

Кирилина Анна Васильевна

**ТЕХНОЛОГИЯ ДЕКОРАТИВНОЙ ОТДЕЛКИ ПОВЕРХНОСТИ
ДРЕВЕСИНЫ ХОЛОДНЫМ ТИСНЕНИЕМ**

05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2017

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: **Ветошкин Юрий Иванович**
кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры механической обработки древесины и производственной безопасности

Официальные оппоненты: **Бирман Алексей Романович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова», профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств

Рублева Ольга Анатольевна
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», доцент кафедры машин и технологии деревообработки

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (ФГБОУ ВО БГИТУ)

Защита диссертации состоится «12» октября 2017 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 на базе ФГБОУ ВО Уральского государственного лесотехнического университета по адресу: 620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» <http://www.usfeu.ru>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент

Шишкина Елена Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности достаточно часто прибегают к художественно-декоративной отделке поверхности деталей мебели, интерьера или экстерьера. Нанесение различных декоров на поверхность изделия придает им дополнительную ценность и повышает эстетические качества. Существующие технологии художественно-декоративной отделки весьма разнообразны, большинство которых заключаются во внедрении в древесину пуансонов, штампов, фрез, пресс-форм и др. Нагружение древесины может привести к разрушению наружных слоев, к необратимым деформациям, что снижает качество изделия.

Как правило, древесина – упруго-вязко-пластичный материал, который поддается деформации во время нагружения и восстановлению деформируемых клеток после снятия нагрузки. Таким образом, на поверхности древесины можно формировать разнообразные рельефные отпечатки, сохраняя при этом целостность волокон.

В настоящее время правительство Российской Федерации нацеливает предприятия на сокращение потребления энергозатрат путем внедрения в производство различных технологий. Так же мебельные предприятия, столярные мастерские стремятся к экономичным и более простым в эксплуатации решениям для производства своей продукции, но остаются требовательными к высокому качеству декоративной отделки, так как от полученного результата зависят эксплуатационные характеристики, стоимость изделия и т.д.

Таким образом, разработка художественно-декоративного способа отделки является весьма актуальной, что позволяет снизить деформации внутри детали во время нагружения, сохранить текстуру и структуру древесины, повысить качество художественно-декоративной отделки, уменьшить энергопотребление и временной фактор при нанесении декора.

Степень разработанности темы исследования заключается в следующем. Установлено, что разработкой и исследованием художественно-декоративных способов отделки с имитацией объемных изображений, мнимых узоров занимались Ветошкин Ю.И., Газеев М.В., Короленко В.Г., Постнов В.И. и др. Разработкой технологии по формированию рельефных отпечатков на поверхности древесины занимались Кожинов Ю.В., Буев А.Р., Берзиньш Г.В., Гипслис М.П. и др.

Существующие способы тиснения древесины основываются на термопрессовании. В некоторых случаях с применением различных растворов для обработки древесины.

В наше время деревообрабатывающие предприятия направлены на совершенствование и развитие устоявшихся способов художественно-декоративной отделки. Разработка техники холодного тиснения поверхности деталей древесины является новым видом декорирования с применением упрощенной технологии существующего способа тиснения. Художественно-

декоративный способ отделки холодным тиснением является перспективным, экономически эффективным и обеспечивает требуемое качество изделия.

Полученные результаты апробированы на деревообрабатывающих предприятиях для формирования рельефных оттисков на поверхности деталей предметов интерьера.

Цель работы. Повышение эффективности декоративной отделки древесины.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Разработать технологию художественно-декоративной отделки холодным тиснением поверхности древесины на основе экспериментальных исследований;

2. Установить теоретическую оценку и эффективность технологических факторов холодного тиснения древесины;

3. Исследовать изменения высоты и формы рельефного оттиска на поверхности детали древесины с учетом временного фактора;

4. Определить экономическую эффективность художественно-декоративного способа отделки холодным тиснением;

5. Апробировать результаты теоретических и экспериментальных исследований по формированию рельефного оттиска на поверхности деталей из древесины лиственных пород.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Разработана технология художественно-декоративной отделки холодным тиснением, результат которой основывается на разнообразных рельефных узорах, выполненных на поверхности деталей из древесины.

2. Экспериментально установлен и теоретически обоснован рациональный режим холодного прессования для формирования декора с максимальной высотой рельефа, после восстановления волокон, на разных лиственных породах древесины.

3. Установлена математическая модель параметров прессования, при которой получены оптимальные значения для деформации и восстановления клеток древесины.

4. Разработанная технология художественно-декоративной отделки холодным тиснением снижает напряжение, деформации внутри детали, что исключает возможные дефекты (сколы, трещины, разрыв волокон и др.) на поверхности детали.

Практическая значимость работы. Разработана технология формирования рельефных оттисков на поверхности деталей из цельной древесины лиственных пород. На предложенный способ холодного тиснения получен патент на изобретение № 2529385 «Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины».

Методология. Методика исследований включает теоретическое построение технологического процесса с получением математической модели художественно-декоративной отделки, численных расчетов режима прессования и параметров процесса, с последующим проведением

экспериментальных исследований, производственных испытаний и апробации технологии холодного тиснения поверхности детали из древесины лиственных пород.

Методы исследования. При выполнении работы применялись современные методы для исследования (компьютерное моделирование, электронная микроскопия и т.д.) и стандартные методики по ГОСТам, литературным источникам и справочникам.

Научные положения, выносимые на защиту, заключаются в следующем:

1. Применение рационального режима прессования исключает возможное разрушение клеток древесины, так как вертикальное нагружение сопоставимо с силой упругости клеточных стенок.

2. В процессе нагружения деформационное и напряженное состояние древесины подобны, что приводит к постепенному и равномерному смятию клеток от наружных к внутренним слоям.

3. При постепенном нагружении возникающие напряжения в стенке клетки и её полости равны, что приводит к равнозначной деформации всей клетки.

4. В процессе формирования рельефных оттисков на поверхности детали древесины лиственных пород методом холодного тиснения снижается энерго- и трудоемкость процесса.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Так же обеспечиваются корректными допущениями при замене реальных процессов расчетными схемами и их математическими моделями; современными средствами научного исследования, включая физико-механические процессы, связанные с деформированием; оценкой адекватности разработанных моделей технологических процессов; положительными результатами промышленной апробации и общими итогами выпуска опытных образцов продукции.

Апробация работы. Результаты работы докладывались, обсуждались и получили положительные оценки на X Всероссийской научно-технической конференции «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2014); на XII Всероссийской научно-технической конференции «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2016); на Уральской экологической выставке-ярмарке «Дерево + Дом. Коттедж. Дача» (Екатеринбург, 2016); на программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2014» и в III Международном конкурсе научно-исследовательских работ «Перспективы науки - 2016» (победитель конкурсов).

