

типов леса характеризуются высокими показателями роста. Основные количественные характеристики, такие как средняя высота и средний диаметр древостоя, в указанных группах имеют большие значения в сравнении с другими группами. Запас древесины в этих группах составляет от 200 куб. м./га до 320 куб. м./га. Наряду с высокими показателями качественных характеристик древостоев, липняковая, разнотравная и ягодниково-травяно-зеленомошная группы занимают практически всю площадь берёзовых насаждений Среднего Урала (96 % общей площади). Это дает основание полагать, что эти группы типов леса являются предпочтительными для заготовки основных групп сортиментов. Проектирование лесоводственно-технологических мероприятий для различных типов берёзовых насаждений позволит выстроить технологию для эффективной заготовки древесного сырья в березняках Среднего Урала.

Библиографический список

1. Государственный учет лесного фонда на 1 января 2006 [Электронный ресурс]: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.
URL: <http://www.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=1666&pid=249> (дата обращения 15.02.2010).
2. Луганский, Н.А. Березняки Среднего Урала [Текст] / Луганский Н.А., Лысов Л.А. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та. – 1991. – 100 с.
3. Коростелёв, А.С. Недревесная продукция леса. Термины и определения [Текст] / Коростелёв А.С., Залесов С.В. // Учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., - 2006. – 64 с.
4. Анучин Н.П. Сортиментные и товарные таблицы [Текст] / 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная пром-сть, 1981. 536 с.

Рублева О.А., Кузнецов Г.П.

(ГОУ ВПО «ВятГУ», г. Киров, РФ) ru_olga_ru@mail.ru

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ ШИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ SYSTEM APPROACH IN DEVELOPING, DESIGNING AND MANUFACTURING WORKED JOINTS

В производстве мебели, столярно-строительных и других изделий из древесины широко используются шиповые клеевые соединения деталей. В настоящее время наибольшее применение в производстве этих изделий получили шиповые соединения с прямоугольной и треугольной (зубчатой) формой шипов в продольном сечении. Эти шипы изготавливаются на фрезерных станках с применением дорогостоящих фрез, имеющих сравнительно невысокую стойкость [1]. С целью повышения качества шиповых соединений деревянных деталей и снижения затрат на их изготовление разработаны конструкции шипов и технологии их изготовления путем вдавливания в торцы заготовок на прессах пуансона с профилем, соответствующим форме шипов [2]. Такие конструкции шипов и технологии их изготовления наиболее привлекательны для малых предприятий деревообрабатывающей промышленности.

В связи с существованием множества альтернативных вариантов конструкций шиповых соединений и технологий их изготовления, актуальной задачей является разработка методического обеспечения системного проектирования шиповых соединений и технологий их изготовления, а также методик выбора наиболее привлекательных из них для предприятий. Для решения этой задачи разработан процесс системного проектирования шиповых соединений и технологических процессов их изготовления [3], включающий три подпроцесса:

1) проектирование шиповых соединений и выбор наиболее привлекательного по качеству (разработка альтернативных вариантов шипового соединения, оценка и выбор типа и размеров наиболее привлекательного по качеству варианта, разработка чертежей);

2) разработка технологических процессов и выбор наиболее привлекательного (разработка альтернативных вариантов технологических процессов, оценка и выбор наиболее привлекательного варианта, разработка технологической документации);

3) проектирование технологической оснастки и выбор наиболее привлекательной (разработка альтернативных вариантов технологической оснастки, оценка и выбор наиболее привлекательного варианта, разработка чертежей).

В состав исходной информации для разработки этих подпроцессов входят: требования к качеству изделия; сведения о заготовке (размеры заготовки, порода древесины, влажность, направление волокон); комплекс требований к размерам, качеству и прочности шипового соединения (технические требования заказчика к изделию, государственные стандарты на соединения); ограничения по затратам на изготовление соединения.

