

Е. С. Шарапов, А. С. Королев, А. Р. Хисамеева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS*) НА КАЧЕСТВО КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ключевые слова: термически модифицированная древесина, прочность клеевого соединения, водостойкость, скалывание вдоль волокон.

*В статье представлены методика и результаты экспериментальных исследований прочности и водостойкости клеевого соединения при скалывании вдоль волокон термически модифицированной древесины сосны (*Pinus sylvestris*).*

Keywords: thermally modified timber, adhesive strength, water resistance, shearing parallel to the grains.

*The paper presents the methodology and results of experimental researches of strength and water resistance of the adhesive joint in the process of shearing thermally modified pine (*Pinus sylvestris*) parallel to the grains.*

Введение

Древесина как строительный материал обладает многочисленными положительными характеристиками, что позволяет использовать ее в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Однако по сравнению с металлами и современными синтетическими материалами древесина имеет относительно малый срок службы, нестабильность геометрических размеров, а также подвержена воздействию дереворазрушающих грибов и организмов. В связи с этим исследователями разработано множество способов защиты древесины, из которых наиболее популярны консервирование и антисептирование. Разрабатываются и исследуются различные технологии, позволяющие изменять свойства древесины, например, повышать ее прочность, стабильность размеров и форм, а также увеличивать влаго- и водостойкость.

На сегодняшний день одним из перспективных направлений в этой области является термическая обработка древесины, в результате чего древесина приобретает уникальные эксплуатационные и эстетические свойства, к которым можно отнести биологическую стойкость, низкую гигроскопичность, а также сохранение эстетичного вида при длительном сроке эксплуатации. Технология обработки заключается в том, что древесина подвергается нагреву до высоких температур в среде водяного пара, газов или жидкостей [1-7].

В настоящее время разработаны различные композитные материалы, в основе которых лежит процесс склеивания. Так, например, в деревянном домостроении широко используется клееный брус в качестве стенового материала. К основным преимуществам клееного бруса можно отнести небольшую величину усадки, стабильность размеров, а также технологичность сборки строительных конструкций.

Авторами статьи предложена новая технология изготовления и конструкция клееных строительных материалов из древесины [8,9] с использованием термически модифицированной древесины (ТМД) во внешних ламелях, контактирующих с ок-

ружающей средой. Использование новых конструкций клееных строительных материалов из древесины, на наш взгляд, позволит добиться повышения эксплуатационных характеристик клееных брусев.

Одним из основных условий склеивания ТМД является прочность клеевого соединения, которая должна быть больше прочности склеиваемых материалов. Прочность и водостойкость клеевого соединения, на наш взгляд, будут зависеть от температуры и длительности процесса термической обработки. Использование во внешних слоях клееных строительных материалов из ТМД открывает возможности применения менее стойких пород древесины к воздействию дереворазрушающих грибов и организмов.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение прочности и водостойкости клеевого соединения при скалывании вдоль волокон термически модифицированной древесины сосны.

Общий план экспериментальных исследований включает несколько этапов:

- 1) изготовление образцов древесины сосны;
- 2) термическую модификацию образцов древесины в среде водяного перегретого пара при максимальных температурах обработки 180, 200 и 220 °С;
- 3) определение величины потери массы образцов древесины после процесса термической модификации;
- 4) кондиционирование образцов древесины до нормализованной влажности при 65 % относительной влажности воздуха и температуре окружающей среды 20 °С по ГОСТ 16483.0-89;
- 5) определение предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон ТМД в соответствии с ГОСТ 15613.1.-84; ГОСТ 17005-82;
- 6) определение водостойкости клеевого соединения при скалывании вдоль волокон ТМД по ГОСТ 16483.20-72;
- 7) обработку экспериментальных данных в программных комплексах «MSExcel», «Statistica 8.0» и «Statgraphics Centurion XV».

Экспериментальная часть

Оборудование и инструменты для изготовления образцов и проведения экспериментальных исследований: машина испытательная Р-10, ГОСТ-28840-90; ленточнопильный станок JET JWPS; весы аналитические AF-R220CE; шкаф сушильный с естественной циркуляцией воздуха UNE 200; штангенциркуль ШЦ-П, ГОСТ 166-80; пароконвекционная камера.

Процесс термической модификации осуществлялся в специализированной пароконвекционной камере в среде водяного пара при температурах 180, 200 и 220 °С по аналогии с технологией термообработки «TermoWood» [5]. Отдельной серией опытов определялась величина потери массы как одного из основных параметров, характеризующих процесс термической обработки, с учетом максимальной температуры и длительности процесса.