Результаты исследований апробированы на предприятиях ООО «Архитектурно-столярная студия» (г. Екатеринбург), ООО «Артель ТМ» (Свердловская область, г. Реж).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 2 статьи в изданиях рекомендованных ВАК, 1 патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, списка литературы и приложения. Текстовая часть работы,

включая рисунки и таблицы, изложена на 158 страницах и содержит 95 рисунков, 34 таблицы. Список использованной литературы насчитывает 72 наименования. Приложение состоит из 36 страниц и включает 6 таблиц, 2 акта промышленной апробации, патент на изобретение № 2529385 «Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины» и дипломы победителя программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК – 2014») и III Международного конкурса научно-исследовательских работ «Перспективы науки - 2016».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована тема исследования, сформулированы цель и задачи исследований, научные положения, выносимые на защиту. Обозначена научная новизна работы, значимость её результатов для науки и практического применения. Указаны данные о месте проведения и апробации работы, внедрение результатов в деревообрабатывающую промышленность, а так же объем и структура диссертационной работы.

Первая глава посвящается обзору научно-технической литературы. По источникам, которой приводятся общие сведения о строении древесной клетки и её физико-механических свойствах. Рассмотрены способы художественно-декоративной отделки поверхности детали из древесины путем тиснения и технология их производства.

На основании работ Иванова Ю.М., Перельгина Л. М., Леонтьева Н.Я., Хухрянского П.П., Уголева Г.Н. и др., в которых раскрыты вопросы прочности и деформативности древесины, установлено, что древесная клетка под действием внешних факторов может формоизменяться и восстанавливаться после снятия нагрузки.

Путем теоретических исследований, проведенных ведущими специалистами в области деревообработки и художественно-декоративной отделки древесины, определено, что тиснение деталей из древесины осуществляется термопрессованием. Это приводит к возникновению высоких деформаций внутри образца и возможным дефектам, к изменению цвета на поверхности детали и т.д.

Таким образом, разработка способа художественно-декоративной отделки без термопрессования с формированием рельефного оттиска на поверхности детали из древесины является актуальной задачей, требующей теоретических и экспериментальных исследований.

Во второй главе рассмотрены теоретические процессы деформируемых свойств древесины во время формирования рельефных оттисков на поверхности детали методом тиснения.

Формирование рельефных оттисков на поверхности древесины достаточно сложный физико-механический процесс. Это связано с тем, что во время прессования внутри детали возникают деформации и напряжение, которые

зависят от геометрических факторов (формы пуансона и т.д.) и от технологических факторов (температуры, давления и т.д.).

При нагружении возникшие деформации можно разделить на три вида: мгновенные упругие, упруго-вязкие и пластичные или остаточные (рисунок 1). Первые два вида деформаций являются обратимыми, после снятия нагрузки. Пластичные деформации сохраняются.

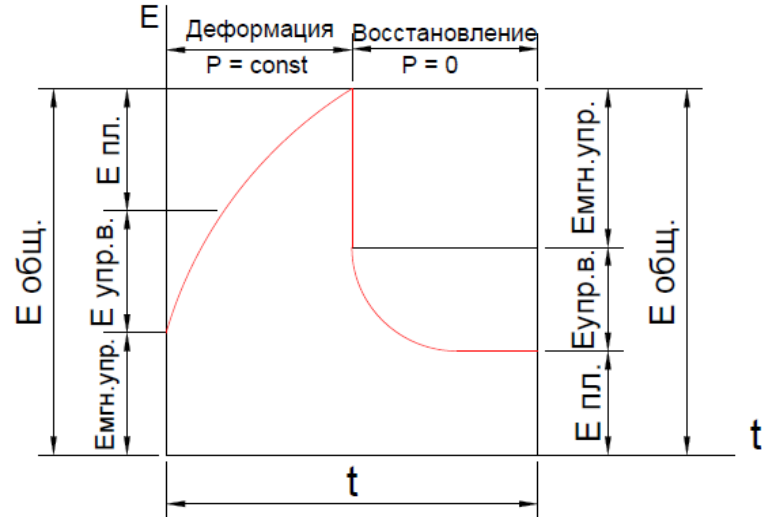


Рисунок 1 – Диаграмма деформаций при нагружении и разгрузке древесины

Для анализа, древесины, как упруго-вязко-пластичного материала, который имеет своеобразное анатомическое строение, проведены исследования на электронном микроскопе JSM-6390. Древесина состоит из клеток, которые связаны между собой и образуют общую пористую структуру (рисунок 2).

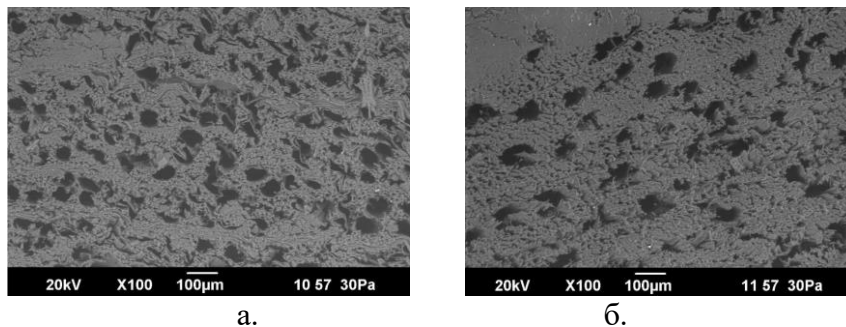


Рисунок 2 – Клетки древесины под электронным микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

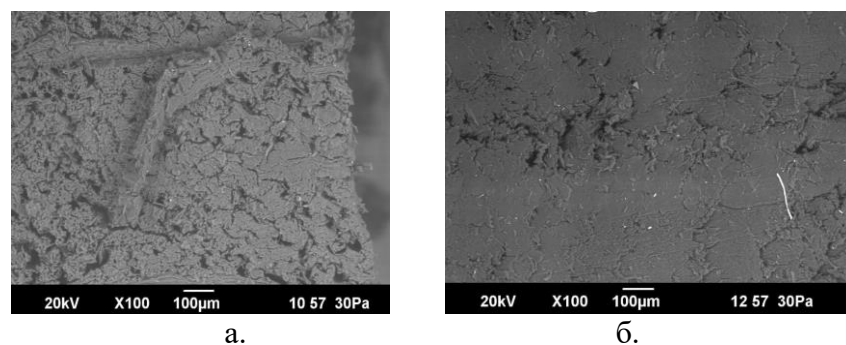


Рисунок 3 – Смятые клетки древесины после нагружения под электронным микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

При плавном нагружении происходит смятие клеточных стенок (рисунок 3). После внедрения пуансона в древесину, клетки будут находиться в деформируемом состоянии до момента восстановления.