Для выполнения *первого подпроцесса* разработан классификатор шиповых соединений в форме компактной морфологической таблицы. Классификатор шиповых соединений включает форму продольного сечения шипа (треугольный, прямоугольный, трапециевидный, сложной формы), форму поперечного сечения шипа (круглый, прямоугольный, треугольный, сложной формы), количество шипов (один или несколько), количество рядов шипов (один или несколько), вид соединения по выходу шипов на пласть и кромку (видимые или невидимые).

Выбор наиболее привлекательного по качеству шипового соединения производится с помощью системы показателей «Качество шипового соединения». Этот комплексный показатель оценивается единичными (частными) показателями: глубина деформированной зоны; изменение макроструктуры деформированной зоны; шероховатость граней проушины; твердость дна проушины; прочность соединения по длине на растяжение; прочность соединения по длине на изгиб. После оценки единичных показателей качества шиповых соединений производится выбор наиболее привлекательных (лучших) шиповых соединений. Этот выбор производится дифференциальным и (или) комплексным методами, описанными в ГОСТ 15467-79.

Первый подпроцесс заканчивается разработкой чертежей наиболее привлекательного по качеству шипового соединения деревянных деталей.

Второй и третий подпроцессы системного проектирования техпроцессов тесно взаимосвязаны и могут выполняться последовательно или совместно.

Для выполнения этих подпроцессов разработаны классификатор технологических процессов и оснастки для изготовления шипов прессованием в форме морфологи-

ческой таблицы и структура баз данных о технологическом оборудовании, его стоимости и его производителях. Классификатор технологических процессов и оснастки для прессования шипов включает следующую информацию: схема обработки (позиционная, проходная, позиционно-проходная), тип пресса по направлению усилия прессования (горизонтальный, вертикальный), тип привода (пневматический, гидравлический, механический и др.), усилие прессования (до 1,5 кН, свыше 1,5 до 5 кН и т.д.), скорость прессования (до 30 мм/мин, свыше 30 до 60 мм/мин и т.д.), способ обжима заготовки (без обжима, двухсторонний, четырехсторонний), конструкция механизма обжима заготовки (винтовой, клиновой, пневматический и др.), конструкция устройства для извлечения пуансона (пружинное, гидравлическое, рычажное и др.).

Для оценки затрат на изготовление шиповых соединений (расчета комплексного показателя «Затраты на изготовление соединения») используется ряд единичных (частных) показателей: затраты на заготовки, на клей, на электроэнергию, на подготовку инструмента, на технологическую оснастку, на амортизационные отчисления, на заработную плату.

Для выбора наиболее привлекательного технологического процесса используются два комплексных показателя: «Качество шипового соединения» и «Затраты на изготовление соединения». Выбор наиболее привлекательного техпроцесса производится по обобщенному (глобальному) критерию «Привлекательность шипового соединения», причем коэффициенты весомости показателей определяются с позиций производителя и потребителей изготавливаемой продукции.

Второй и третий подпроцессы заканчиваются разработкой технологической документации и чертежей оснастки.

Разработан комплекс методик и моделей для расчета показателей привлекательности конструкций шиповых соединений, вариантов технологических процессов и оснастки.

Проведены экспериментальные исследования процесса формообразования проушин с целью анализа механизма пластического деформирования и разрушения проушины при внедрении призматического индентора в торцовую поверхность образцов из древесины с различным микростроением.

Исследование проводилось на образцах из древесины сосны, березы и дуба влажностью 9% и 30%. В исследовании применялись следующие приборы и установки: влагомер Hydromette Компакт; пресс П-10 с приспособлением для закрепления заготовок и инструмента (пуансона); сканер HP ScanJet 2380, фотоаппарат Canon A530.

Исследован механизм пластического деформирования и разрушения проушины при внедрении призматического индентора в торцовую поверхность образцов из древесины различного микростроения: типичной хвойной породы (сосны), типичной лиственной кольцесосудистой (дуба), типичной лиственной рассеяннососудистой (березы). Процессы деформирования древесины сосны, березы и дуба при внедрении призматического индентора в основном схожи. Это сдвиг и сжатие древесины вдоль волокон, формирование «пробки» из деформированной древесины.

