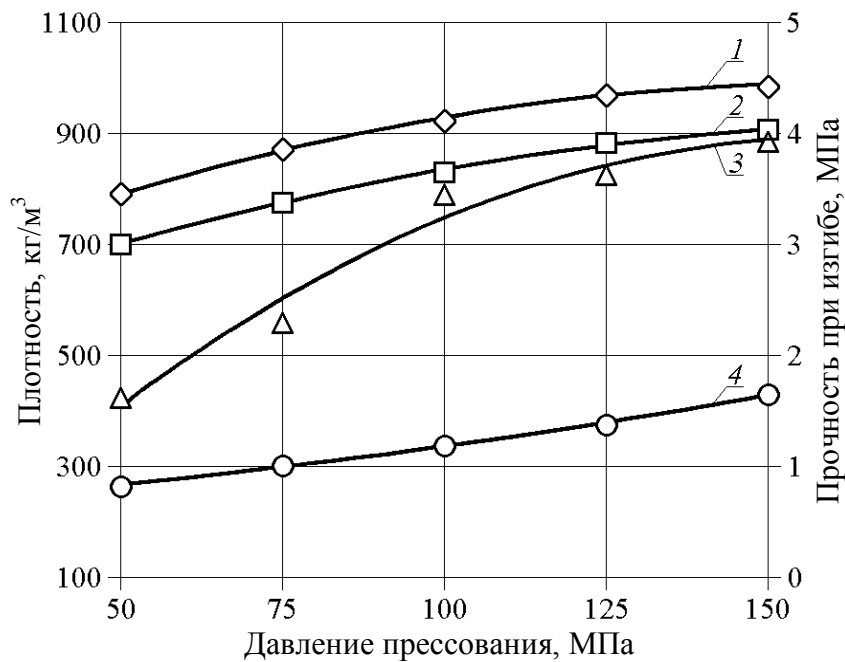


Рис. 4.8. Влияние давления прессования на свойства брикетов:  
 1, 2 – плотность брикетов,  
 изготовленных соответственно из коры и опилок;  
 3, 4 – прочность брикетов,  
 изготовленных соответственно из опилок и коры

Как видно из рис. 4.8, при прессовании опилок наиболее интенсивное изменение прочности наблюдается при давлении до 100 МПа. При этом их плотность несколько ниже, чем у брикетов из коры.

Как уже отмечалось, брикеты из коры имеют относительно низкую прочность, поэтому прессование их должно осуществляться при более высоком давлении. Для улучшения свойств таких брикетов можно также добавлять в кору отходы древесины – опилки или стружку.

Прессование брикетов при низкой температуре (18...20°C) осуществляют под давлением 80...100 МПа. Повышение температуры сопровождается пластификацией компонентов древесины, поэтому прессование может проводиться при более низком давлении. Так, при нагреве материала до 60...80°C можно снизить давление до 70 МПа.

На свойства брикетов влияет и продолжительность выдержки под давлением. Отмечено, что продолжительность воздействия давления при брикетировании должно составлять 20...30 с.

Предварительный прогрев древесных частиц также оказывает положительное воздействие на свойства брикетов и позволяет снизить давление прессования. Установлено, что термическая обработка

опилок при температуре 250...300°C позволяет получать достаточно прочные брикеты уже при давлении 15 МПа.

## **4.2. Получение пластиков из измельченной древесины без применения связующих веществ**

### **4.2.1. Общие сведения**

Проблема получения пластических материалов из древесины без использования синтетических связующих веществ издавна привлекала внимание исследователей. Первые сведения об этом относятся к середине прошлого столетия. Были попытки «плавить» древесину при высокой температуре и превращать ее в монолитную массу, представляющую собой после охлаждения твердое аморфное вещество, хорошо полирующееся и сопротивляющееся износу. Но эти методы изготовления пластических масс были связаны с большими техническими трудностями и не получили развития.

Между тем было замечено, что под влиянием давления и температуры измельченные растительные материалы, содержащие целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы, приобретают способность образовывать прочный и твердый монолитный материал темного цвета, повторяющий конфигурацию формы. Этот материал получил название пьезотермопластик.

Производство пластика из древесных опилок без добавления связующих или пластифицирующих веществ было организовано в СССР в 30-е гг. XX в. Материал, изготавливаемый путем глубокого термогидролитического разложения древесины, получил название баркалаит в честь разработчика Т. Е. Баркалая. Сущность способа заключалась в прессовании в герметичных пресс-формах древесных опилок при температуре 300...400°C и давлении 30...100 МПа. Предварительная автоклавная обработка древесных частиц в водной среде или разбавленных кислотах позволила прессовать материал уже при 150°C, но давление оставалось высоким. Имелись и другие разработки (в СССР, Германии, США), в которых варьировались режимы обработки и прессования измельченной древесины. Однако в то время из-за сложности технологии и неудовлетворительного качества изделий эти способы не получили широкого распространения.



В 1950–60-е гг. возобновляется интерес к разработкам теории и технологии пьезотермопластиков. Появляется целый ряд зарубежных патентов (Рункеля, Штамма, Клаудитца и др.) на способы изготовления прессованных материалов из измельченной древесины без применения синтетических связующих веществ.

В ФРГ начинают работать технологические линии по производству термодинамическим способом материала, названного лигнопластом (lignum – дерево). Изготовленный из опилок древесины бука лигнопласт обладает хорошими свойствами:

плотность, кг/м <sup>3</sup>	1350...1380
прочность при статическом изгибе, МПа	41,5
ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	6,2
водопоглощение за 24 ч, %	6,5
разбухание за 24 ч, %	3,6

Технологический процесс производства лигнопласта показан на рис. 4.9.

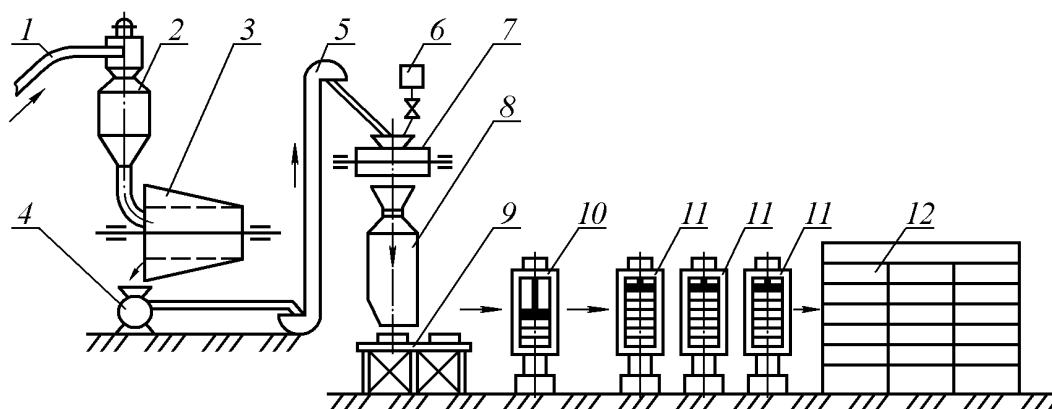


Рис. 4.9. Схема технологического процесса производства лигнопласта (одностадийный метод):

- 1 – пневмотранспорт; 2 – бункер сырого материала; 3 – барабанная сушилка;  
 4 – мельница; 5 – ковшовый элеватор; 6 – бачок; 7 – смеситель;  
 8 – бункер готового материала; 9 – место заполнения матриц;  
 10 – холодный пресс; 11 – горячие прессы; 12 – участок кондиционирования

Смесь опилок и стружек с влажностью около 30% из деревообрабатывающих цехов пневмотранспортом 1 подается в циклон, из которого поступает в бункер 2. Далее измельченная древесина направляется в барабанную сушилку 3, где высушивается до влажности 4...5%. Размол измельченных отходов до размеров древесной муки осуществляется в мельнице 4, затем ковшовым элеватором 5 они подаются в смеситель 7, куда из бачка 6 поступает расчетное количество воды,

чтобы довести влажность пресс-материала до 10%. В смеситель при необходимости можно вводить смолы, красители и другие вещества.

Готовый пресс-материал накапливается в бункере 8 и затем подается на место заполнения матриц 9. Наполненные матрицы поступают в холодный пресс 10 для предварительного уплотнения пресс-материала при давлении 10 МПа за 2,5 мин. После выгрузки из холодного пресса из матрицы вынимают брикеты и передают их на горячие прессы 11, а матрицы возвращаются обратно для заполнения.

Режим горячего прессования: температура – 180°C; давление – 20...25 МПа, выдержка при высокой температуре – 10 мин, охлаждение пресс-форм под давлением до 30...60°C – 10...15 мин. Далее изделия идут на кондиционирование 12, где выдерживаются 7...10 сут для удаления летучих веществ, и затем на отделку. Такие установки мощностью 2 т изделий в сутки считаются рентабельными.

В научно-исследовательских учреждениях, вузах и лабораториях промышленных предприятий был разработан ряд способов получения пластиков без применения синтетических связующих веществ. Из них глубокую проработку и внедрение в производство прошли три технологии: 1) одностадийный способ получения пьезотермопластиков, разработанный в Белорусском технологическом институте под руководством А. Н. Минина; 2) двухстадийный способ получения пластиков из гидролизированных опилок, разработанный в Ленинградской лесотехнической академии под руководством Н. Я. Солечника; 3) технология получения лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП), разработанная в Уральском ЛТИ под руководством В. Н. Петри.

#### **4.2.2. Одностадийный способ получения пьезотермопластиков**

Одностадийный метод получения пьезотермопластиков (ПТП) заключается в измельчении древесины до размеров, близких размерам древесной муки, и прессовании без предварительной обработки древесины в герметичных пресс-формах или без них при достаточно жестких режимах.

Свойства ПТП в основном определяются влажностью исходного материала, температурой и давлением прессования, продолжительностью выдержки прессуемого материала под давлением, температурой в момент снятия давления.