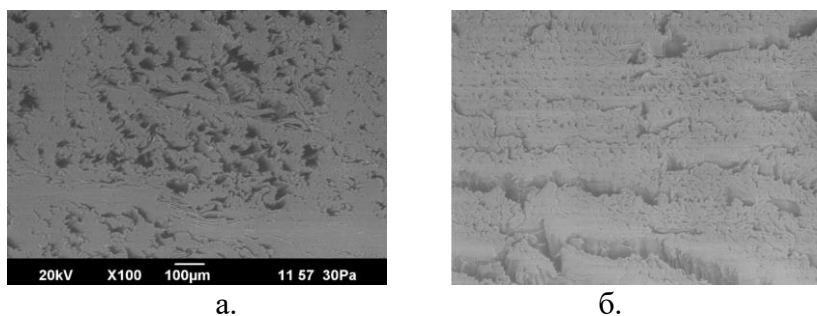


Рисунок 4 – Восстановленные клетки древесины под электронным микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

Учитывая гигроскопичность древесины, деформируемые древесные клетки обильно поглощают влагу, тем самым стремятся снять напряжение и деформацию и восстановить первоначальную форму (рисунок 4). Насыщаясь влагой, смятые клетки восстанавливаются в среднем на 60-70% относительно глубины прессования. Восстановленные клетки древесины в период сушки отдают лишнюю влагу, что приводит к изменению линейных размеров сформированного рельефного оттиска. Усушка в среднем составляет 15% от максимальной высоты восстановленных волокон древесины относительно поверхности, что не влияет на общий рельеф.

Для анализа процесса тиснения древесины рассмотрим распределение напряжений внутри клетки, возникающих при действии сосредоточенной силы на упругое полупространство, которое найдем из решения соответствующей задачи теории упругости (задачи Буссинеска).

Сила P перпендикулярна граничной плоскости (рисунок 5). Начало координат взято в точке приложения силы. Задача осесимметрична. Напряжения, действующие в точке с координатами r, z , равны:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -\frac{3 P z^3}{2 \pi l^5}; & \sigma_r &= -\frac{P}{2 \pi} \left(\frac{1-2 \mu}{l(l+z)} - \frac{3 r^2 z}{l^5} \right); \\ \sigma_\theta &= -\frac{(1-2 \mu) P}{2 \pi} \left(\frac{z}{l^3} - \frac{1}{l(l+z)} \right); & \tau_{rz} &= -\frac{3 P z^2 r}{2 \pi l^5}. \end{aligned} \quad (1)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

$l = \sqrt{r^2 + z^2}$ – радиус – вектор точки.

Полное (главное) напряжение совпадает по направлению с радиус-вектором точки и равно:

$$p = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_z^2} = -3P \cos^2 \theta / (2\pi l^2) \quad (2)$$

Найденные напряжения, являются нагрузками, действующие на клетку древесины во время прессования.

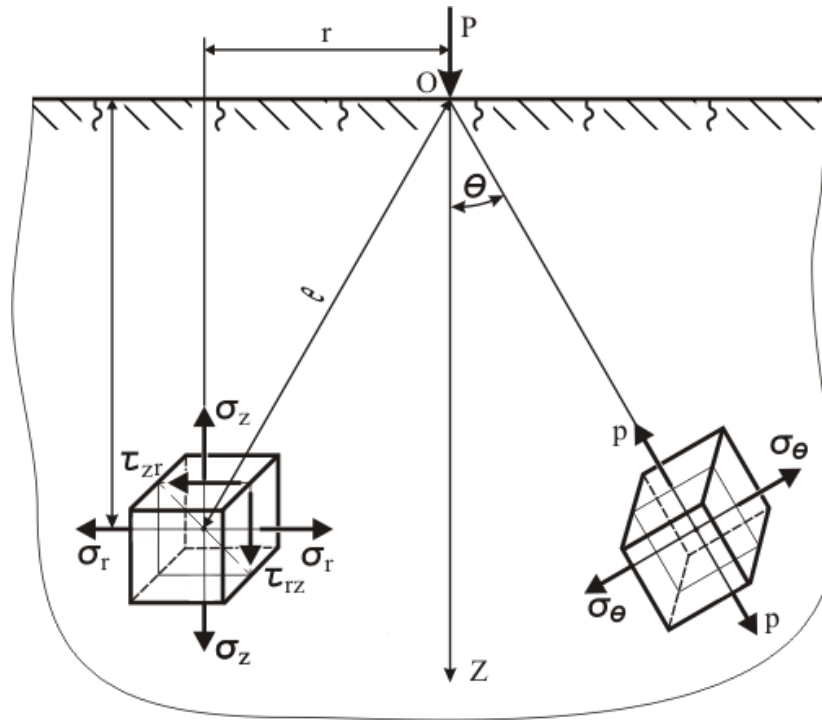


Рисунок 5 - Напряжения в плоскости, проходящей через ось OZ , при действии сосредоточенной силы на полупространство: справа – напряжения в цилиндрической системе координат; слева – главные напряжения

Предположим, что клетка древесины является параллелепипедом, сечение у которой состоит в виде рамы прямоугольной формы, и на которую действует равномерно распределённая нагрузка. Примем условные размеры клетки для ранней и поздней древесины. Рассмотрим деформацию клетки под действием напряжений, возникших внутри древесины под действием силы P . Установлено, что рама внутренне трижды статически неопределима и симметрична. Определим значения коэффициентов системы канонических уравнений для каждого единичного момента δ_{ij} , силовые факторы $X_{1...n}$, значения коэффициентов системы канонических уравнений для грузового момента Δ_i , вертикальное перемещение y_0 точки 0 при давлении $p_0 = 1$ МПа и построим эпюры изгибающих и грузовых моментов (рисунок 6, 7). Для вычислений воспользуемся интегралом Мора:

$$\delta_{ij} = \left(\sum_{k=1}^5 \int_0^{l_k} \overline{M}_{ik}(s_k) \overline{M}_{jk}(s_k) ds_k \right) / (EJ). \quad (3)$$

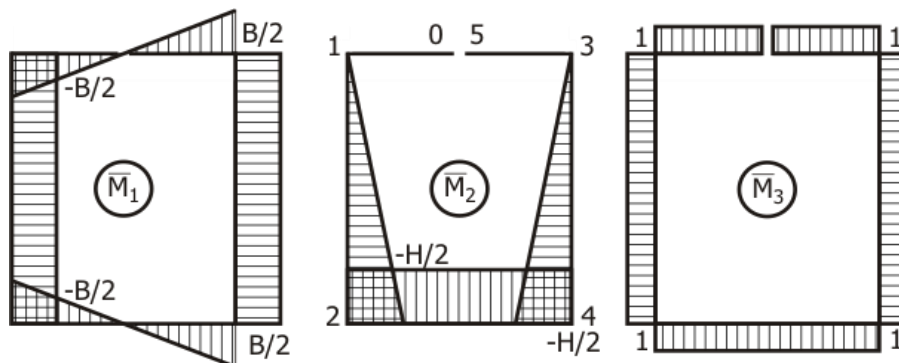


Рисунок 6 – Эпюры единичных изгибающих моментов

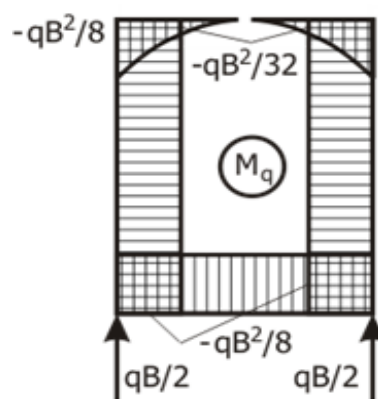


Рисунок 7 – Эпюра грузового момента

Результаты вычислений эпюр найденных значений при модуле упругости клеточной стенки $E = 4 \cdot 10^{10}$ Па и давлении $p_0 = 1$ МПа сведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты вычисления