Исследована структура древесины при внедрении призматического индентора. В процессе получения прямоугольной проушины происходит деформация древесины в зоне внедрения пуансона. В деформированной зоне наблюдаются складки деформации сдвига поздней зоны в радиальном направлении и утолщение зон поздней древесины.

При наличии двух – или четырехстороннего обжима заготовки, отсутствии косо-слоя в древесине и её низкой влажности возможно получение качественных шипов, с высокой точностью размеров проушины и малой шероховатостью ее граней (не более 80 мкм). Глубина внедрения индентора при двухстороннем обжиме не должна превышать две с половиной ширины проушины; при четырехстороннем обжиме – шесть ширин проушины. При увеличении глубины внедрения свыше указанных пределов формируется глубокая трещина в плоскости скольжения и происходит раскалывание образца.

Результаты исследований использованы для разработки системы моделей, необходимых для расчета усилия прессования и показателей качества шипов.

В работе П.Н. Хухрянского [4] приведена методика разработки модели для расчета усилия прессования древесины поперек волокон в пресс-форме. По аналогичной методике разработана аналитическая модель (1) для расчета усилия прессования прямоугольных проушин:

$$P = \sigma BS(2 - e^{-2(f_m \mu_{ra} \frac{1}{S} + f_{dr} \mu_{ta} \frac{1}{B})h_n}) + 2\tau_{ck} Sh_n, \quad (1)$$

где P – усилие прессования, МПа;

σ - напряжение в древесине при сжатии вдоль волокон, МПа;

S - толщина заготовки, мм;

B - ширина проушины, мм;

f_m – коэффициент трения древесины по металлу;

f_{dr} – коэффициент трения древесины по древесине;

μ_{ra}, μ_{ta} - коэффициенты Пуассона;

h_n – глубина проушины, мм;

τ_{ck} – предел прочности при скалывании вдоль волокон, МПа.

Форма и размеры заготовки приведены на рис. 1.

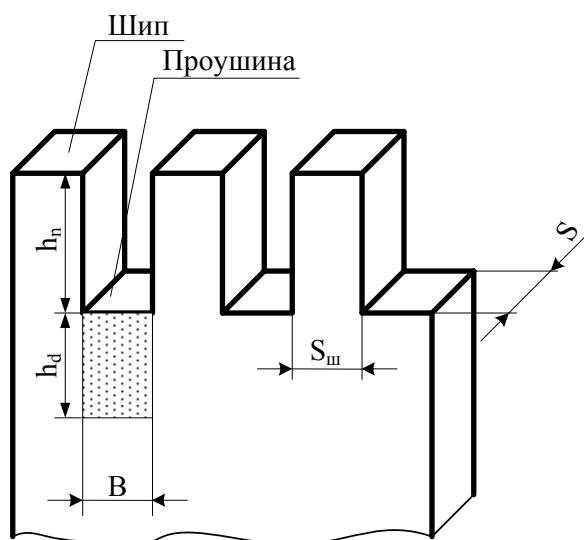


Рисунок 1 – Форма и размеры заготовки

Таким образом, установлено, что усилие прессования проушины в заготовке заданного сечения, определенной породы, зависит от толщины, влажности и температуры заготовки, ширины и глубины проушины, скорости прессования.

С целью определения возможности использования этой модели для технологических расчетов разработана методика экспериментальной оценки усилия прессования.

Исследовалась величина усилия прессования прямоугольной проушины глубиной h_n от 5 до 11 мм, шириной B от 4 до 20 мм в образцах из древесины сосны, березы, дуба влажностью W от 8 до 18%, толщиной $S=25$ мм, шириной $A=40$ мм, высотой $H=60$ мм. Характеристики процесса определяли по результатам разведывательных опытов: скорость прессования $v=50$ мм/мин, усилие обжима заготовки $P_0=1000$ Н.