Прочность клеевого соединения определялась в соответствии с ГОСТ 15613.1.-84 [10].

Предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон определялся для термически модифицированной древесины сосны (*Pinus sylvestris*), склеенной с немодифицированной древесиной сосны и осины (*Pópulus tremula*).

Склеивание заготовок осуществлялось по пласти. Клей наносили на поверхность древесины кистью. Для склеивания использовалась клеевая система AkzoNobel 1249/2579. После нанесения клея на поверхность образцы выдерживались в течение 5 минут, согласно характеристике клея. Запрессовку образцов проводили в рычажном прессе. Удельное давление запрессовки составляло от 0,5 до 1 МПа, а время выдержки под давлением 3 часа.

Испытание прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон проводилось на испытательной машине Р-10 по ГОСТ-28840-90. Нагружение осуществляли равномерно при скорости, обеспечивающей достижение максимальной нагрузки в течение 20 с. После разрушения образцов определяли силу скалывания по шкале машины с точностью до 5 кгс. Предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон устанавливали в соответствии с ГОСТ 15613.1.-84.

Водостойкость клеевых соединений определялась в соответствии с ГОСТ 17005-82 [11]. По данному стандарту оценивают группы водостойкости по прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон после выдержки образцов в воде и их кипячения. Форма и размеры образцов соответствовали ГОСТ 15613.1.-84. Образцы помещались в сосуд с водопроводной водой при температуре 20 ± 2 °С и выдерживались в течение 48 часов. Затем образцы извлекались из воды, протирались чистой сухой ветошью и подвергались обмеру и испытанию на испытательной машине.

Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась в программных комплексах «MSExcel», «Statistica 8.0» и «Statgraphics Centurion XV».

Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлены значения предела прочности клеевого соединения при скалывании

вдоль волокон образцов, полученных путем склеивания заготовок древесины сосны, прошедшей процесс термической модификации при температурах 180, 200, 220 °С, с немодифицированной древесиной сосны. Результаты представлены на «Box plot» графиках.

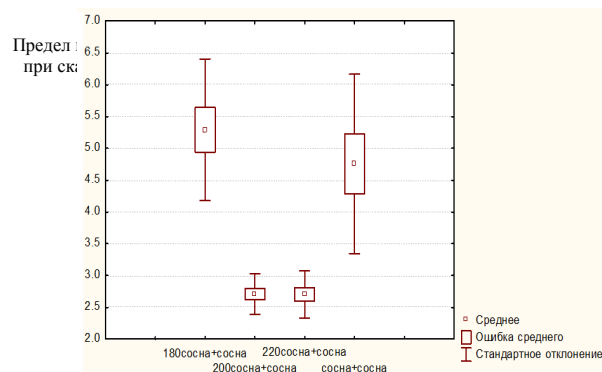


Рис. 1 – Предел прочности клеевых соединений ТМД сосны и немодифицированной древесины сосны при скалывании вдоль волокон в зависимости от температуры модификации

Наблюдается снижение прочности клеевого соединения в среднем на 43% образцов, прошедших процесс термической модификации при максимальных температурах 200 и 220 °С, в сравнении с прочностью клеевого соединения немодифицированных образцов. Потеря массы немодифицированных образцов сосны принята за 0%, модифицированных при 180, 200, 220 °С в среднем соответственно 0,78; 1,60; 4,06 %.

Прочность образцов древесины сосны, прошедших процесс термической модификации при температурах 180, 200 и 220 °С и склеенных с немодифицированной древесиной сосны, не соответствуют минимальному показателю предела прочности клеевого соединения на скалывание вдоль волокон по ГОСТ 20850-84. Склеивание необработанных образцов древесины сосны также показало несоответствие минимальному показателю предела прочности, т.е. меньше 6 МПа.

Процентное соотношение скалывания образцов по древесине в ходе эксперимента: 57, 49 и 50 % для температур обработки 180, 200 и 220 °С соответственно, немодифицированных образцов 29%.

На рис. 2 представлены значения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон образцов, полученных путем склеивания заготовок древесины сосны после термической модификации при температурах 180, 200 и 220 °С, с немодифицированной древесиной осины. Образцы не соответствуют минимальному показателю предела прочности клеевого соединения на скалывание вдоль волокон.

С увеличением температуры процесса термической модификации древесины сосны наблюдается снижение прочности клеевого соединения в среднем на 40; 49 и 58 % в соответствии с температурами обработки 180, 200 и 220 °С относительно немодифицированной древесины.