№	δ_{ij}	$X_{1...n}, Н$	Δ_i	$y_0, мм$
1	$\delta_{11} = 2,76 \cdot 10^{-11}$	$X_1 = 0$	$\Delta_1 = 0$	$0,443 \cdot 10^{-2}$
	$\delta_{12} = 0$			
	$\delta_{13} = 0$			
2	$\delta_{21} = 0$	$X_2 = -1,489 \cdot 10^{-7}$	$\Delta_2 = 4,08 \cdot 10^{-16}$	
	$\delta_{22} = 1,056 \cdot 10^{-10}$			
	$\delta_{23} = -3,11 \cdot 10^{-6}$			
3	$\delta_{31} = 0$	$X_3 = 8,321 \cdot 10^{-7}$	$\Delta_3 = -1,67 \cdot 10^{-11}$	
	$\delta_{32} = -3,11 \cdot 10^{-6}$			
	$\delta_{33} = 1,48$			

Теоретические исследования позволяют заключить следующее:

1. Деформация и напряжение при прессовании влияют на механические свойства материала и на рельефный узор;
2. Древесина, как реологическая модель, способна восстанавливаться после снятия нагрузки под действием внешних факторов и внутренних свойств;
3. Изменение линейных размеров полученного рельефа в процессе сушки не влияет на основную форму оттиска, так как величина изменения высоты рельефа достаточно мала;
4. Вертикальное нагружение сопоставимо с толщиной клеточной стенки, что приводит к плавному деформированию и восстановлению форморазмера.

В третьей главе приведены общие методические положения при проведении экспериментальных исследований и обработки их результатов, представлены характеристики используемых материалов, применяемого оборудования и приборов.

Исследование технологических характеристик осуществляется при формировании рельефного оттиска на поверхности образцов из древесины липы размером 160x110x18 мм, относительной влажностью $8 \pm 2\%$.

Проведенное поисковое экспериментальное исследование исполнялось по следующему технологическому процессу (рисунок 8):

1. Подготовка образца и оборудования;
2. Формирование «пакета» для прессования;
3. Прессование;
4. Фрезерование рельефа;
5. Увлажнение (обработка водным раствором);
6. Сушка;
7. Формирование защитно-декоративного покрытия (ЗДП).

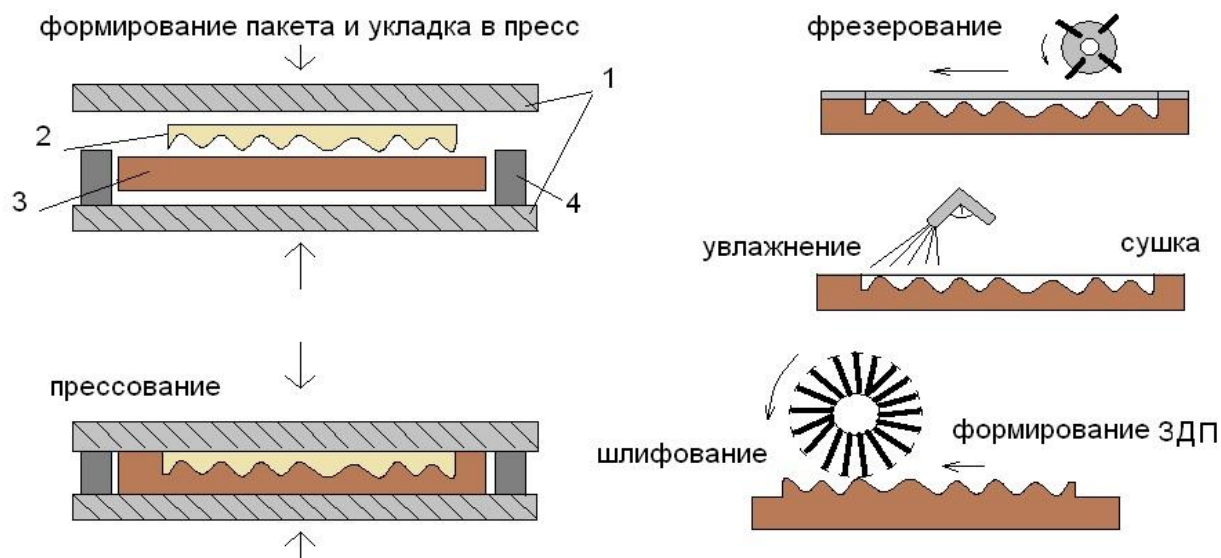


Рисунок 8 – Схема технологического процесса формирования рельефного оттиска на поверхности детали из древесины: 1 – плиты пресса; 2 – пуансон; 3 – заготовленная деталь из древесины; 4 – стальные пластины

Сформированный «пакет» помещают в пролет пресса. Прессование проходит в холодном прессе. Пуансон вдавливают в деталь из древесины на заданную глубину. После чего, снимают слой древесины на глубину уплотнённых волокон до гладкой, ровной поверхности. Затем поверхность с полученным мнимым узором обильно увлажняют (наносят воду). Деформируемые клетки древесины, насыщаясь влагой, восстанавливают свою форму, создавая тем самым на поверхности образца рельефный оттиск. Деталь с рельефным оттиском сушат в проветриваемом помещении при комнатной температуре 20 – 25°C в течение суток. После сушки наносят защитно-декоративное покрытие.

Разработанная технология тиснения является действенным способом художественно-декоративной отделки поверхностей древесины. Последующие исследования необходимы для разработки рационального режима прессования древесины, обоснования эффективных параметров пуансонов, обеспечения выпуска декора с нужными эксплуатационными свойствами.

В четвертой главе выявлен экспериментальным путем рациональный режим прессования, который формирует на поверхности детали из древесины рельефные оттиски с максимальной высотой рельефа.

Для проведения экспериментального исследования применяли образцы из древесины липы размером 160x100x16 мм, относительной влажностью $8 \pm 2\%$, с

тангенциальным и радиальным направлениями волокон. Технические характеристики режима прессования применяли следующие:

- время прессования: 0... 4 мин с градацией 2 мин;
- глубина прессования: 0,5... 2,5 мм с градацией 0,5 мм;
- диаметр сечения пуансона: 2...5 мм с градацией 1,5 мм.