В соответствии с работой [5], был реализован полный факторный эксперимент типа 2^3 для получения математической модели усилия прессования проушин в древесине березы и дуба и некомпозиционный план второго порядка для трех факторов для древесины сосны. В результате статистической обработки результатов экспериментов (при 5%-ном уровне значимости) получили эмпирические модели расчета усилия прессования прямоугольной проушины в заготовках из древесины сосны, березы, дуба. В качестве примера приведена модель (2) для расчета усилия прессования прямоугольной проушины в древесине березы:

$$P_b = 20055,68 - 2598,93W - 2487,66h_n + 1719,25B + 371,88Wh_n - 40,61h_nB \quad (2)$$

В результате сравнения результатов расчетов по аналитическим и эмпирическим моделям установили, что наибольшее влияние на расхождение результатов расчетов оказывает влажность древесины W . Поэтому было принято решение использовать корректирующие коэффициенты k_w , учитывающие влияние влажности, а усилие прессования рассчитывать $P_{\text{коэф}}=P \cdot k_w$. В результате применения модели получают данные для определения усилия пресса P , его производительности и себестоимости соединения.

Выполнен комплекс исследований, целью которого являлась разработка моделей для расчета показателей качества шипов и прочности шиповых соединений [6, 7].

Для определения номенклатуры [8] показателей качества шипов и шиповых соединений использовали рекомендации:

- государственных стандартов на соединения по длине и изделия с их применением (ГОСТ 19414–90, 9330–76, 475–78, 23166–99);
- типовых номенклатур показателей качества продукции [9, 10];
- государственных стандартов на номенклатуру показателей качества для изделий из древесины (ГОСТ 4.208–79, 4.226–83).

В систему для оценки качества шипов включены следующие показатели:

- 1) твердость дна проушин, оцениваемая по показателю HRL или HRM;
- 2) относительная глубина деформированной зоны h_3 (рис. 1);
- 3) шероховатость граней шипа (проушины) $R_{m \text{ max}}$, оцениваемая по ГОСТ 7016-82;
- 4) качество макроструктуры пластически деформированной зоны;
- 5) прочность шиповых соединений на растяжение σ_{rW} и изгиб σ_{izW} , оцениваемая по ГОСТ 15613.5–79 и 15613.4–78.

Исследования качества шипов проводили на заготовках из древесины сосны, березы, дуба влажностью $W=8 \div 18$ %. Размеры заготовки: толщина $S=25$ мм, ширина

$T=40$ мм, высота $H=60$ мм; размеры проушины: глубина $h_n=5\div 11$ мм, ширина $B=4\div 20$ мм. Форма и размеры заготовки приведены на рис. 1.

Прессование шипов осуществляли со скоростью $v=50$ мм/мин, при этом заготовки обжимали с усилием $P_0=1000$ Н. Для получения профиля шипового соединения на обеих соединяемых деталях использовали один и тот же пуансон и приспособление. Твердость по методу Роквелла измеряли на приборе ТР 5014. Для определения относительной глубины деформированной зоны h_3 измеряли глубину проушины h_n и размер деформированной зоны h_d под проушиной. Для расчета относительного увеличения твердости (HRL для образцов из древесины сосны, HRM для образцов из древесины березы и дуба) замеряли торцовую твердость образца до прессования проушины и твердость дна полученной проушины.

В результате статистической обработки результатов экспериментов (при 5%-ном уровне значимости) получили эмпирические модели расчета твердости дна проушины HRL или HRM и относительной глубины деформированной зоны h_3 . В качестве примера приведены модели (3) и (4) для расчета этих показателей имеют вид для образцов из древесины березы:

$$HRM = 158,47 - 5,39W + 12,83h_n - 0,60h_n B + 3,62B, \quad (3)$$

$$h_3 = 860,40 - 73,45W - 67,5h_n - 20,68B + 5,81Wh_n + 1,72WB + 0,87h_n B \quad (4)$$

Модели позволяют с достаточной точностью определить твердость дна и относительную глубину деформированной зоны прямоугольной проушины в заготовках из древесины сосны, березы, дуба.