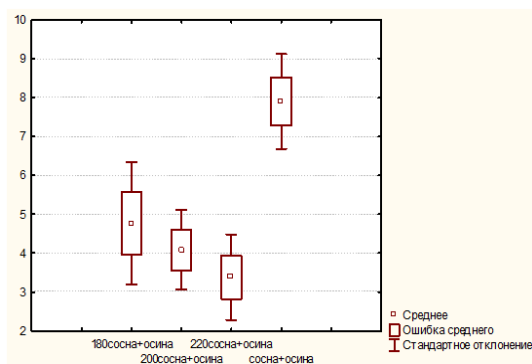


Рис. 2 – Предел прочности клеевых соединений ТМД сосны и немодифицированной древесины осины при скалывании вдоль волокон в зависимости от температуры модификации

Процентное соотношение скалывания образцов по древесине в ходе эксперимента 46; 54; 42 и 52 % соответственно для сосны модифицированной при 180, 200, 220 °С и не прошедшей термическую обработку. Высокий процент разрушения образцов по древесине характеризуется снижением физико-механических характеристик термически модифицированной древесины в целом.

На рис. 3 представлены значения предела прочности клеевых соединений древесины сосны, прошедших процесс термической модификации при температурах 180, 200, 220 °С, с немодифицированной древесиной сосны, после выдержки в воде.

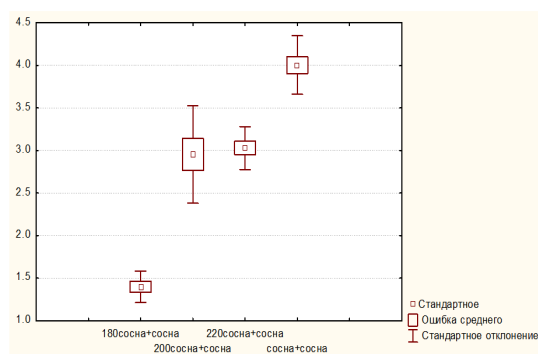


Рис. 3 – Предел прочности клеевых соединений ТМД сосны и немодифицированной древесины сосны при скалывании вдоль волокон в зависимости от температуры модификации, после выдержки образцов в воде

Наблюдается снижение прочности клеевого соединения в среднем на 68, 27 и 25 % в соответствии с температурами обработки 180, 200 и 220 °С, после выдержки в воде в сравнении с немодифицированной древесиной.

Предел прочности клеевых соединений составляет менее 3,2 МПа по ГОСТ 17005-82, что позволяет отнести их к низкой группе водостойкости, а после выдержки в воде немодифицированных образцов составляет более 3,2 МПа. В этом случае определение группы водостойкости клеевых соединений проводят кипячением образцов с последующим испытанием на прочность клеевых соединений.

На рис. 4 представлены значения прочности

клеевого соединения ТМД с древесиной осины при скалывании вдоль волокон в зависимости от температуры термической модификации древесины сосны, после выдержки в воде.

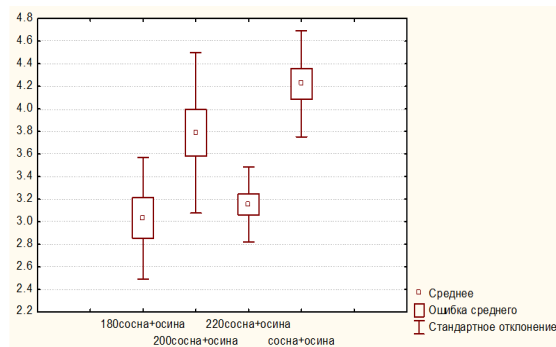


Рис. 4 – Предел прочности клеевых соединений ТМД сосны и немодифицированной древесины осины при скалывании вдоль волокон в зависимости от температуры модификации, после выдержки образцов в воде

Образцы древесины сосны, прошедшей процесс термической модификации при температурах 180, 220 °С, склеенной с немодифицированной древесиной осины, после выдержки в воде показали предел прочности клеевых соединений менее 3,2 МПа по ГОСТ 17005-82, что позволяет отнести их к низкой группе водостойкости.

Так как прочность клеевых соединений после выдержки в воде образцов древесины сосны, прошедшей процесс термической модификации при температуре 200°C, склеенной с немодифицированной древесиной осины, составила более 3,2 МПа, то согласно ГОСТ 17005-82 для определения группы водостойкости клеевых соединений проводилось кипячение образцов с последующим испытанием на прочность клеевых соединений при скалывании вдоль волокон древесины.