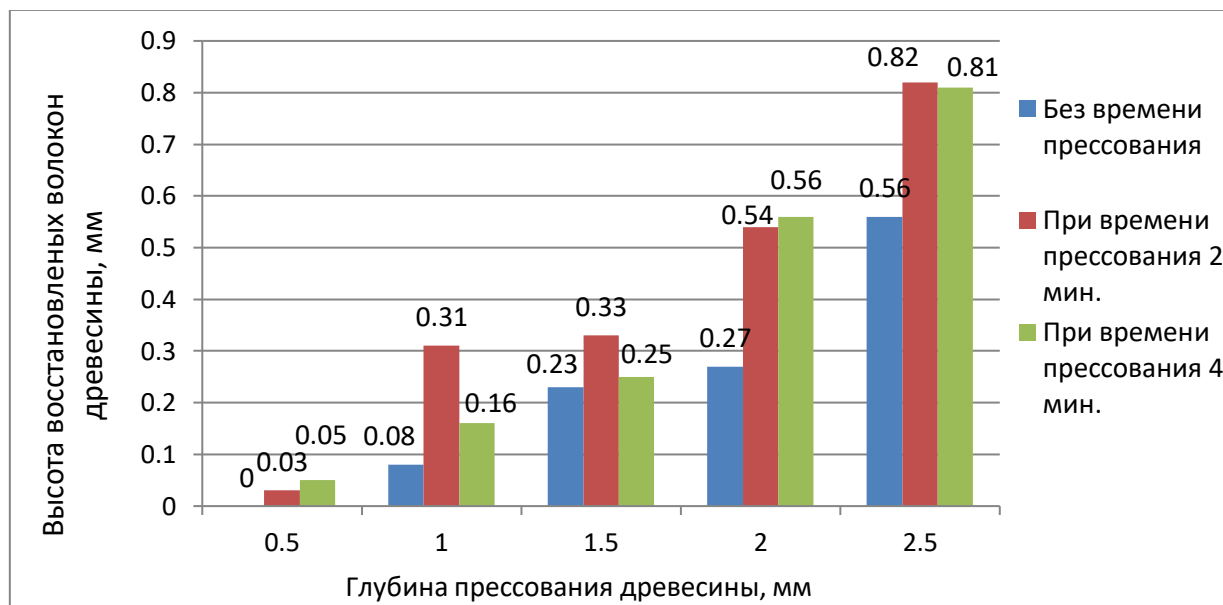


Рисунок 9 - Диаграммы высоты рельефа восстановленных волокон древесины относительно поверхности

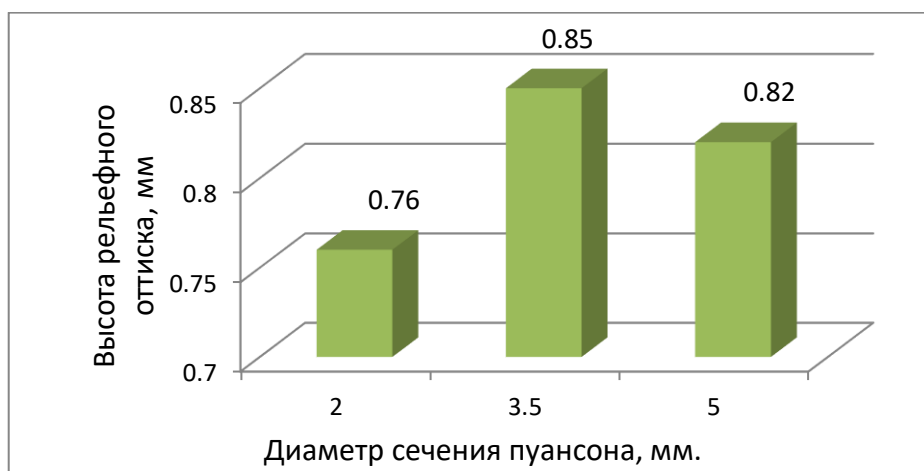


Рисунок 10 – Высота рельефного отиска с применением пуансона разного диаметра

Результаты исследования представлены на рисунках 9, 10. Следует, что чем дольше древесина находится под давлением, тем сильнее деформируются волокна, что может привести к частичному их восстановлению. Увеличение глубины внедрения, пуансон может привести к разрушению верхнего слоя древесины. Малый диаметр сечения пуансона (2 мм), незначительно сминает волокна древесины, что приводит к наименьшей высоте рельефа. Установленный режим прессования исключает вышеизложенное и формирует максимальную высоту и ширину рельефного отиска на поверхности детали (таблица 2).

Таблица 2 – Режим прессования

№	Наименование	Значения
1	Диаметр пуансона, мм	5
2	Глубина прессования, мм	2,5
3	Время выдержки под давлением в прессе, мин.	2

В пятой главе проводится исследование формирования качественного рельефного оттиска на поверхности деталей из древесины лиственных пород.

Для проведения экспериментального исследования применяли древесину лиственных пород с относительной влажностью $8\pm 2\%$. На каждом образце по установленной технологии и режиму тиснения формировали рельефные оттиски одной конфигурации. Полученные данные представлены на рисунке 11 в виде диаграммы высот рельефа восстановленных волокон после увлажнения и сушки у исследуемых пород древесины.

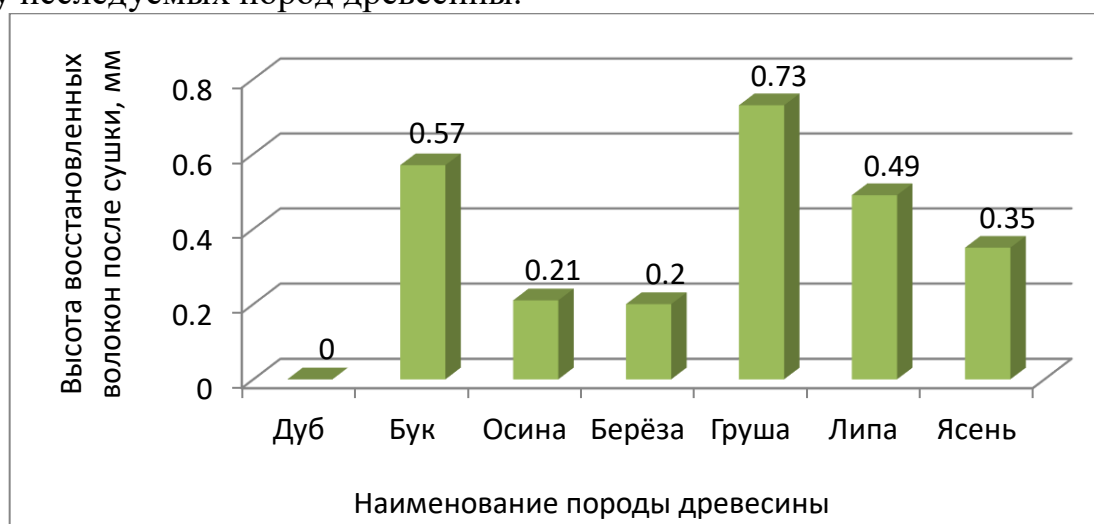


Рисунок 11 - Диаграмма высот рельефа после сушки у исследуемых пород древесины

На всех исследуемых породах древесины, кроме дуба, формируется рельефный оттиск. Лучше всего восстановились волокна у древесины груши, бука и липы. Соответственно, данные породы легче поддаются деформации, что в дальнейшем приводит к более выраженному рельефному оттиску на поверхности детали.