При осуществлении процессов без использования пресс-форм оптимальная влажность измельченной древесины (при выдержке 3 мин/мм толщины готовой плиты) составляет 5...20%, температура

прессования – 175...225°C; удельное давление – от 2...3 до 25...30 МПа. Герметизация в этом случае достигается благодаря применению нижних поддонов с наваренными на них по периметру ограничительными рамками.

Технологический процесс получения ПТП без использования пресс-форм периодическим методом складывается из следующих операций: сортировка опилок, доизмельчение, сушка, формование через установленную на поддон с ограничительной рамкой по периметру загрузочную камеру пакета измельченной массы; холодная подпрессовка пакета под давлением 2,0...2,5 МПа в течение 20...30 с. Подпрессованные пакеты входят свободно в промежуток между плитами гидравлического многоэтажного пресса, применяемого в фанерном производстве. Загрузка поддонов с пакетами и выгрузка готового пластика выполняется автоматически.

Разновидностью одностадийного метода является осуществление пьезотермической обработки древесных опилок в герметичных пресс-формах. Схема технологического процесса в этом случае подобна схеме получения лигнопласта (см. рис. 4.9 на с. 144).

При изготовлении ПТП с использованием пресс-форм пресс-материал из бункера кондиционных опилок порционным питателем непрерывного или периодического действия равномерно загружается в матрицы. Заполненные матрицы подаются на уплотнение в одноэтажных прессах при давлении 2,5...15,0 МПа. Уплотненный материал предварительно подогревается в поле токов высокой частоты (это сокращает продолжительность выдержки в прессе в 1,5 раза), а затем поступает в горячий пресс. В прессе матрицы фиксируются строго по прикрепленным к верхней плите пуансонам.

Режим прессования зависит от свойств исходного сырья и назначения изделий. Например, прессование плиток для пола из опилок любых пород, прошедших через сито с диаметром отверстий 2 мм, осуществляют по следующему режиму:

влажность, %	8...12
давление прессования, МПа	25
температура, °С	185...195
продолжительность выдержки, мин/мм	1,0
охлаждение пресс-формы под давлением до температуры 25...40°C, мин/мм	0,5
продолжительность плавного снижения давления, мин	3

Выгруженные из пресс-форм пластики кондиционируют и подают на окончательную обработку и упаковку.

Один из методов снижения металлоемкости производства и повышения производительности труда при изготовлении ПТП – применение автоматических роторных линий.

ПТП из березовых опилок, изготавливаемые одностадийным способом, имеют следующие показатели физико-механических свойств:

	Без пресс-форм	В пресс-формах
плотность, кг/м <sup>3</sup>	720...1080	1300...1350
прочность, МПа:		
– при статическом изгибе;	8...11	30...65
– при сжатии	80...120	80...125
водопоглощение за 24 ч, %	40...98	2,5...6,5
разбухание за 24 ч, %	41...92	2,5...3,5

Высокие физико-механические и электрические свойства ПТП позволяют применять их в строительстве (плитки для пола, дверные полотна и т. д.), электротехнике (пульта управления, электрощиты), при изготовлении мебели (сиденья и спинки стульев, крышки столов и парт, отдельные элементы мебели) и в других отраслях.

#### 4.2.3. Получение пластиков из гидролизированных опилок

Производство ПТП этим способом состоит из двух стадий. На первой стадии кондиционные опилки (прошедшие через сито с диаметром отверстий 4 мм) с влажностью 30% обрабатываются паром в автоклавах при температуре 170...180°C, давлении 0,8...1,0 МПа в течение 1...2 ч. Частично гидролизированные и высушенные при 50...60°C опилки темного цвета представляют собой пресс-материал, который поступает на переработку.

Вторая стадия – прессование изделий в герметичных пресс-формах. В отличие от одностадийного метода в этом случае требуются значительно более мягкие режимы прессования, так как пресс-материал имеет лучшую текучесть. После предварительной холодной подпрессовки (при давлении 1,5 МПа на протяжении 30 с) брикеты влажностью 6...8% загружают в пресс-формы. Прессуют пластики при удельном давлении 15 МПа, температуре 160°C в течение 1 мин на 1 мм готового изделия. После окончания выдержки при высокой температуре пресс-формы охлаждают без снятия давления до 25...30°C, выгружают пластики и отправляют их на механическую обработку.

Свойства изделий, получаемых двухстадийным способом, зависят от породы применяемого сырья, режимов термогидролитической

обработки опилок и режимов их переработки. Пластики, изготавливаемые прессованием гидролизированных опилок (древесины березы), имеют следующие показатели физико-механических свойств:

плотность, кг/м <sup>3</sup>	1350...1380
прочность, МПа:	
– при статическом изгибе	50...65
– при сжатии	65...75
водопоглощение за 24 ч, %	2,0...2,5
разбухание за 24 ч, %	2...3

Из гидролизированных опилок в пресс-формах прессуют плитки для пола, имеющие форму квадрата, прямоугольника или шестигранника; сиденья винтового стула для игры на фортепиано и для лабораторий, детского табурета; крышки детского или журнального стола. Эти изделия хорошо обрабатываются режущим инструментом и отделываются лакокрасочными материалами.

#### 4.2.4. Лигноуглеводные древесные пластики

Лигноуглеводные древесные пластики (ЛУДП) в большинстве случаев изготавливают в виде плоских плит толщиной 10 мм. Они могут быть однослойными и трехслойными, облицованными и необлицованными с размерами по длине 1800...3000 мм и ширине 900...1800 мм.

Технологический процесс производства ЛУДП состоит из подготовки, сушки и дозирования древесных частиц, формирования пакета, его холодной подпрессовки, горячего прессования и охлаждения без снятия давления, обрезки кромок и кондиционирования готовых плит.

В качестве сырья для получения ЛУДП могут служить древесные частицы хвойных (сосна, лиственница, ель, кедр, пихта) и лиственных пород (береза, осина и др.), получаемые из отходов лесозаготовок и после переработки низкокачественной дровяной древесины (без ограничения содержания гнили и коры).

Принципиальная схема технологического процесса получения ЛУДП приведена на рис. 4.10.

Кусковые отходы деревообработки измельчают на рубительной машине 1 и ленточным конвейером 2 подаются в бункер запаса 3. В этот же бункер с помощью вентилятора 4 через циклон 6 поступают мягкие отходы деревообработки (опилки, станочная стружка). Из бункера все отходы пропускаются через стружечный станок 5 и после измельчения пневмотранспортом подаются в бункер запаса 7. Доизмельчение древесных частиц происходит в молотковых дробилках 8,

накопление – в бункере сырых опилок 9. Степень измельчения влияет на свойства готового материала. Необходимо, чтобы все частицы проходили через сито с отверстиями диаметром 3 мм, а 60% из них – через сито с отверстиями диаметром 2 мм.

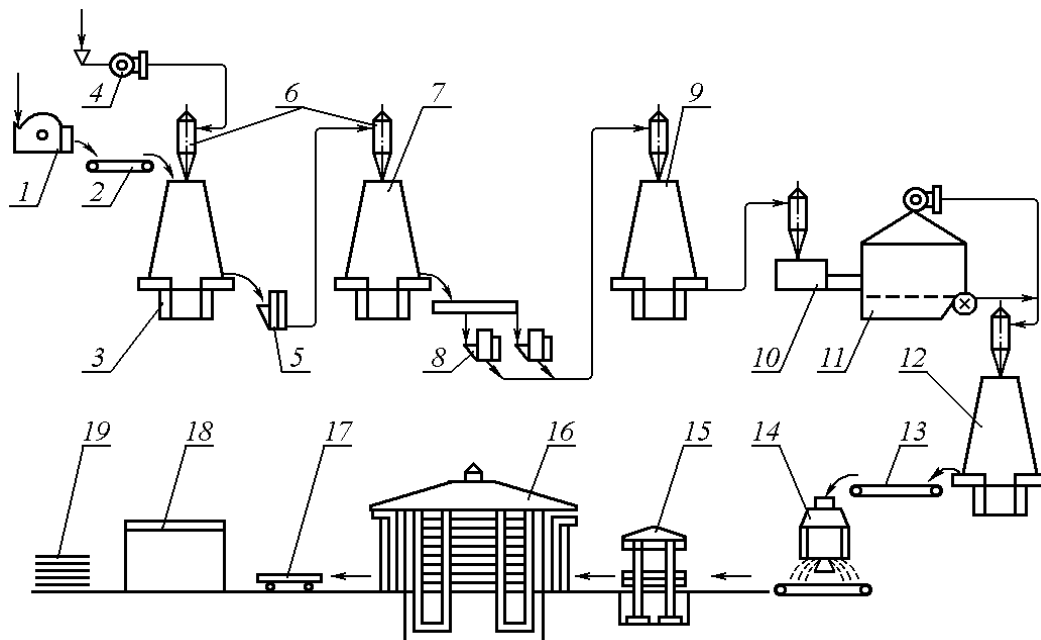


Рис. 4.10. Схема технологического процесса производства ЛУДП:

- 1 – рубильная машина; 2 – ленточный конвейер; 3, 7 – бункеры запаса;
- 4 – вентилятор; 5 – стружечный станок; 6 – циклон; 8 – молотковая дробилка;
- 9 – бункер сырых опилок; 10 – бункер-дозатор; 11 – сушилка;
- 12 – бункер сухих частиц; 13 – ленточный конвейер; 14 – формующая машина;
- 15 – холодный пресс; 16 – многэтажный гидравлический пресс;
- 17 – обрезной станок; 18 – участок кондиционирования-сушки;
- 19 – участок укладки в штабеля

Сырые опилки поступают через бункер-дозатор 10 в сушилку 11. Высушенные до заданной влажности древесные частицы пневмотранспортом подаются в бункер сухих частиц 12, а из него с помощью ленточного конвейера 13 – в формующую машину 14. Для настила ковра могут быть использованы машины, применяемые при изготовлении древесностружечных плит.

