

УДК 630.88

Разработка технологии формирования профильной поверхности древесины

Горбачева Галина Александровна^(*)

gorbacheva@bmstu.ru

Грачева Ксения Владимировна

grachevakv@student.bmstu.ru

Маков Михаил Максимович

makovmm@student.bmstu.ru

Смирнов Степан Евгеньевич

smirnovse@student.bmstu.ru

Калинина Алёна Анатольевна

kalinina@bmstu.ru

Санаев Виктор Георгиевич

vgsanaev@bmstu.ru

МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московская обл., Мытищи, Россия

*В работе приводятся результаты экспериментального исследования разработки технологии формирования профильной поверхности древесины. Выполнен обзор исследований в области методов получения профильной поверхности. Разработана методика исследования для различных предысторий деформирования, включающих нагружение, сушку, илифование и увлажнение древесины. Модель гигро(термо)-механических деформаций древесины, предложенная Б.Н. Уголевым, использована для описания деформационных превращений. Проведены экспериментальные исследования для двух предысторий деформирования на образцах из древесины лиственных — ольха (*Alnus Mill.*), береза (*Betula L.*), клен (*Acer L.*) и хвойных пород — ель (*Picea A. Dietr.*), лиственница (*Larix Mill.*). Показана возможность применения разработанной методики для получения профильной поверхности древесины без режущих инструментов.*

Ключевые слова: формирование профильной поверхности древесины, метод «объемного прессования», модель гигро(термо)-механических деформаций, деформационные превращения

Введение. Человечество за свою историю разработало множество способов обработки древесины для создания эстетического эффекта. Одним из способов обработки древесины, для получения такого эффекта, является создание объемных объектов на поверхности древесины, разработанный японскими мастерами. Согласно источникам, дошедшим до наших дней, в древней Японии использовали метод «объемного прессования», в результате которого обрабатываемая поверхность древесины выпирала, создавая эффект «капли».

Во многих технологических процессах деревообработки древесина подвергается одновременному воздействию нагрузок, влажности и температуры [1–4]. В нагруженной древесине с изменением влажности и температуры происходят деформационные превращения, которые проявляются в переходе одних видов деформаций в другие и возникновении новых деформаций [2, 4–6]. Учет и использование особенностей деформирования нагруженной древеси-

ны при переменной температуре и влажности позволяет совершенствовать существующие и создавать новые эффективные технологии, улучшать качество изделий [2, 3].

Материалы и методы. Для экспериментов были выбраны пять древесных пород, которые произрастают на территории Японии: три лиственные породы — ольха (*Alnus* Mill), береза (*Betula* L.), клен (*Acer* L.), и две хвойные породы — ель (*Picea* A. Dietr), лиственница (*Larix* Mill). Для исследования технологии формирования профильной поверхности древесины была разработана методика исследования для различных предысторий деформирования, включающих нагружение, сушку, шлифование, увлажнение древесины. Эксперименты проводились на образцах древесины размерами 70×80×20 мм, имеющих различные степени влажности (древесина камерной сушки — 8–10 % и мокрая — более 100 %), при комнатной температуре. Нагружение осуществлялось путем вдавливания металлической формы в древесину тремя различными способами: на испытательной машине INSTRON 3369 (1), с помощью струбины (2), ударным методом (3). Для описания деформационных превращений при переменной температуре и влажности нагруженной древесины была использована модель гидро(термо)-механических деформаций, разработанная Б.Н. Уголевым, которая учитывает формирование квази-остаточных замороженных деформаций ε_f , кроме известных обратимых упругих ε_e , эластических ε_v и необратимых пластических ε_p деформаций [2, 6, 7]. Квази-остаточные замороженные деформации ε_f определяются как разница между упруго-эластическими деформациями древесины при начальных и конечных температурно-влажностных условиях. Они образуются в результате временной перестройки в наноструктуре древесины под управляющим воздействием нагрузки при увеличении жесткости древесины при сушке или охлаждении. Замороженные деформации исчезают при увлажнении и нагревании. Поскольку замороженные деформации являются обратимыми деформациями, они являются носителями эффекта памяти формы древесины [2, 6, 7]. В направлении поперек волокон при изменении влажности деформационные превращения более сложны из-за усушки и разбухания [4, 8].

Результаты. Были проведены экспериментальные исследования для предысторий деформирования, включающих различные способы и условия деформирования.

В экспериментах серии № 1 осуществлялось деформирование мокрой древесины с последующей сушкой под нагрузкой. В этом случае образуются обратимые упругие ε_e и эластические ε_v , а также необратимые пластические ε_p и квази-остаточные замороженные ε_f деформации. Для мокрой древесины нагружение проводилось путем вдавливания металлической формы в древесину тремя способами (испытательная машина INSTRON 3369, струбина, ударный метод), затем сушка под нагрузкой до влажности 8–10 % при комнатной температуре, далее шлифование и увлажнение древесины при температуре 100 °С, в результате чего происходило исчезновение замороженных деформаций ε_f [2, 4, 7]. На рис. 1, 2 представлены результаты одного из опы-

тов для древесины ольхи, здесь показаны изменения деформаций (глубина вдавливания) ε , нагрузки P , температуры t и влажности W во времени τ . На участке 0–1 образец при температуре 20 °С с влажностью 10 % увлажняли в воде до влажности 120 %.