В шестой главе исследованы восстановление волокон и формирование высоты рельефного оттиска на деталях из древесины липы по установленному режиму прессования.

Исследование заключалось в измерении усилия волокон во время их восстановления с учетом временного фактора и измерении параметров рельефа установкой с переносным динамометром ДОСМ – 3 – 0,1 (рисунок 12).

Исследование проводилось в три этапа:

1. Исследование образца №1 из древесины липы после прессования и фрезерования;
2. Исследование образца №2 из древесины липы через сутки после прессования и фрезерование;

3. Исследование образца №3 из древесины липы через двое суток после прессования и фрезерование.

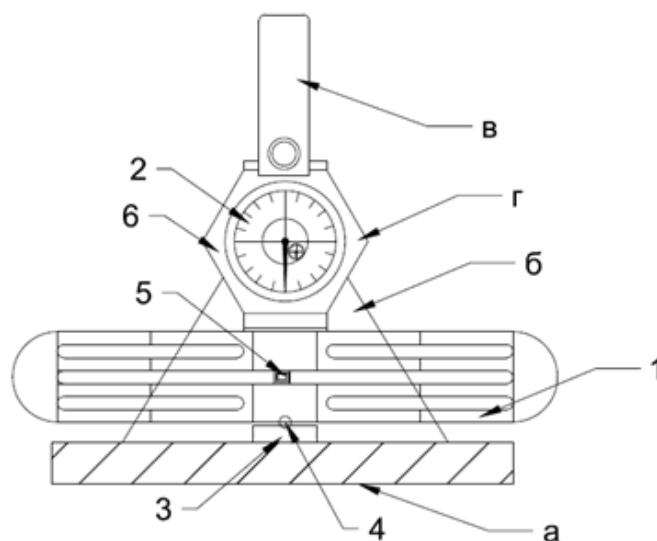


Рисунок 12 – Схема установки для определения усилия во время восстановления волокон: а – образец древесины липы; б – опора; в – струбцина; г – динамометр ДОСМ-3-0,1; 1 – элемент упругий (силовой); 2 – индикатор; 3 – накладка; 4 – шарик; 5 – упор; 6 – корпус

По полученным данным установлены: высота восстановленных волокон с учетом временного фактора и среднее усилие восстановления волокон для каждого исследуемого образца с учетом временного фактора (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика силовых и качественных показателей

№ образца	Высота восстановленных волокон с учетом временного фактора, мм	Среднее усилие восстановления волокон за 70 мин., Н
1	0,8	25,257
2	0,8	25
3	0,57	19,329

Анализ результатов позволят заключить следующее:

1. Наибольшее усилие во время восстановления волокон оказывают образцы №1 и №2, так как высота рельефа на поверхности имеет большее значение, относительно высоты рельефа у образца №3.

2. Восстановление деформируемых волокон будет наиболее эффективным, если весь технологический процесс тиснения совершать в течение суток.

В седьмой главе приведены теоретические исследования закономерностей формирования рельефного оттиска на поверхности детали из древесины.

Рассмотрим случай и определим более выраженный рельефный оттиск на поверхности детали по полученным данным в ходе экспериментальных исследований. Построим «кривые» по наибольшей высоте восстановленных волокон с учетом времени выдержки под давлением в прессе (рисунок 13).

Из рисунка 13 следует, что при использовании пуансона с диаметром сечения 3,5 мм время выдержки под давлением в прессе может составлять от 2

до 4 минут. При использовании пуансона с диаметром сечения 5 мм целесообразное время выдержки под давлением в прессе – 2 мин. С увеличением времени прессования возрастает деформация клеточных стенок, что ведет к сильному уплотнению наружных слоев древесины.

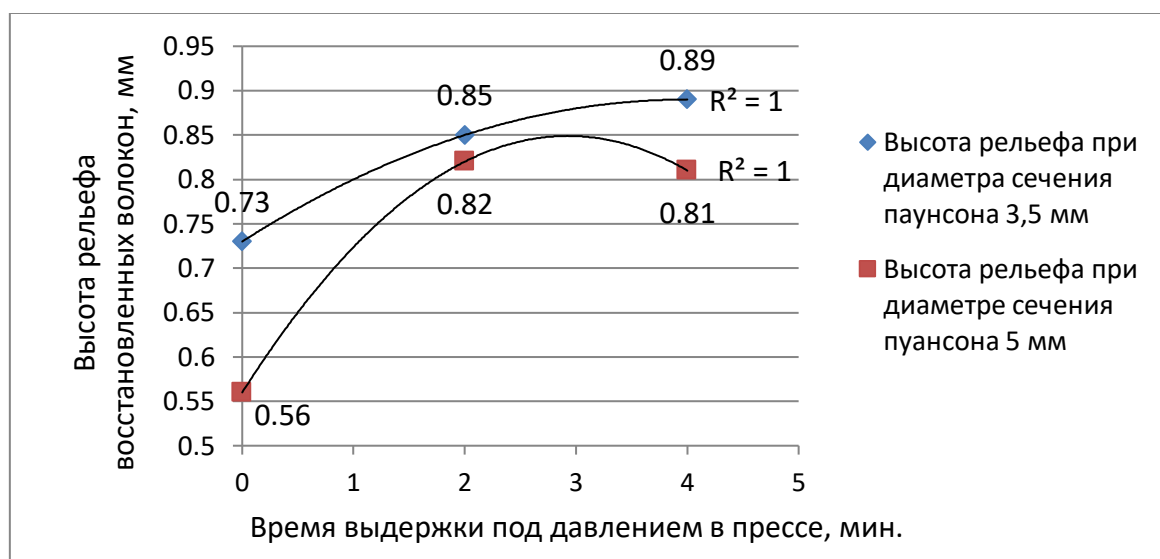


Рисунок 13 – Наибольшая высота восстановленных волокон с учетом времени выдержки под давлением в прессе

С целью установления технологических факторов, влияющие на высоту рельефного оттиска, проводился классический эксперимент. Проверка воспроизводимости эксперимента проводилась по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии проверяли посредством критерия Стьюдента, адекватность математической модели с учётом значимых коэффициентов по критерию Фишера. Определены факторы, оказывающие существенное влияние на высоту рельефа. Установлено наибольшее влияние парных факторов с исключением третьего на высоту рельефного оттиска.

Для составления математической модели применяли постоянные факторы: влажность воздуха $70 \pm 5\%$, температура окружающей среды $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность древесины липы $8 \pm 2\%$ и натуральные значения технологических факторов (таблица 4).