Сформированный ковер цепным конвейером поступает в пресс холодного прессования 15. Холодную подпрессовку ковра производят при удельном давлении 1,0...1,5 МПа в течение 1,5 мин. Используют одноэтажные гидравлические прессы. Горячее прессование осуществляется в многэтажных гидравлических прессах 16, оборудованных водяным охлаждением, механизированной загрузкой пакетов и выгрузкой готовых

плит. Прессование производится между металлическими поддонами без дистанционных прокладок. В зависимости от влажности (13...30%) и породного состава пресс-материала применяют следующие технологические параметры: удельное давление – 1,5...5,0 МПа (наиболее приемлемо 2,5 МПа); температура прессования – 160...180°С, продолжительность – 0,7...1,2 мин на 1 мм готовой плиты с постепенным охлаждением плит пресса до 20°С без снятия давления (так, например, общий цикл прессования плит толщиной 10 мм составляет 40 мин).

Отпрессованные ЛУДП имеют центральную кондиционную часть более темного цвета и светлую кромку по периферии – некондиционную часть плиты. Ширина некондиционной части составляет 10...13%. Готовые плиты обрезают со всех сторон на станке 17 и подают на кондиционирование-сушку 18, где влажность их доводится до 7...9%. Готовую продукцию укладывают в штабель 19 на 3 сут, затем отправляют потребителю.

Физико-механические свойства ЛУДП зависят от применяемого сырья, технологических параметров изготовления, используемых активизирующих добавок.

Однослойные необлицованные ЛУДП можно разделить в зависимости от плотности на три группы:

плотность, кг/м <sup>3</sup>	<1150	1150...1200	>1200
прочность при статическом изгибе, МПа	>120	>160	>220
водопоглощение за 24 ч, %	20...26	12...15	8...12
разбухание за 24 ч, %	18...25	10...12	7...10

ЛУДП биостойки и нетоксичны, хорошо обрабатываются и отделываются современными отделочными материалами. ЛУДП – эффективный заменитель пиломатериалов, ДСтП и ДВП во многих отраслях промышленности, особенно в строительстве, где он может быть применен для настила чистых полов, устройства перегородок, филенок дверей, встроенной мебели.

В 60-е гг. XX в. разработки по получению пластиков без использования связующих веществ были внедрены на ряде предприятий. На Бобруйском фанерно-деревообрабатывающем, Костромском фанерном комбинатах, в Шамарском леспромпхозе объединения Свердлес, на Херсонском целлюлозно-бумажном комбинате и на других предприятиях были организованы промышленно-экспериментальные участки и цеха.

В настоящее время промышленное производство ПТП и ЛУДП не известно. Основной недостаток технологии – высокая себестоимость продукции.

## 5. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Учебным и календарным планом по вышеназванной дисциплине предусмотрено проведение лабораторных занятий объемом 28 ч.

Целью выполнения лабораторных работ является практическое овладение студентами методик и приемов получения изделий из измельченной древесины с использованием органических и минеральных связующих; освоение методик проведения физико-механических испытаний изделий из композиционных материалов; приобретение навыков научно-исследовательской работы.

При оформлении выполненных работ в журнале следует изложить:

- 1) характеристику материалов, применяемых и получаемых в ходе работы;
- 2) расчет потребности сырья и материалов;
- 3) описание последовательности операций с указанием параметров;
- 4) результаты всех определений и анализов;
- 5) статистическую обработку результатов.

### **Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ**

*Цель работы* – определить фракционный состав и геометрическую форму частиц древесного наполнителя трех видов; подготовить наполнитель для получения масс древесных прессовочных.

*Материалы и оборудование:* древесные опилки влажностью 6...12%; древесная стружка; дробленка (измельченный шпон, отходы пластика); набор сит 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25; микроскоп оптический; лупа с 3...4-кратным увеличением; вибростол; технические весы.

#### **Общие сведения**

Основными показателями, характеризующими технологические свойства древесного наполнителя, являются фракционный состав, размер и форма частиц. Наиболее часто в качестве наполнителя используют стружку, опилки, дробленку, волокно. Неоднородность



измельченной древесины по величине частиц отрицательно сказывается на ее сыпучести, т. е. способности равномерно высыпаться из бункера, вызывает неравномерный прогрев наполнителя при переработке; с изменением величины частиц изменяется удельный объем пресс-материала и т. д. Определенное влияние на свойства изделий из масс древесных прессовочных оказывает также форма частиц наполнителя.

### Порядок выполнения работы

**Определение фракционного состава.** Фракционированию подвергают древесные частицы, предварительно высушенные при температуре 100...105°C (влажность не должна превышать 6%). Навеску древесных частиц в количестве около 50 г помещают на верхнее сито. Комплект сит устанавливают на вибростол и закрепляют установочными гайками. Время фракционирования одной навески составляет 5 мин.

По окончании отсева сита разбирают, каждую фракцию взвешивают с точностью до 0,01 г. Количественное содержание фракций в навеске выражают в процентах к общей массе. Номер фракций обозначается размерами сит, между которыми она была собрана, например 10/7, 7/5 и т. д.

Фракционирование проводят не менее трех раз, окончательный результат вычисляют как среднее арифметическое. Полученные данные для каждого наполнителя представляют в виде гистограммы «доля фракции – номер фракции». Пример построения и вид гистограммы приведен на рис. 5.1.

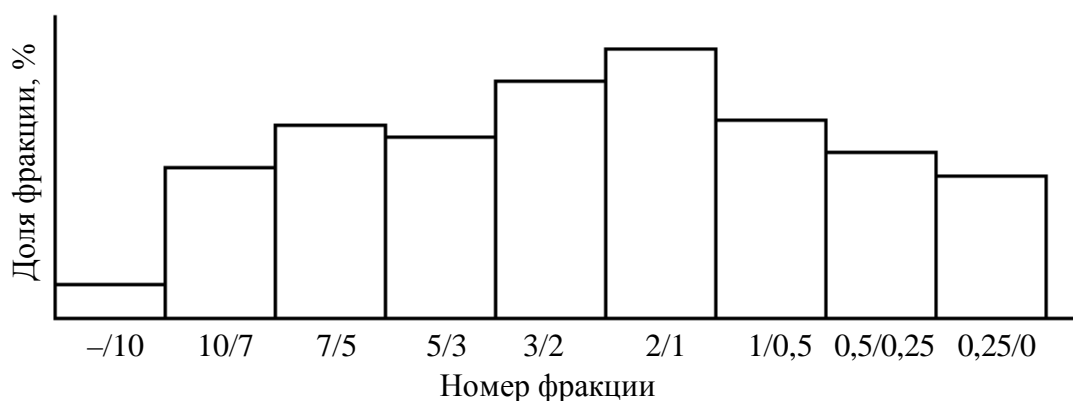


Рис. 5.1. Пример гистограммы

Исходя из полученных данных, рассчитывают средний фракционный размер частиц по формуле

$$\Phi_{\text{ср}} = \frac{g_{10}d_{10} + g_7d_7 + \dots + g_{0,5}d_{0,5} + g_{0,25}d_{0,25}}{g_{10} + g_7 + \dots + g_{0,5} + g_{0,25} + g_0}, \quad (5.1)$$

где  $g_{10}, g_7, \dots, g_{0,5}, g_{0,25}, g_0$  – количество древесных частиц отдельных фракций, г или %;  $d_{10}, d_7, \dots, d_{0,5}, d_{0,25}$  – размер отверстий сита отдельных фракций, мм.

Поскольку размер мелкой фракции (пыли) приравняется к нулю, множитель с  $d_0$  в числителе формулы не указывается.

**Определение геометрической формы частиц.** Для установления геометрической формы используют частицы одной фракции (по указанию преподавателя). С помощью лупы и пинцета частицы (не менее 5 шт.) сортируют в зависимости от формы, относя к той или иной группе (плоские, игольчатые, сферические, кубикообразные). Затем определяют массу отдельных групп частиц и рассчитывают их процентное содержание в общей массе. Для каждого вида частиц делают рисунок с указанием основных размеров.

**Подготовка наполнителя к изготовлению масс древесных прессовочных.** Все последующие лабораторные работы выполняются с одним из видов наполнителя (по указанию преподавателя).

Подготовка наполнителя заключается в получении заданного фракционного состава и влажности. Влажность наполнителя, используемого при получении изделий, не должна превышать 8...10%, что обеспечивается сушкой его при температуре  $(103 \pm 0,2^\circ\text{C})$ . Заданную фракцию наполнителя получают с помощью набора сит.

Массу наполнителя для выполнения лабораторных работ рассчитывают, используя соотношения, приведенные в лабораторной работе № 2. Результаты определений оформляют в виде таблицы.

## **Лабораторная работа № 2 ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ МАСС ДРЕВЕСНЫХ ПРЕССОВОЧНЫХ**

*Цель работы* – получить массу древесную прессовочную (МДП) на основе древесного наполнителя и карбамидных или фенолоформальдегидных олигомеров; определить ее технологические характеристики.

*Материалы и оборудование:* древесный наполнитель; карбамидо- или фенолоформальдегидная смола; уротропин; хлористый аммоний (20%-ный водный раствор); стеклянная емкость на 2 л; стеклянный

стакан объемом 50 мл; железные противни; термошкаф; приборы и оснастка для определения: насыпной плотности, сыпучести, текучести и таблетированности пресс-композиций.

### Общие сведения

МДП представляют собой терморезистивные пластические массы, получаемые обработкой измельченной древесины феноло- и карбаминоформальдегидными смолами и специальными добавками – смазывающими, отверждающими и окрашивающими веществами. Их получают как на спирто-, так и на водорастворимых смолах.

Технология МДП включает операции: измельчения, сушки, рассеивания древесных частиц на фракции, дозирования и смешивания компонентов, сушки полученной массы.