Оценку шероховатости граней проушины $R_{m \max}$ проводили по фотоснимкам срезов образцов путем измерения высот максимальных неровностей в соответствии с ГОСТ 7016–82. При исходной шероховатости торца заготовки $R_{m \max}=200$ мкм среднее значение шероховатости граней проушины для образцов из древесины сосны составило $R_{m \max}=80$ мкм, из древесины березы – $R_{m \max}=83$ мкм, из древесины дуба – $R_{m \max}=78$ мкм.

Оценку качества макроструктуры пластически деформированной зоны проводили визуально, по фактическому состоянию образцов и их фотоснимкам, путем сравнения с эталонами. Для оценки разработали пятибалльную шкалу: от 5 баллов – «отличная структура» – видимые изменения макроструктуры отсутствуют, до 1 балла – «дефектная структура» – в зоне деформации наблюдается значительное изменение направления волокон и значительное изменение тона окраски, четко просматриваются границы деформированной зоны. Так, в образцах из древесины сосны изменения макроструктуры деформированной зоны оценили в основном на 4 балла (53 %), 4 % образцов были оценены на 5 баллов, 7 % – на 3 балла, 3% – на 2 балла. Образцы из древесины березы и дуба в основном были оценены на 3 или 4 балла.

По приведенным в [11] данным, нормативная прочность зубчатых соединений на современных клеях составляет 50 – 60% прочности древесины. В связи с этим, для расчета пределов прочности соединения по длине на растяжение σ_{rW} и на изгиб σ_{izW} при заданной влажности получены аналитические модели (5) и (6):

$$\sigma_{rW} = k_1 \sigma_r, \quad (5)$$

$$\sigma_{izW} = k_2 \sigma_{iz}, \quad (6)$$

где σ_r – предел прочности древесины при растяжении вдоль волокон, при заданной влажности;

σ_{iz} – предел прочности древесины при статическом изгибе, при заданной влажности;

k_1 и k_2 – поправочные коэффициенты, полученные в результате экспериментальных исследований, учитывающие форму и размеры соединения, применяемый клей, влажность заготовок.

Исследование прочности шиповых соединений проводили на заготовках из древесины сосны и березы толщиной $S=25$ мм, шириной $T=40$ мм, длиной $H=160$ мм. Путем прессования на заготовках получили профиль шипового соединения двух типоразмеров – А и Б. Для типоразмера А толщина шипа составила $S_{ш}=2$ мм, ширина проушины $B=2,2$ мм, глубина проушины $h_n=10$ мм, шаг шипа $t_{ш}=S_{ш}+h_n=4,2$ мм; для типоразмера Б – $S_{ш}=4$ мм, $B=4,2$ мм, $h_n=20$ мм, $t_{ш}=8,2$ мм. Испытания на растяжение и на изгиб проводились по ГОСТ 15613.5–79 и 15613.4–78 на разрывной машине Р–5.

В результате экспериментов определены значения пределов прочности соединений и поправочных коэффициентов k_1 и k_2 . В качестве примера приведена модель (7) расчета предела прочности соединения по длине заготовок из древесины:

$$\sigma_{rw} = \frac{0,39\sigma_r}{1 + 0,04(W - 12)} \quad (7)$$

Постоянными факторами являются порода древесины, характеристики клея, режимы склеивания. Переменными факторами являются влажность заготовки W , пределы прочности древесины при растяжении вдоль волокон и при статическом изгибе. В результате применения моделей можно определить значения пределов прочности на растяжение и изгиб для соединений на прямоугольные шипы, полученные холодным торцовым прессованием.

Разработана промышленная технология изготовления шипового соединения с помощью холодного торцового прессования. Реализация методики системного проектирования техпроцесса изготовления прямоугольного шипового соединения рассмотрена на примере производства дверной филенки [8].