Таблица 4 – Натуральные значения технологических факторов и диапазон их варьирования

Обозначение	Наименование факторов	Уровни факторов			Шаг варьирования
		-1	0	1	
z_1	Глубина прессования, мм.	1,5	2	2,5	0,5
z_2	Время выдержки детали из древесины между плитами пресса, под давлением, мин.	0	2	4	2
z_3	Диаметр пуансона, мм	2	3,5	5	1,5

По результатам статистическо-критериальной обработки экспериментальных данных получено линейное уравнение регрессии, адекватно описывающие процесс при формировании рельефного оттиска.

$$y = -0,807 + 0,546 z_1 + 0,199 z_2 + 0,124 z_3 - 0,0553 z_1 z_2 - 0,0511 z_1 z_3 - 0,0619 z_2 z_3 + 0,0256 z_1 z_2 z_3. \quad (4)$$

где y – высота рельефного оттиска, мм.

По уравнению регрессии проверяли взаимодействие двух технологических факторов, исключая третий. Взаимодействие глубины прессования от 2 до 2,5 мм и времени прессования от 2 до 4 мин. приводит к наибольшему рельефу 0,6 – 0,8 мм (рисунок 14). Взаимодействие глубины прессования 2,5 мм и пуансона с диаметром сечения 5 мм приводит к рельефу 0,5 – 0,6 мм (рисунок 15). Взаимодействие времени прессования и пуансона невозможно без глубины прессования, так как волокна разрушаются (рисунок 16).

Высота рельефного оттиска будет максимальной при взаимодействии двух факторов (глубины прессования и времени прессования) или трех факторов (глубины прессования, времени прессования и диаметра пуансона) с максимальными значениями.

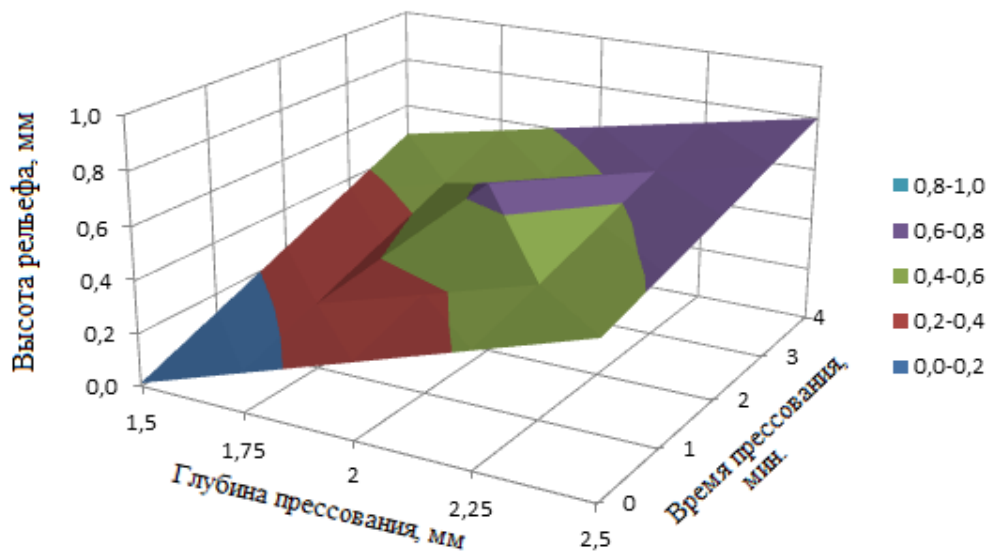


Рисунок 14 – Зависимость высоты рельефного оттиска от глубины прессования и времени прессования

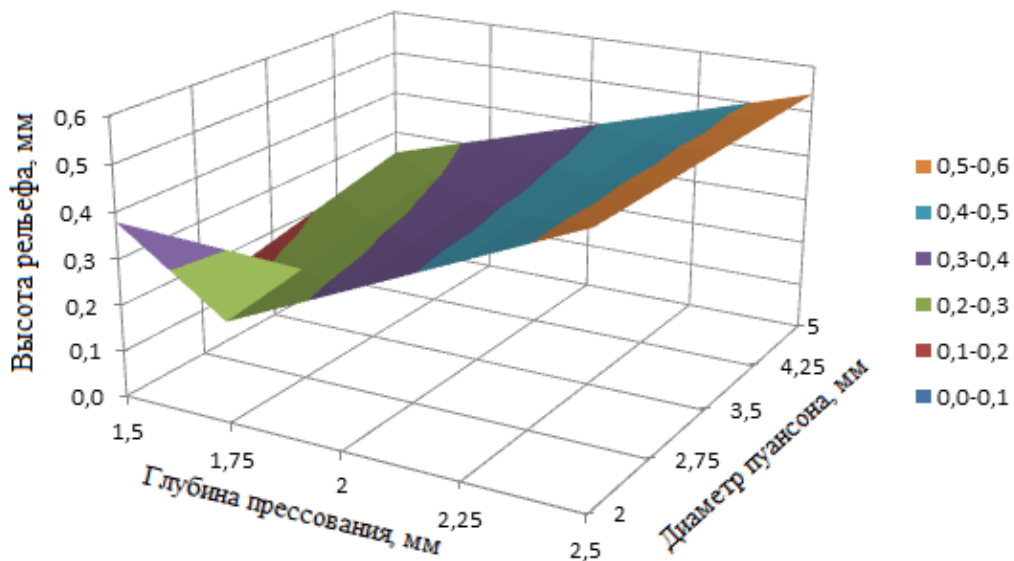


Рисунок 15 – Зависимость высоты рельефного оттиска от глубины прессования и диаметра пуансона

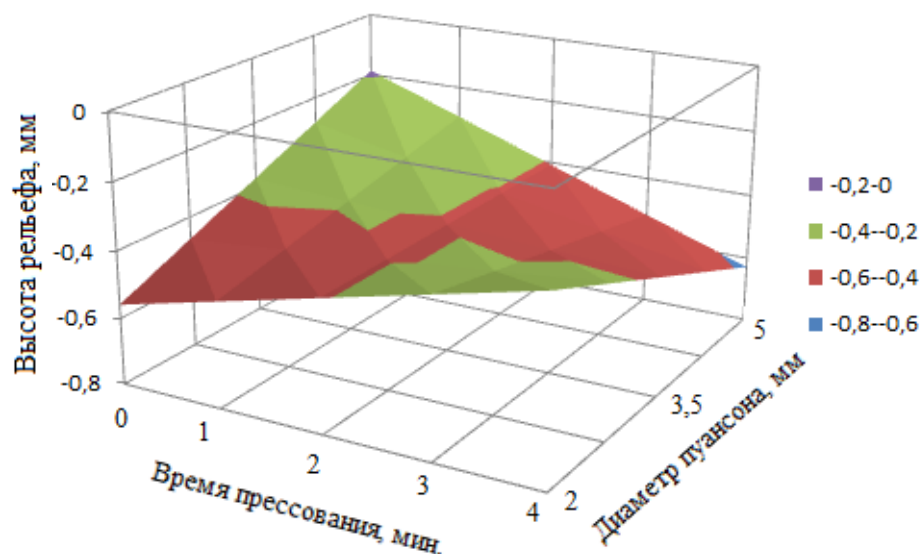


Рисунок 16 – Зависимость высоты рельефного оттиска от времени прессования и диаметра пуансона

В восьмой главе исследовано взаимодействие защитно-декоративного покрытия с декорированной поверхностью детали из древесины.