### Порядок выполнения работы

**Дозирование и смешивание компонентов.** Расход компонентов определяется массой образцов, изготавливаемых из МДП. На основе соотношений между отдельными составляющими из МДП, полученных в лабораторной работе, будут изготовлены изделия в виде брусков размером 12×15×8 мм и дисков диаметром 50 мм, толщиной 3 мм. Для проведения физико-механических испытаний достаточно 12 брусков и 4 дисков. Определение расходов компонентов проводят по заданным: плотности ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) и влажности ( $W_{\text{изд}}$ , %) изделия, расходу смолы ( $P_{\text{см}}$ , %) и добавки ( $P_{\text{доб}}$ , %).

Расход абсолютно сухого наполнителя  $m_{\text{н}}$ , кг, на одно изделие объемом  $V$ , м<sup>3</sup>, составит:

$$m_{\text{н}} = \frac{10^6 V \rho}{(100 + W_{\text{изд}})(100 + P_{\text{см}})(100 + P_{\text{доб}})}. \quad (5.2)$$

Расход наполнителя  $m_{\text{н}}^{\text{в}}$ , кг, с влажностью  $W_{\text{н}}$ , %, равен:

$$m_{\text{н}}^{\text{в}} = \frac{m_{\text{н}}(100 + W_{\text{н}})}{100}. \quad (5.3)$$

Расход смолы  $m_{\text{см}}$ , кг, с содержанием сухого остатка  $C_{\text{см}}$ , %, на изделие составит:

$$m_{\text{см}} = \frac{m_{\text{н}} P_{\text{см}}}{C_{\text{см}}}. \quad (5.4)$$

Расход добавок  $m_{\text{доб}}$ , кг, на изделие равен:

$$m_{\text{доб}} = \frac{m_{\text{н}} P_{\text{доб}}}{C_{\text{доб}}}, \quad (5.5)$$

где  $C_{\text{доб}}$  – концентрация добавок, %.

Общая потребность в компонентах МДП определяется с учетом количества изделий и расхода материала на испытания, которое составляет 20% от расчетного.

Подготовленные компоненты МДП смешивают в стеклянной емкости, насыпая древесный наполнитель в смолу. Если в композиции МДП содержатся другие добавки, то их вводят в смолу перед подачей наполнителя. Перемешивание проводят до получения равномерно смоченной массы. Затем ее выгружают на противни, разрыхляют и сушат в термошкафу при температуре 70...80С в течение 1,0...1,5 ч. Сушка необходима для удаления избыточной влаги. Повышенная влажность МДП приводит к образованию пузырей, трещин на поверхности материала, увеличивает время его выдержки в пресс-форме. Высушенную массу используют для проведения испытаний. Хранят МДП в плотно закрытых полиэтиленовых емкостях.

#### **Испытание масс древесных прессовочных.**

**1. Сыпучесть пресс-материала**, т. е. способность пресс-материала равномерно заполнять пресс-форму, характеризуется углом внутреннего трения. Пресс-материал на основе измельченной древесины можно отнести к сыпучим телам, обладающим способностью образовывать силы сцепления между отдельными частицами. В свободно насыпанном состоянии сыпучие тела принимают очертания формы конуса. Угол естественного откоса между образующей конуса и горизонтальной плоскостью называется углом внутреннего трения. Знание угла естественного откоса используют при определении наклона стенок загрузочных воронок, вместимости транспортных средств и бункеров.

Для характеристики сыпучести находят не только угол естественного откоса  $\alpha_0$ , но и угол обрушения  $\alpha_p$ . Первая величина относится к формированию откоса путем постепенной насыпки материала, вторая величина  $\alpha_p$  характеризует положение поверхности откоса, образовавшегося в результате сползания части материала. Ее называют также статистическим углом откоса. Угол обрушения  $\alpha_p$  всегда больше угла естественного откоса  $\alpha_0$ .

Для определения угла естественного откоса применяют устройство, состоящее из трех взаимно перпендикулярных пластин (рис. 5.2, а).

Нижняя пластина в виде сектора, служащая основанием, имеет кольцевые риски. Боковые пластинки, выполненные из органического стекла, тоже имеют риски. На линии пересечения вертикальных пластин укреплена воронка. При насыпании материала образуется геометрическое тело в виде четверти конуса. Насыпание прекращают, когда вершина конуса достигает верхнего края пластин. Последние порции материала удобно подсыпать из ложки. Угол наклона откоса определяют по рискам на вертикальных пластинках, усредняя данные 4...5 опытов.

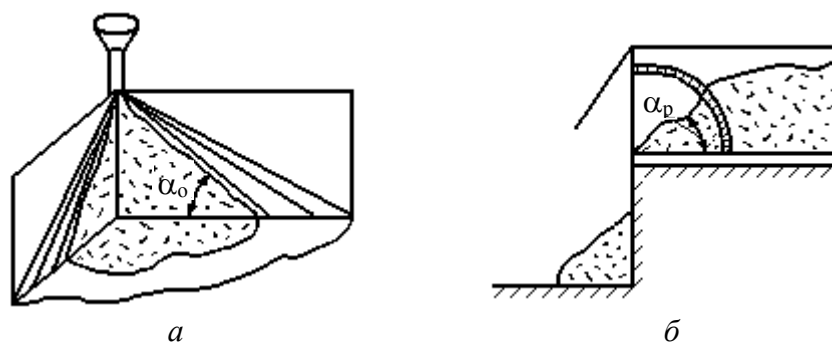


Рис. 5.2. Приспособления для определения:  
*a* – угла естественного откоса; *б* – угла обрушения

Приспособление для определения угла обрушения представляет собой коробку с откидной стенкой (рис. 5.2, б). Две боковые стенки выполнены прозрачными. Заполнив коробку материалом, откидывают стенку. Часть материала в виде треугольной призмы сползает, при этом образуется откос. Угол наклона откоса определяют по рискам на боковых стенках или транспортиром с линейкой. Наклоняя коробку до обрушения новой порции материала, можно провести на том же образце еще 1...2 замера. В момент обрушения положение коробки фиксируют и по транспортиру измеряют угол откоса.

**2. Насыпную плотность** МДП определяют, используя прибор, изображенный на рис. 5.3. Перед началом испытаний измерительный цилиндр

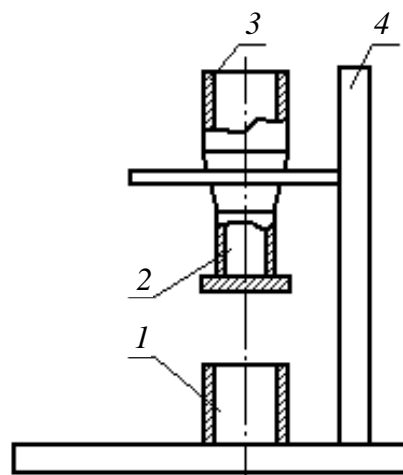


Рис. 5.3. Прибор для определения насыпной плотности пресс-композиции:  
 1 – измерительный цилиндр;  
 2 – отверстие; 3 – воронка;  
 4 – штатив

емкостью 100 см<sup>3</sup> взвешивают с точностью до 0,1 г. Воронку 3, укрепленную на штативе 4, устанавливают вертикально таким образом, чтобы ее нижнее отверстие 2 находилось над измерительным цилиндром на расстоянии 20...30 мм и было связано с ним. Затем при закрытом нижнем отверстии засыпают в воронку 100 см<sup>3</sup> пресс-материала. После этого открывают задвижку воронки и дают возможность материалу просыпаться в измерительный цилиндр. При необходимости для лучшего просыпания пресс-материал можно перемешивать палочкой. После заполнения измерительного цилиндра материал излишек его срезают ножом и наполненный цилиндр взвешивают. Насыпную плотность пресс-материала вычисляют по формуле  $\rho = G/10^{-4}$ , где  $G$  – масса пресс-материала в измерительном цилиндре, кг.

**3. Таблетуемость** пресс-композиции обуславливает возможность высокопроизводительной переработки пресс-массы в изделия. Ее определяют путем запрессовки пресс-материала в форме. Таблетуемостью является способность материала спрессовываться в таблетки под действием давления при комнатной температуре (18...20)°С. При этом из неоформленной, рыхлой пресс-массы образуется плотная таблетка определенной формы, размера и массы. В процессе таблетирования из пресс-материала удаляется воздух, что приводит к росту его теплопроводности по сравнению с нетаблетированным. Повышение теплопроводности, в свою очередь, ускоряет разогрев материала в пресс-форме, что дает возможность сократить его выдержку под давлением при изготовлении изделий. Кроме того, применение таблеток позволяет просто и сравнительно точно по количеству таблеток дозировать навеску пресс-материала перед прессованием, уменьшая размер загрузочной камеры пресс-формы.

Таблетуемость пресс-массы зависит от ее гранулометрического состава, насыпной плотности, удельного объема и содержания влаги.

Таблетирование проводят в специальной пресс-форме на настольном гидравлическом прессе при удельном давлении 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 МПа. Время прессования составляет 20...30 с. Давление прессования  $P_{пр}$ , МПа, рассчитывают по формуле

$$P_{пр} = P_{уд} F_{пр} K, \quad (5.6)$$

где  $P_{уд}$  – удельное давление прессования, МПа;  $F_{пр}$  – площадь таблетки, м<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент потерь на трение, равный 0,85.

Оценку качества таблетки производят на испытательной машине путем вдавливания на ее поверхность стального шарика диаметром

0,5 см под действием силы  $P$ . Таблетка считается качественной, если она не разрушается под действием силы  $P = 400 \dots 500$  Н.

Определяют плотность таблетки и строят график зависимости плотности от удельного давления прессования.

**4. Текучесть** пресс-композиции устанавливают, используя таблетку диаметром 5 см, объемом  $10 \text{ см}^3$ , полученную при удельном давлении 0,6 МПа.