Предел прочности образцов древесины сосны, прошедшей процесс термической модификации при температуре 200 °С и склеенной с немодифицированной древесиной осины, после кипячения в воде составляет более 2,0 МПа по ГОСТ 17005-82, что позволяет отнести их к средней группе водостойкости клеевых соединений. Прочность клеевых соединений немодифицированной сосны и осины, склеенных с необработанной сосной после кипячения в воде составляет более 3,2 МПа, что по ГОСТ 17005-82 позволяет отнести их к повышенной группе водостойкости клеевых соединений.

На основании дисперсионного анализа, а также сравнения средних величин пределов прочности клеевых соединений для всех испытаний при скалывании вдоль волокон по тесту плановых сравнений (LSD) можно сделать вывод о том, что среднее всех групп образцов имеют статистически значимые отличия.

Закключение

Проведены экспериментальные исследования прочности и водостойкости клеевого соединения термически модифицированной древесины со-

сны с немодифицированной древесиной сосны и осины.

На основании исследований можно сделать следующие выводы:

1) Прочность клеевого соединения с увеличением температуры процесса обработки и потери массы древесины уменьшается в среднем на 43 % у образцов, прошедших процесс термической модификации при максимальных температурах 200 и 220 °С.

2) С увеличением температуры процесса термической обработки древесины сосны, склеенной с немодифицированной древесиной осины, наблюдается снижение прочности клеевого соединения в среднем на 40; 49 и 58 % в соответствии с температурами обработки 180, 200 и 220 °С, относительно немодифицированной древесины.

3) Водостойкость клеевого соединения с использованием термически модифицированной древесиной меньше, чем у немодифицированной. Не прослеживаются связи между режимами термической обработки для ТМД, склеенной с не обработанной древесиной осины и водостойкостью. Однако для клеевого соединения ТМД сосны с не обработанной древесиной сосны наблюдается увеличение водостойкости с увеличением температуры термической обработки.

4) Имеет место высокий процент разрушения образцов по древесине, характеризующий снижение механических характеристик древесины после термической модификации.

Результаты экспериментальных исследований будут использованы при разработке новых клееных строительных материалов с использованием термически модифицированной древесины и исследовании их физико-механических и эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Сафин, Р.Р. Разработка технологии и аппаратного оформления термомодифицирования древесины в жидкостях / Р.Р. Сафин, Е.А. Белякова, Р.А. Халитов, Е.И.

Байгильдеева // Вестник Казанского технологического университета. Казань, 2012. № 3. С.131-133.

2. Шарапов, Е.С. Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны / Е.С. Шарапов, Karl-Christian Mahnert, А.С. Королев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2013. № 2. С. 90–96.

3. Шарапов, Е.С. Влияние процесса термической модификации на физико-механические свойства древесины / Е.С. Шарапов, А.С. Королев // Труды Поволжского государственного технологического университета – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – С. 335–341

4. Militz, H. (2002). Thermal Treatment of Wood: European Processes and Their Background. IRG/WP 02-40241, 33rd Annual Meeting, 12–17 May, Cardiff-Wales, 4: 1–17.

5. Finnish Thermo Wood Association (2003). ThermoWood Handbook. Helsinki, Finland

6. Boonstra, M. J. (2008). A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1,297 p

7. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, А.Р. Шайхутдинова // Вестник Казанского технологического университета. Казань, 2011. № 6. С.93-99.

8. Клееный деревянный элемент: 125226 Рос. Федерация: МПК E04C 3/14/ Шарапов Е.С., Королев А.С., Попова Н.В. - № 2012133117/03; заявл. 01.08.2012; опубл. 27.02.2013

9. Шарапов, Е.С. Экспериментальные исследования прочности клеевого соединения и водопоглощения термически модифицированной древесины дуба (*Quercus robur*) / Е.С. Шарапов, Н.В. Попова, А.С. Королев // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2012. С. 52–54.

10. ГОСТ 15613.1-84. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон. М: Изд-во стандартов, 1982. -6 с.

11. ГОСТ 17005–82. Конструкции деревянные клееные. Метод определения стойкости клеевых соединений. М: Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.

12. ГОСТ 16483.20–72. Древесина. Метод определения водопоглощения. М: Изд-во стандартов, 1999. – 3 с.

© **Е. С. Шарапов** – канд. техн. наук, доц. каф. деревообрабатывающих производств, Поволжский госуд. технол. университет, SharapovES@volgatech.net; **А. С. Королев** – асп. той же кафедры, aleksandr_88-08@mail.ru; **А. Р. Хисамеева** – канд. техн. наук, доц. каф. переработки древесных материалов КНИТУ, albinakhisameeva@mail.ru.