По результатам дифференциальной оценки качества [10], уровень качества шипового соединения на прямоугольный прессованный шип составляет $Y_{к\text{ пшс}}=0,65$, соединения на зубчатый фрезерованный шип - $Y_{к\text{ зшс}}=0,49$. Соединение на прессованный шип по совокупности свойств не уступает уровню качества аналога. Выбор наиболее эффективного варианта технологического процесса и оснастки осуществляется с учетом производственных условий предприятия по технико-экономическим показателям (в частности, себестоимость обработки и безопасность труда). По результатам оценки [10], наиболее эффективным вариантом является использование горизонтального прессы с гидроприводом. Прессование статическое, обжим - двухсторонний, в плоскости шва сращивания.

Основные результаты работы и выводы.

1) Разработана методика системного подхода к проектированию шиповых соединений деревянных деталей и технологических процессов их прессования, состоящая из трех этапов: проектирование шиповых соединений и выбор наиболее привлекательного по качеству, разработка технологических процессов и выбор наиболее привлека-

тельного по себестоимости, проектирование технологической оснастки и выбор наиболее привлекательной.

2) Разработан комплекс методического обеспечения, включающий классификаторы шиповых соединений и технологических процессов прессования шипов, систему показателей для оценки привлекательности шиповых соединений и технологических процессов их изготовления, модели расчета показателей качества шиповых соединений и показателей затрат на изготовление соединения, а также методики выбора наиболее привлекательных конструкций шиповых соединений и техпроцессов их изготовления.

Результаты научно-исследовательской работы рекомендуются для проектирования шиповых соединений и разработки технологических процессов их изготовления на малых предприятиях.

Библиографический список

1. Гончаров, Н. А. Технология изделий из древесины: учеб. для вузов / Н. А. Гончаров, В. Ю. Башинский, Б. М. Буглай. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Лесная промышленность, 1990. - 525 с.
2. Рублева, О. А. Замена фрезерования в операции формирования шипов при сращивании древесных заготовок по длине на обработку давлением / О. А. Рублева, А. О. Россинский // Ежегодная региональная научно-техническая конференция ВятГТУ "Наука – производство – технология – экология". – Киров, Изд-во ВятГТУ. – 2000. – Т. 3. – С. 103.
3. Рублева, О. А. Методика системного проектирования технологических процессов прессования шиповых соединений / Г. П. Кузнецов, О. А. Рублева. - // Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-технической конференции "Наука - производство - технология - экология". – Киров, Изд-во ВятГУ. - Киров, 2008. - Т. 4: ФАМ, ФСА. - С.150-151.
4. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. - 352 с.
5. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
6. Рублева, О. А. Экспериментальное исследование качества шипов, изготовленных холодным торцовым прессованием / Г. П. Кузнецов, О. А. Рублева. // Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-технической конференции "Наука - производство - технология - экология". – Киров, Изд-во ВятГУ. - Киров, 2010. - Т. 4: ФАМ, ФСА. - С. 150-152.
7. Рублева, О. А. Экспериментальное исследование прочности шиповых соединений, изготовленных холодным торцовым прессованием / Г. П. Кузнецов, О. А. Рублева. // Сборник материалов Всероссийской ежегодной научно-технической конференции "Наука - производство - технология - экология". – Киров, Изд-во ВятГУ. - Киров, 2010. - Т. 4: ФАМ, ФСА. - С.153-155.
8. Рублева, О. А. Методика проектирования технологического процесса изготовления прямоугольного шипового соединения способом прессования / О. А. Рублева // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2008. – С. 67–69.
9. Управление качеством продукции. Справочник / под. ред. В.В. Бойцова и А.В. Гличева. – М.: Издательство стандартов, 1985. - 464 с.
10. Федюкин, В.К. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции: Учеб. пособие / В.К. Федюкин. – М.: Филинь, 2004. – 296 с.
11. Фрейдин, А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224 с.