Текучесть характеризует способность материала при определенной температуре и давлении в процессе переработки заполнять полость формы. Текучесть МДП обусловлена силами внутреннего и наружного трения, а также скоростью отверждения связующего. Внутреннее трение зависит от природы и количества наполнителя и связующего, влажности материала и других добавок. Для повышения текучести в материал вводят смазывающие вещества – стеарин, олеиновую кислоту и т. д.

Текучесть существенно зависит от содержания летучих соединений в пресс-материале. Увеличение их содержания приводит к повышению текучести в начальной стадии прессования, но при этом наблюдается ухудшение физико-механических свойств готовых изделий.

Знание текучести пресс-материала позволяет правильно выбрать режим прессования, т. е. возможность установить оптимальную температуру и давление; выбрать целесообразную конфигурацию оформляющей поверхности пресс-формы для получения изделий высокого качества.

Для определения текучести плоский образец-диск (таблетку) помещают на нижнюю плиту пресс-формы, изображенной на рис. 5.4, а затем прессуют при температуре  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \dots 1,0$  мин до прекращения движения стрелки индикатора 4. Усилие прессования составляет 15 т. Начальная скорость смыкания плит пресса – от 2 до 3 мм/с.

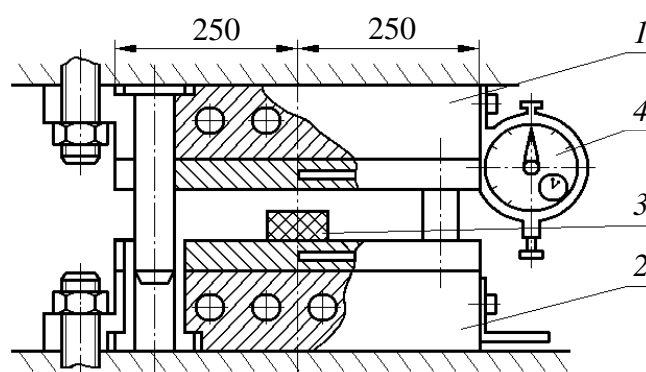


Рис. 5.4. Пресс-форма для определения текучести пресс-композиций:  
1, 2 – плиты пресс-формы; 3 – образец;  
4 – индикатор часового типа

Толщину прессованного образца определяют с погрешностью измерения не более 0,01 мм. За показатель текучести МДП  $D$ , мм, принимают приведенный диаметр прессованного образца, который вычисляют по формуле

$$D = \frac{\sqrt{V}}{0,785h} = 113\sqrt{h}, \quad (5.7)$$

где  $V$  – объем образца, равный  $10^4$  мм<sup>3</sup>;  $h$  – толщина образца после прессования, мм.

По полученным данным можно установить предел текучести. Для усилия прессования 15 т и объема образца 10 см<sup>3</sup> предел текучести, характеризующий сопротивлением сдвигу  $\tau_{сд}$ , можно рассчитать по следующей формуле:

$$\tau_{сд} = \frac{750h}{1 + \frac{0,5945}{h\sqrt{h}}}. \quad (5.8)$$

Результаты испытаний МДП заносят в таблицу и анализируют в сравнении с данными, полученными для других наполнителей.

### **Лабораторная работа № 3 ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПРЕСС-КОМПОЗИЦИЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ**

*Цель работы* – получить образцы из МДП в форме брусков размером 120×15×10 мм и дисков диаметром 50 мм, толщиной 3 мм прямым прессованием.

*Материалы и оборудование:* пресс гидравлический П-125; пресс-формы для получения бруска и диска; технические весы; масса древесная прессовочная в виде таблеток; олеиновая кислота; спецодежда.

#### **Общие сведения**

Прессование деталей и изделий из измельченной древесины проводят преимущественно методом прямого прессования (рис. 5.5). Основными технологическими факторами, определяющими режим прессования, являются: давление, температура и продолжительность прессования. Величина удельного давления прессования изделий из измельченной древесины составляет от 2,0 до 30,0 МПа и зависит



от способа и принципа прессования, сложности и плотности изделий, вида измельченной древесины, расхода связующего и влажности пресс-материала.

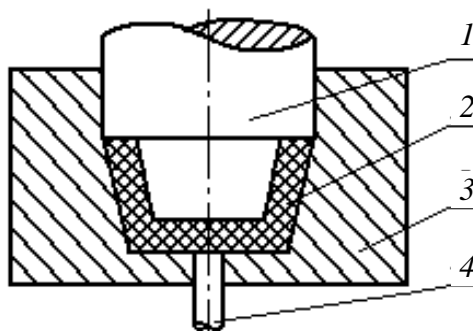


Рис. 5.5. Схема прямого прессования:  
1 – пуансон; 2 – изделие;  
3 – матрица; 4 – выталкиватель

Продолжительность прессования обусловлена толщиной и плотностью изделий, температурой прессования, временем отверждения связующего, видом обогрева пресс-формы и составляет от 0,5 до 1,0 мин на 1 мм толщины изделия.

Пресс-форма в простом случае состоит из двух частей: верхней (пуансон) и нижней (матрица). В зависимости от вида прессуемых изделий, способов их прессования и нагрева пресс-формы бывают открытого и закрытого типов, съемные и стационарные, одно- и многогнездные. Пресс-формы изготавливают из закаленной высококачественной стали. Оформирующие поверхности тщательно полируют для получения изделий с хорошим внешним видом. Обогрев пресс-форм осуществляется электрическими элементами или с помощью индукционного обогрева.

### Порядок выполнения работы

Технологический процесс прессования состоит из следующих стадий: дозировки пресс-материала (весовая, объемная); предварительного подогрева пресс-формы; загрузки пресс-материала в форму; помещения пресс-формы на нижнюю плиту пресса; смыкания пресс-формы; выдержки пресс-материала в форме; распрессовки; извлечения изделий из формы.

Дозировку пресс-материала в пресс-форму производят в соответствии с расчетами, выполненными в лабораторной работе № 2 для получения брусков и дисков. Пресс-форма на бруски позволяет

одновременно получать 4 образца. Навеску пресс-материала загружают в пресс-форму, которую закрывают и помещают между обогреваемыми плитами пресса. Перед загрузкой пресс-материала пресс-форма должна быть подогрета.

Прессование образцов ведут по режиму, который выбирают в соответствии с табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Рекомендуемые режимы прессования образцов изделий из МДП**

Наполнитель массы древесной прессовочной	Режим прессования для изделия в форме					
	бруска			диска		
	Температура, °С	Удельное давление прессования, МПа	Выдержка, мин	Температура, °С	Удельное давление прессования, МПа	Выдержка, мин
Древесные опилки	145...155	45,0	8,0	145...155	45,0	6,0
Древесная стружка	120...130	39,0	10,0	120...130	39,0	5,0
Измельченные отходы	150...160	55,0	10,0	150...160	55,0	6,0

Усилие прессования рассчитывают исходя из удельного давления прессования, площади и количества прессуемых изделий. Время выдержки исчисляют с момента подачи давления. По истечении технологической выдержки размыкают плиты пресса, достают пресс-форму, с помощью специального разъемника раскрывают ее и извлекают бруски. После каждой запрессовки производят очистку пресс-формы и смазку олеиновой кислотой, подготавливая для последующих запрессовок. С поверхности образцов удаляют заусеницы, производят их внешний осмотр. Поверхность образцов должна быть ровной, гладкой, не иметь трещин, вздутий, раковин. Отпрессованные образцы испытывают.

**Лабораторная работа № 4  
ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ МАСС ДРЕВЕСНЫХ  
ПРЕССОВОЧНЫХ**

*Цель работы* – освоить методики физико-механических испытаний изделий из МДП; определить физико-механические показатели полученных образцов.

*Материалы и оборудование:* образцы в форме бруска и диска; штангенциркуль; микрометр; маятниковый копер; испытательная машина Р-0,5; технические весы; ванна с водой (температура 20°C); прибор для измерения твердости; испытательная машина УМ.

### Общие сведения

Эксплуатационные параметры изделий из МДП характеризуются комплексом показателей, определяемых в процессе физико-механических испытаний. Вид и количество показателей должен быть достаточным для оценки качества и зависит от условий эксплуатации. В лабораторной работе предусматривается определение усадки, плотности, ударной вязкости, модуля упругости при изгибе, прочности при статическом изгибе, твердости, прочности при сжатии.

### Порядок выполнения работы

**Определение усадки.** Усадка характеризует уменьшение размеров изделия при его охлаждении от температуры переработки до комнатной. Определяется усадка как разность размеров холодной пресс-формы и отформованных, охлажденных в ней образцов, отнесенная к размерам пресс-формы и выраженная в процентах. Усадка обусловлена сжатием материала при охлаждении, которое вызывает изменение его структуры. О величине усадки материала, обусловленной его сжатием, можно судить по коэффициенту линейного расширения. Усадочные явления в ряде случаев являются нежелательными, так как могут вызывать коробление изделий. Величина усадки зависит от природы связующего и наполнителя, их соотношений в композиции, наличия летучих веществ, а также от давления и температуры переработки.

Для определения усадки используют бруски и диски, выдержанные в течение не менее 16 ч при температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $(50 \pm 5)\%$ . Усадку устанавливают по размерам пресс-формы и образца в направлении, перпендикулярном направлению прессования. Для брусков – это длина, для диска – диаметр. Размер пресс-формы определяют при температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Точность нахождения составляет 0,02 мм. Усадку  $MS$ , %, вычисляют по следующим формулам:

$$MS = \frac{(L_0 - L_1)}{L_0} 100, \quad MS = \frac{(d_0 - d_1)}{d_0} 100, \quad (5.9)$$

где  $L_0$ ,  $d_0$  – размеры оформляющих частей пресс-форм, мм;  $L_1$ ,  $d_1$  – соответственно длина и диаметр изделия, мм.