С целью исследования формоустойчивости рельефного оттиска на поверхности детали из древесины под защитно-декоративным покрытием наносили три вида лакокрасочного материала: Датское масло, воск Holzschutzlasur, водный лак. Визуальная оценка показала, что рельефный оттиск сохраняет форму, не деформируется под лакокрасочным покрытием, и пленка на поверхности детали ровная, гладкая, прочная и водонепроницаемая.

В девятой главе приведено экономическое обоснование эффективности и материализация художественно-декоративного способа отделки холодным тиснением на деревообрабатывающем производстве.

Средняя себестоимость формирования рельефного оттиска на поверхности детали из древесины составит 779 руб./дм². Приводили сравнение стоимости за 1 дм² художественно-декоративных способов отделки, из которого следует, что холодное тиснение является экономически целесообразным.



Рисунок 17 – Опытный образец из древесины липы (шкатулка)

Для проведения промышленной апробации изготовлен опытный образец (шкатулка) с нанесенным на поверхность рельефным оттиском (рисунок 17). Промышленная апробация была проведена в условиях ООО «Архитектурно-столярная студия» и ООО «Артель ТМ».

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Изучение вопросов формирования рельефного оттиска на поверхности детали из древесины позволяет сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. Для обеспечения требуемого качества рельефного оттиска разнообразных способов художественно-декоративной отделки поверхностей изделий из древесины лиственных пород необходимо рационально осуществлять выбор материала и технологию декорирования с учетом строения и физико-механических свойств древесины.

2. В широком промышленном применении практически отсутствуют технологии холодного прессования в неразогретом прессе с последующим восстановлением деформируемых волокон древесины.

3. Тщательное изучение действующей технологии тиснения древесины термопрессованием, привело к разработке техники холодного тиснения древесины, что повышает качество изделия и уменьшает энергозатраты.

4. Установлено, что художественно-декоративный способ отделки холодным тиснением формирует на поверхности детали отчетливый, выпуклый, равномерный по высоте оттиск, который задан формой пуансона.

5. Процесс холодного тиснения поверхностей у деталей представляет временное смятие древесных клеток, путем внедрения пуансона в древесину на заданную глубину, с последующим их восстановлением через обильное увлажнение деформируемых древесных клеток.

6. Установленная расчетным путем математическая модель подтверждает адекватность разработанного способа тиснения и значимость технологических факторов, которые имеют оптимальные значения для деформации и восстановления клеток древесины.

7. Теоретически обоснован и экспериментально установлен режим прессования (глубина прессования 2,5 мм; время прессования 2 мин.; пуансон с диаметром 5 мм), при котором возникающие во время нагружения деформации исключают возможные дефекты (сколы, трещины, разрыв волокон и др.) на поверхности детали, сохраняя структуру, текстуру и физико-механические свойства древесины.

8. Экспериментально установлены лиственные породы древесины (бук, груша и липа), на поверхности которых формируется оптимальный по высоте рельефный оттиск.

9. Экспериментально определено, что в процессе формирования рельефного оттиска на поверхности детали происходит изменение линейных размеров по толщине. При изготовлении деталей определенных размеров, необходимо принимать припуск на обработку.

10. Экспериментально подтверждено, что сформированный на поверхности детали рельефный оттиск не изменяет форму со временем под действием внешних факторов и защитно-декоративного покрытия.

11. Экономическая эффективность применения разработанного способа художественно-декоративной отделки заключается в энергосбережении, в снижении затрат на формирование рельефного оттиска и низкой себестоимостью отделки за 779 руб./дм² в сравнении с другими способами декорирования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

В изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Кирилина А.В.** Конструктивные особенности древесины при создании рельефного узора на её поверхности [Электронный ресурс] / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - №3 URL: <http://www.science-education.ru/117-13126> (дата обращения 23.03.2017).

2. **Кирилина А.В.** Художественно-декоративный вид отделки деталей из древесины лиственных пород методом тиснения [Электронный ресурс] / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. - №1, Ч.1 URL: <http://www.science-education.ru/121-18708> (дата обращения 23.03.2017).

Патенты:

3. Патент РФ № 2529385 С1. Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины: ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» / Ю.И. Ветошкин, **А.В. Запрудина** / - Заявл. 09.04.2013, № 2013116304/12; Опубл. 27.09.2014, № 27. МПК В44С 1/24.

В статьях, материалах и тезисах конференций:

4. **Кирилина А.В.** Декоративно-художественная отделка деталей и изделий из древесных материалов / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Леса России и хозяйство в них. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. - №1 (48). - С. 54-60.

5. **Кирилина А.В.** Анализ структуры наиболее распространенных видов художественно-декоративной отделки мебели / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы X Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. –Ч. 1. – С. 163-167.

6. **Кирилина А.В.** Декорирование как искусство в мебельном производстве / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы X Всероссийской научно-

технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 167-169.

7. **Кирилина А.В.** Различие и особенности горячего и холодного тиснения древесины / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды IX международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – С. 73 – 77.

8. **Кирилина А.В.** Влияние различных свойств древесины на художественно-декоративную обработку её поверхности / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – С. 55-58.

9. **Кирилина А.В.** Форма пуансона для формирования рельефного оттиска на поверхности детали из древесины / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: материалы X Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – С. 117-120.

10. Ветошкин Ю.И. О механизме упруго-вязко-пластического деформирования клеток древесины / Ю.И. Ветошкин, А.П. Золкин, **А.В. Кирилина** // Математическое моделирование механических явлений. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГГУ, 2015. - С. 69-72.

11. **Кирилина А.В.** Декорирование деталей мебели тиснение путем холодного прессования / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин, А.П. Золкин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». – Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. – Ч. 1. – С. 51-53.

12. **Кирилина А.В.** Декорирование рельефным узором поверхность деталей из древесины методом тиснения / А.В. Кирилина, Ю.И. Ветошкин // Перспективы науки – 2016: Сборник докладов III Международного конкурса научно-исследовательских работ. Том III (Естественные и технические науки) - Казань: ООО «Рокета Союз», 2016. - С. 258-261.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Учёному секретарю диссертационного совета Д 212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru

Подписано в печать _____.

Формат 60 x 84 1/16. Изд. _____ . Усл. печ. л. _____.

Тираж _____ экз. Заказ № _____.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Отдел оперативной полиграфии