За результаты испытания принимают среднее арифметическое не менее трех параллельных определений.

**Определение плотности.** Плотность находят методом обмера и взвешивания.

Объем допускается измерять и другими методами, например по вытесненному объему жидкости. Величину плотности рассчитывают по общеизвестным соотношениям. Для определения используют бруски и диски. Линейные размеры устанавливают с точностью 0,01 мм, массу – с точностью 0,01 г.

**Определение ударной вязкости.** Ударной вязкостью называется работа удара, необходимая для разрушения образца, отнесенная к площади его поперечного сечения. Сущность метода заключается в разрушении образца, установленного на двух опорах, поперечным ударом. При этом используются образцы с надрезом и без надреза. Ударная вязкость определяется на стандартных образцах размером  $120 \times 15 \times 10$  мм и выражается в джоулях на квадратный метр ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ).

Испытания проводят на маятниковом копре, в котором испытуемый образец лежит свободно на двух опорах. Нагрузка осуществляется при помощи маятника, производящего удар по всей ширине образца. Прибор устанавливают так, чтобы при ударе маятника по образцу не было смещения. Необходимо, чтобы плоскость качания была перпендикулярна продольной оси образца, установленного на опорах, и проходила через середину пролета между ними. Размеры стандартного образца, ножа маятника и опор должны соответствовать указанным на рис. 5.6.

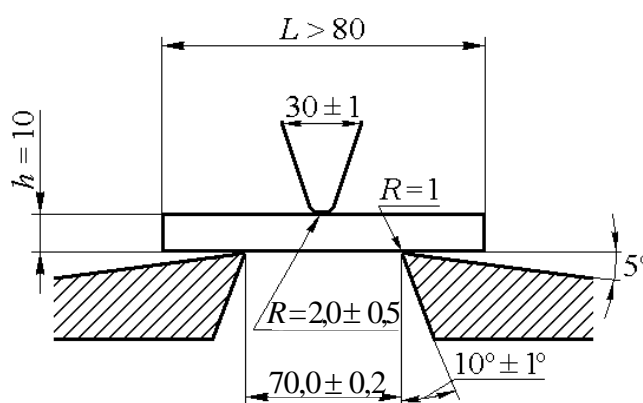


Рис. 5.6. Нож и опоры для стандартного бруска

Перед испытанием измеряют ширину и толщину образца в средней части с точностью до 0,01 мм. Замеряют угол взлета маятника на холостом ходу, при этом стрелку шкалы устанавливают в начальном положении и дают маятнику свободно падать из его верхнего положения. При правильной работе копра стрелка указателя останавливается против нулевого деления шкалы.

Испытуемый образец укладывают на опоры так, чтобы удар пришелся по его широкой стороне; при этом образец должен прилегать к стенкам опор. Затем стрелку прибора опускают вниз до совпадения с максимальным значением шкалы.

Испытание начинают с подъема маятника в верхнее исходное положение, в котором он удерживается защелкой. Затем при опущенной стрелке шкалы в нижнее крайнее положение освобождают маятник, давая ему свободно падать. После разрушения образца маятник останавливают и по шкале выполняют отсчет работы, затраченной на разрушение образца, с точностью, равной половине цены деления соответствующей шкалы копра. Удар по образцу производят только один раз; если образец при испытании не разрушился, он должен быть заменен другим.

Ударную вязкость  $a_n$ , кДж/м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$a_n = \frac{A}{bh}, \quad (5.10)$$

где  $A$  – работа, затраченная на разрушение образца, кДж;  $b$  – ширина образца, м;  $h$  – толщина образца, м.

За результат принимают среднее арифметическое всех параллельных испытаний. Характеристику разброса данных, оцениваемую по величине стандартного отклонения, рассчитывают по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - N\bar{x}^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (5.11)$$

где  $x$  – величина показателя образца;  $\bar{x}$  – величина среднего арифметического значения из результатов испытаний образцов;  $N$  – число испытанных образцов.

**Определение предела прочности при статическом изгибе.** Сущность метода заключается в кратковременном приложении нагрузки на образец, при котором определяют:

1) прочность при изгибе  $\sigma_{и}$ , МПа, как отношение изгибающего момента к моменту сопротивления поперечного сечения образца;

2) прогиб в момент разрушения как расстояние, на которое отклоняется от своего исходного положения продольная ось образца при изгибе по середине между опорами. Образцы для испытаний имеют размер  $L \times b \times h = 120 \times 15 \times 8$  мм.

На испытательной машине размещается устройство с нагружающим наконечником и опорами, которое обеспечивает возможность установки и закрепления прибора на требуемом расстоянии (рис. 5.7). Прогиб измеряют с погрешностью, не превышающей 2% от измеряемой величины. Перед испытанием в средней части длины образца измеряют его ширину с точностью не менее  $\pm 0,1$  мм и толщину с точностью не менее 0,02 мм.

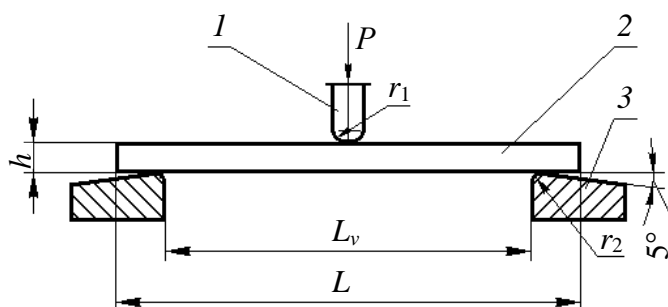


Рис. 5.7. Схема определения прочности при статическом изгибе:

1 – наконечник; 2 – образец; 3 – опоры

В зависимости от толщины образца расстояние между опорами  $L_v$ , мм, устанавливают согласно соотношению  $L_v = 16h + 0,5$ .

Образец располагают на опорах и производят плавное, без толчков, нагружение его посередине между опорами. Скорость сближения нагружающего наконечника составляет 59 мм/мин. В процессе нагружения образца измеряют нагрузку в момент его разрушения.

Прочность при изгибе  $\sigma_{и}$ , МПа, находят по следующей формуле:

$$\sigma_{и} = \frac{3PL}{2bh^2}, \quad (5.12)$$

где  $P$  – нагрузка, Н;  $b, h$  – размеры образца, м.

**Определение твердости образцов.** Твердость образцов определяют на приборе, обеспечивающем перпендикулярное вдавливание стального шарика диаметром 0,5 см в поверхность испытуемого образца с заданной основной силой (по Бринеллю). Плавное приложение основной силы за время  $(30 \pm 2)$  с осуществляется после приведения индикаторной стрелки прибора к нулевой отметке.

Основная сила  $P$  должна быть равной 490,5 Н (50 кгс); если сила в 50 кгс недостаточна, допускается применять силу 100 кгс.

Конструкция прибора исключает влияние деформации рычагов, тяг и других деталей на отсчет глубины вдавливания.

Для испытания используют бруски размером 120×15×10 мм. Испытания проводят на необработанной ровной и гладкой поверхности образца, который не должен иметь трещин, раковин, вздутий и заусениц. Допускается осуществлять испытание образцов, составленных по толщине из нескольких пластин (не менее трех).

Испытание проводят следующим образом. Испытуемый образец укладывают на стол прибора так, чтобы обеспечивалось плотное прилегание его к плите прибора и отсутствие изгибания при вдавливании шарика. Затем вращением маховика образец вводят в соприкосновение с шариком до тех пор, пока он не упрется в ограничитель, после чего индикатор, отсчитывающий величину вдавливания, устанавливают на нуль. Центр шарика при этом должен находиться от края образца на расстоянии не менее 0,5 см, а от центра соседнего отпечатка – около 1,0 см. Затем к предварительному усилию плавно в течение  $(30 \pm 2)$  с добавляют основную силу. По окончании приложения силы измеряют глубину вдавливания шарика в материал.

Глубина вдавливания шарика  $h$  к моменту истечения 60 с должна быть постоянной. Отсчет ведут с точностью не менее 0,005 см. На каждом образце выполняют не менее 2...3 испытаний.

Величину твердости  $H$ , Па, определяемую по глубине вдавливания шарика при заданной основной силе, вычисляют по формуле

$$H = \frac{P}{\pi Dh}, \quad (5.13)$$

где  $P$  – величина основной силы вдавливания, Н;  $D$  – диаметр шарика, м;  $h$  – максимальная глубина вдавливания, м.

**Испытание образцов на сжатие.** Образцы для испытания могут иметь форму цилиндра, параллелепипеда с квадратным или прямоугольным основанием. Опорные плоскости образцов должны быть параллельными в пределах допуска 0,1% от высоты образца в направлении, перпендикулярном направлению приложения нагрузки.

Для испытания используют образцы размером 150×10 мм. Поверхность их должна быть гладкой, ровной, без вздутий, сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов. Количество образцов, взятых для испытания, составляет не менее пяти.

Перед испытанием измеряют высоту, ширину, толщину образца с погрешностью не более 0,01 мм. Образец располагают на опорных площадках (рис. 5.8) таким образом, чтобы продольная ось образца совпадала с направлением действия нагрузки. Устанавливают необходимую величину скорости сближения площадок.

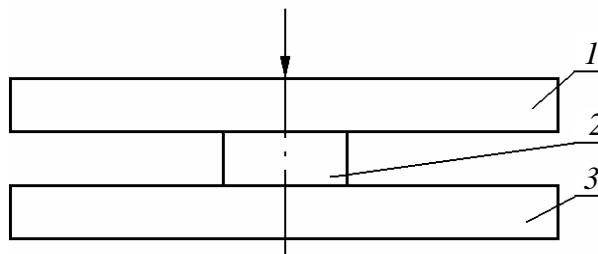


Рис. 5.8. Схема испытания образца на сжатие:  
1, 2 – площадки; 3 – образец

После выполнения подготовительных операций испытуемый образец подвергают действию возрастающей нагрузки до его разрушения. По шкале машины отсчитывают величину нагрузки в единицах килограмм-силы, при которой произошло разрушение образца.

Предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$ , Па, вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (5.14)$$

где  $P$  – разрушающее усилие, Н;  $F$  – минимальная площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

## **Лабораторная работа № 5 ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ АРБОЛИТА**

*Цель работы* – получить по двум режимам арболит заданной марки и провести его испытание.

*Материалы и оборудование:* портландцемент марки 400 или 500; хлорид кальция; древесный наполнитель двух видов; разборная форма для арболита размером 140×100×30 мм; стеклянная емкость на 2 л.

### **Общие сведения**

Арболит представляет собой легкий бетон, получаемый в результате формирования и твердения смеси, состоящий из минерального



вяжущего, заполнителей (отходов лесозаготовок, лесопиления или деревообработки), химических добавок и воды. Арболит плотностью выше  $400 \text{ кг/м}^3$  относится к трудносгораемым, ниже  $400 \text{ кг/м}^3$  – к сгораемым. Его применяют для изготовления теплоизоляционных материалов, конструкционно-теплоизоляционных изделий, эксплуатируемых в сборных и монолитных зданиях различного назначения с относительной влажностью воздуха в помещениях не более 75%. В зависимости от назначения изготавливают арболит следующих марок: 5 и 10 – для теплоизоляционных изделий и материалов; 15, 25 и 35 – для конструкционно-теплоизоляционных изделий. За марку арболита принимается прочность при сжатии контрольных кубов размером  $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ , испытанных после 28 сут выдержки.

### Порядок выполнения работы

**Изготовление арболита.** Технологический процесс получения изделий из арболита состоит из следующих операций: подготовки заполнителя (измельчение и пр.); приготовления арболитовой смеси; формирования изделий из арболита; твердения; распалубки изделий, их комплектации и отделки.

Расход материалов на изготовление  $1 \text{ м}^3$  арболита определяют исходя из данных, приведенных в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Данные для расчета рецептуры арболита

Марка арболита	Расход портландцемента марки 400, $\text{кг/м}^3$	Расход сухих древесных частиц, $\text{кг/м}^3$	Расход воды, $\text{л/м}^3$
5	290	180	330
10	310	200	360
15	330	220	390
25	360	240	430
35	390	250	460

В лабораторной работе используется готовый заполнитель (древесная стружка, опилки и др.).

Получение арболитовой смеси производят по двум вариантам, отличающимся порядком приготовления. Перед получением арболитовой смеси осуществляют сборку двух форм, согласно рис. 5.9, которые смазывают олеиновой кислотой.

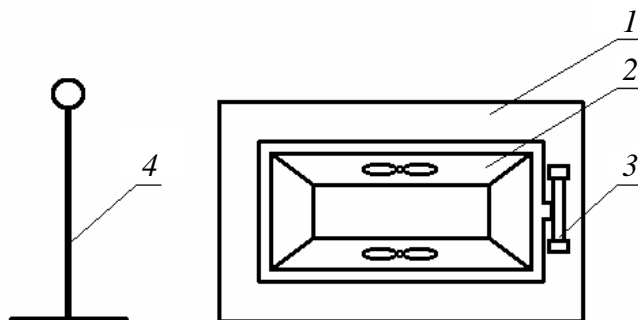


Рис. 5.9. Форма для получения арболита:  
 1 – основание; 2 – съемные стенки;  
 3 – крепежные винты; 4 – трамбовка

**1 вариант.** В емкость для смешивания загружают требуемое количество заполнителя, водный раствор минерализатора – хлорида кальция и  $\frac{1}{3}$  необходимого на замес количества воды. После перемешивания смеси в течение 2...3 мин добавляют требуемое количество вяжущего – цемента и остальное количество воды, после чего перемешивают смесь еще 1...2 мин.

**2 вариант.** Для более эффективного снижения отрицательного влияния экстрактивных веществ органического заполнителя на твердение цемента и для ускорения этого процесса используют двухстадийное перемешивание. Вначале часть цемента (примерно 15...20% общего его количества на замес), подогретого до 150...250°C, перемешивают в течение 1...2 мин с заполнителем. Затем в смесь добавляют остальную часть цемента нормальной температуры, воду, подогретую до 80°C, и водный раствор минерализатора, после этого смесь перемешивают на протяжении 2...3 мин.

Для обоих вариантов продолжительность перемешивания компонентов с момента загрузки всех материалов в емкость для смешивания до начала выгрузки смеси составляет примерно 3...5 мин. Время с момента окончания приготовления до момента укладки арболитовой смеси в форму должно быть не более 30 мин.

Укладка арболитовой смеси в форму осуществляется путем налива в форму и послойного ее уплотнения с помощью трамбовки. Распалубка изделия производится не менее чем через 24 ч после укладки арболитовой смеси в форму. Отделка арболита выполняется по дополнительному заданию преподавателя.

### **Испытание арболита.**

**1. Плотность арболита** определяют методом обмера и взвешивания (см. лабораторную работу № 4). Линейные размеры полученного

образца (сформированного изделия) устанавливают с точностью до 0,1 см, массу – с точностью до 0,1 г.

**2. Прочность при сжатии** определяют, согласно методике, приведенной в лабораторной работе № 4. При этом образцы вырезают в соответствии с рис. 5.10.

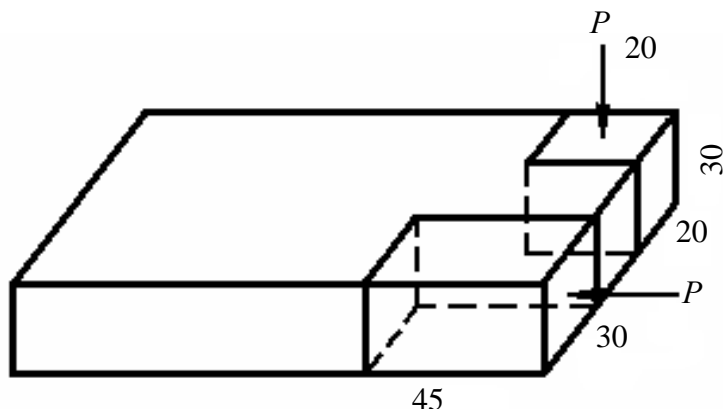


Рис. 5.10. Схема получения образцов для испытаний:  
 $P$  – направление приложения разрушающего усилия при испытании

Для испытаний берут не менее трех образцов каждого размера. Результаты испытаний оформляют в виде таблицы и анализируют в сравнении с данными, полученными другими студентами.

## Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ

*Цель работы* – определить эффективность пропитки древесины терморезактивными олигомерами.

*Материалы и оборудование:* карбамидо- и фенолоформальдегидная смолы; образцы березы размером 120×15×10 мм; ванны для пропитки образцов; маятниковый копер; штангенциркуль; аналитические весы; испытательная машина Р-0,5; вискозиметр ВЗ-4; микроскоп МБИ-11.

### Общие сведения

Пропитка древесины является достаточно действенным способом повышения ее биостойкости, физико-механических показателей, термо-,

водо- и влагостойкости. Эффективность пропитки определяется природой и реологическими свойствами вещества, используемого для пропитки, морфологическим строением древесины.

Известен ряд способов пропитки, отличающихся техникой проведения процесса и свойствами получаемых образцов. В промышленных масштабах наиболее часто применяется пропитка в вакууме, либо под давлением. В лабораторных условиях пропитку ведут при нормальных условиях, используя способ горячехолодных ванн. По этому способу древесину сначала прогревают в горячей ванне, при этом находящийся в капиллярно-пористой системе воздух расширяется и частично выходит наружу. Затем древесину помещают в ванну с холодным пропиточным составом; оставшийся внутри древесины воздух уменьшается в объеме, создавая внутри нее вакуум, который заполняется раствором смолы. Способом горячехолодных ванн хорошо пропитываются только древесины с небольшой влажностью (до 10%). Для пропитки же древесины с повышенной влажностью применяется ускоренный высокотемпературный способ, в котором чередуются горячая (до 160°C) и холодная (80°C) ванны.

В лабораторной работе методом горячехолодных ванн пропитывают образцы из древесины березы влажностью не более 10%.

### **Порядок выполнения работы**

**Подготовка пропиточных составов и образцов.** Для пропитки используют водные растворы карбамидо- и фенолоформальдегидной смол. Перед пропиткой смолу разбавляют до концентрации 10...12% и измеряют вязкость полученного раствора по вискозиметру ВЗ-4. Разбавление до требуемой концентрации смолы для горячей ванны производят водой с температурой 80°C. Объем раствора смолы составляет 200 мл. Приготовленный раствор помещают в пропиточную ванну, которую устанавливают на водяной бане.

Если образцы древесины, подвергаемые пропитке, имеют высокую (более 10%) влажность, то их подсушивают в сушильном шкафу при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Перед пропиткой определяют массу образцов с точностью до 0,01 г и измеряют их линейные размеры с точностью до 0,01 мм. При выполнении лабораторной работы получают 9 образцов.

**Пропитка.** Пропитку образцов проводят методом горячехолодных ванн. Для этого образцы, подготовленные для пропитки (3 образца для каждого состава), помещают в горячую ванну

и выдерживают в течение 1 ч (температура пропиточного состава 80°C). Затем с помощью захватов их переносят в холодную ванну с температурой 20°C, где выдерживают на протяжении 1 ч.

После окончания пропитки образцы извлекают из ванны, шпателем удаляют избыток пропиточного состава с боковых граней и торцов и помещают в сушильный шкаф, где выдерживают при температуре  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$  не менее 1 ч. Затем их охлаждают в эксикаторе и подвергают испытаниям.

**Испытание образцов.** Степень пропитки  $C$ , %, определяют путем сравнения массы образцов до ( $m_1$ ) и после ( $m_2$ ) пропитки и рассчитывают по формуле

$$C = \frac{(m_2 - m_1)100}{m_1}. \quad (5.15)$$

Глубину пропитки образцов находят путем исследования срезов, полученных, как показано на рис. 5.11.

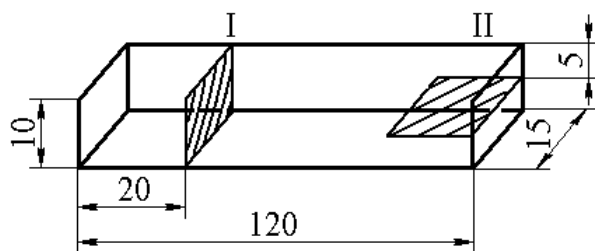


Рис. 5.11. Схема расположения срезов для определения глубины пропитки: I — поперек волокон; II — вдоль волокон

Исследование срезов проводят с помощью микроскопов с микрометрической шкалой. При этом определяют максимальную глубину проникновения пропиточного состава  $X$ , мм, и по полученным данным рассчитывают кажущуюся скорость  $V$ , м/мин, капиллярного движения жидкости в поперечном и продольном направлениях:

$$V = \frac{X}{120}. \quad (5.16)$$

Для пропитанных образцов проводят испытания с определением плотности, прочности при изгибе, твердости, ударной вязкости (порядок проведения испытаний описан в лабораторной работе № 4). Аналогичным испытаниям подвергают и непропитанные образцы.

Результаты испытаний оформляют в виде таблицы.

## Статистическая обработка результатов, полученных при выполнении лабораторных работ

Результаты анализов и определений являются приближенными числами. Цель статистической обработки – нахождение наиболее вероятного значения определяемой величины. В табл. 5.3 приведены основные показатели, позволяющие установить точность, правильность и воспроизводимость проводимых наблюдений.

Таблица 5.3

**Основные показатели статистической обработки**

Показатель	Обозначение	Формула для вычислений
Среднее арифметическое	$\bar{x}$	$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n}$
Дисперсия	$S^2$	$S^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$
Среднее квадратическое отклонение	$S$	$S = \sqrt{S^2}$
Средняя квадратическая ошибка среднего арифметического	$S_{\bar{x}}$	$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$
Показатель точности прямого измерения	$\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\alpha = t_{\alpha, k} S_{\bar{x}}$
Вероятнейшая относительная ошибка	$Q$	$Q = \frac{t_{\alpha, k} S_{\bar{x}}}{\bar{x} \sqrt{n}}$
Доверительный интервал (интервальное значение измеряемой величины)	$a$	$a = \bar{x} \pm \varepsilon_\alpha$
Стандартное отклонение для генеральной совокупности	$\sigma$	$\sigma = S \pm \delta_\alpha; S - \delta_\alpha < \sigma < S + \delta_\alpha$
Коэффициент вариации (изменчивости)	$v$	$v = \frac{S \cdot 10^2}{\bar{x}}$

*Примечание.*  $n$  – число измерений, определений;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – результаты отдельных измерений.

Значение коэффициента нормированных отклонений  $t_{\alpha, k}$  зависит от доверительной вероятности  $\alpha$  и числа степеней свободы  $n - 1$ , равного  $K$ . Для значения  $\alpha$ , равного 0,95, чаще всего используемого в практической работе, значение  $t_{\alpha, k}$  определяется из табл. 5.4.

Точность стандартного отклонения  $\delta_\alpha$  находится по формуле

$$\delta_\alpha = g_{\alpha, k} S. \quad (5.17)$$

Множитель  $g_{\alpha, k}$ , зависящий от  $\alpha$  и  $K$ , для описанных выше условий определяется по табл. 5.4.

Таблица 5.4

**Зависимость значений коэффициентов нормированных отклонений от числа степеней свободы**

$K$	$t_{\alpha, k}$	$g_{\alpha, k}$	$K$	$t_{\alpha, k}$	$g_{\alpha, k}$	$K$	$t_{\alpha, k}$	$g_{\alpha, k}$
1	12,706	14,947	6	2,447	0,915	20	2,088	0,353
2	4,303	3,145	7	2,365	0,797	25	2,060	0,318
3	3,182	1,914	8	2,306	0,711	30	2,042	0,276
4	2,776	1,572	9	2,262	0,645	40	2,021	0,234
5	2,571	1,091	10	2,228	0,593	60	2,000	0,186

Для результатов испытаний МДП, арболита и пропитанных древесных материалов (лабораторные работы № 2, 4, 5, 6) достаточно определить значения  $\bar{x}$ ,  $\bar{x} \pm \varepsilon_\alpha$ ,  $\bar{x} + a$ ,  $\sigma$ . При установлении средних размеров (лабораторная работа № 1) дополнительно рассчитываются вариационные коэффициенты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ветошкин, Ю. И. Разработка конструкций и технологических процессов изготовления изделий из древесины: учеб. пособие / Ю. И. Ветошкин. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1994. – 80 с.
2. Вигдорович, А. И. Древесные композиционные материалы в машиностроении: справочник / А. И. Вигдорович, Г. В. Сагалаев, А. А. Поздняков. – М.: Машиностроение, 1991. – 233 с.
3. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
4. Гарасевич, Г. И. Формирование изделий из древесно-клеевых композиций / Г. И. Гарасевич, А. А. Семеновский. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 135 с.
5. Гомонай, М. В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технология, режимы работы: учеб. пособие / М. В. Гомонай. – М.: МГУЛ, 2006. – 68 с.
6. Кондратьев, В. П. Синтетические клеи для древесных материалов / В. П. Кондратьев, В. И. Кондращенко. – М.: Научный мир, 2004. – 520 с.
7. Мельникова, Л. В. Технология композиционных материалов из древесины: учеб. / Л. В. Мельникова. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 234 с.
8. Мурзин, В. С. Технология композиционных материалов и изделий: учеб. пособие / В. С. Мурзин. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1999. – 106 с.
9. Справочник по производству и применению арболита / П. И. Крутов [и др.]; под общ. ред. И. Х. Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
10. Щербаков, А. С. Технология композиционных древесных материалов / А. С. Щербаков, И. А. Гамова, А. В. Мельникова. – М.: Экология, 1992. – 190 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Классификация древесных композиционных материалов .....	4
2. Технология композиционных материалов из древесных частиц и минеральных вяжущих .....	8
2.1. Виды и свойства минеральных вяжущих и химических добавок .....	8
2.1.1. Воздушные вяжущие вещества.....	8
2.1.2. Гидравлические вяжущие вещества .....	13
2.1.3. Химические добавки.....	20
2.1.4. Механизм образования древесно-минеральных материалов на основе портландцемента.....	20
2.2. Получение основных видов древесных композиционных материалов на основе минеральных вяжущих и их свойства.....	21
2.2.1. Цементно-стружечные плиты .....	21
2.2.2. Арболит.....	34
2.2.3. Плиты на каустическом магнезите .....	45
2.2.4. Фибролит.....	50
2.2.5. Другие виды строительных материалов на минеральном вяжущем .....	53
3. Технология древесно-полимерных материалов и изделий из измельченной древесины .....	67
3.1. Основные виды древесно-полимерных материалов .....	67
3.2. Основные виды масс древесных прессовочных.....	68
3.3. Виды древесных наполнителей, синтетических связующих, модифицирующих добавок .....	69
3.3.1. Измельченная древесина как исходное сырье для получения масс древесных прессовочных .....	69
3.3.2. Синтетические связующие.....	70
3.3.3. Химические добавки.....	75
3.4. Основные операции технологического процесса получения масс древесных прессовочных .....	76
3.5. Технологические схемы изготовления масс древесных прессовочных.....	82

3.6. Технологические схемы изготовления древесно-клеевых композиций и изделий из них .....	85
3.7. Изготовление древесно-полимерных материалов в виде изделий из масс древесных прессовочных .....	89
3.7.1. Теоретические основы формирования изделий .....	89
3.7.2. Свойства масс древесных прессовочных, характеризующие их способность заполнять пресс-форму ..	93
3.7.3. Физические явления, протекающие в пресс-форме при получении изделий .....	96
3.8. Прессование масс древесных прессовочных в пресс-формах одностороннего и двустороннего действия.....	99
3.9. Усилия прессования, упругого восстановления и бокового давления при прессовании изделий .....	104
3.10. Способы производства формованных изделий.....	106
3.10.1. Классификация способов формования изделий ....	106
3.10.2. Технологические и конструктивные требования к изделиям из масс древесных прессовочных.....	115
3.10.3. Основы расчета деталей на прочность .....	127
4. Получение прессованных материалов без применения связующих веществ.....	132
4.1. Брикетирование измельченной древесины.....	132
4.1.1. Общие сведения .....	132
4.1.2. Технология брикетирования опилок.....	133
4.1.3. Особенности технологии брикетирования коры.....	138
4.1.4. Влияние технологических факторов на свойства брикетов.....	139
4.2. Получение пластиков из измельченной древесины без применения связующих веществ.....	143
4.2.1. Общие сведения .....	143
4.2.2. Одностадийный способ получения пьезотермопластиков .....	145
4.2.3. Получение пластиков из гидролизированных опилок .....	147
4.2.4. Лигноуглеводные древесные пластики .....	148
5. Лабораторные работы .....	151
Лабораторная работа № 1. Определение характеристик древесного наполнителя .....	151

Лабораторная работа № 2. Получение и испытание масс древесных прессовочных .....	153
Лабораторная работа № 3. Получение образцов из пресс- композиций методом прессования.....	159
Лабораторная работа № 4. Испытание образцов из масс древесных прессовочных .....	161
Лабораторная работа № 5. Получение и испытание арболита	167
Лабораторная работа № 6. Определение эффективности пропитки древесины.....	170
Статистическая обработка результатов, полученных при выполнении лабораторных работ .....	173
Литература .....	175