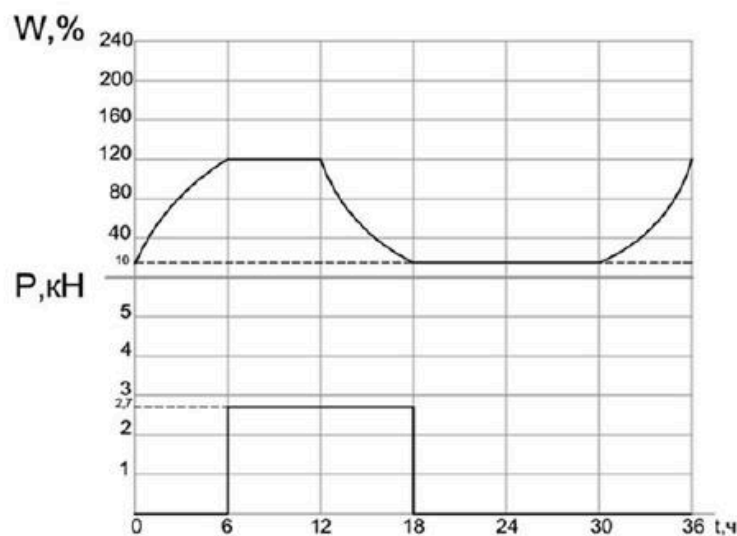


Рис. 1. Изменение влажности образца из древесины ольхи и нагрузки во времени, эксперимент серии № 1

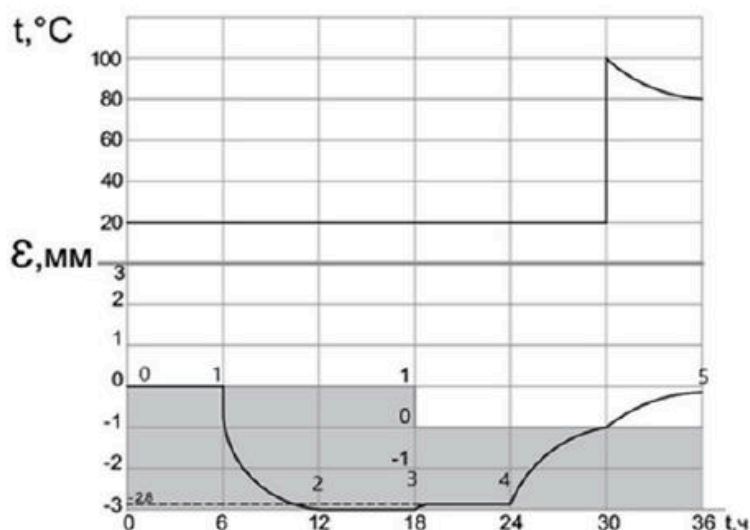


Рис. 2. Изменение температуры и глубины вдавливания (образец из древесины ольхи) во времени, эксперимент серии № 1

Далее образец был нагружен на испытательной машине INSTRON 3369 до 2,7 кН (участок 1–2). Затем образец был высушен под нагрузкой (1–2) до влажности 10 %. Общие деформации не изменяются из-за деформационных превращений, вызванных образованием замороженных деформаций ε_f при сушке под нагрузкой. После разгрузки (3–4) возвратились упруго-эластические деформации высушенной древесины ε_{ev} и осталась сет-деформация ε_s . После

снятия нагрузки проведено шлифование поверхности древесины на глубину 1–2 мм (3–4). Повышение влажности древесины при температуре 100 °С до начальной влажности 120 % (4–5) привело к исчезновению замороженной деформации ε_f . Наблюдаемый размер увеличился. Появилась выпуклая поверхность без использования режущих инструментов.

В экспериментах серии № 2 для древесины камерной сушки предыстория включала нагружение (испытательная машина INSTRON 3369, струбцина, ударный метод), шлифование на глубину 1–3 мм и увлажнение древесины при температуре 100 °С до полного восстановления деформированной части. В этом случае образуются обратимые упругие, эластические деформации и необратимые пластические. На рис. 3 показаны результаты экспериментов по получению профильной поверхности для образца из древесины ольхи спустя 2 часа после выдержки в воде при температуре 100 °С.



Рис. 3. Профильная поверхность образца из древесины ольхи

Обсуждение. Исследования показали, что наилучший результат был получен для древесины ольхи и клена для серии экспериментов № 2, включающих нагружение, шлифование и последующее увлажнение древесины. Выявлено, что для древесины лиственных пород подходят оба способа формирования профильной поверхности, для древесины хвойных пород предпочтительно использовать методику серии экспериментов № 2, нагружение с помощью струбцины. Особенности деформирования зависят от строения и свойств древесины исследуемых пород. Выявлена корреляция характеристик древесины с физико-механическими свойствами, микроскопическим строением для получения профильной поверхности изделий из древесины. Хвойные породы характеризуются довольно простой структурой с трахеидами в качестве основного типа клеток (около 90–95 % их общего объема) по сравнению с лиственными породами, которые имеют морфологически и функционально более сложные дре-

весные ткани. Древесина лиственных пород отличается повышенным содержанием гемицеллюлоз, в частности, пентозанов, которые являются аморфными полимерами, не имеющими тенденции к образованию кристаллических областей в их естественной форме, служат связующими в клеточных стенках и обеспечивают их гибкость и эластичность, что объясняет возможность применения двух методик формирования профильной поверхности.

На рис. 4 представлена схема формирования профильной поверхности, где 0 — исходное состояние поверхности древесины, 1 — нагружение и разгрузка, 2 — шлифование, 3 — увлажнение при температуре 100 °С. Наблюдаемый размер увеличился, появилась выпуклая поверхность, создавая эффект «капли». Как следует из рис. 4, получена профильная поверхность без использования режущих инструментов. Общая величина восстановленной деформации оказалась меньше из-за возникновения пластических деформаций ϵ_p .

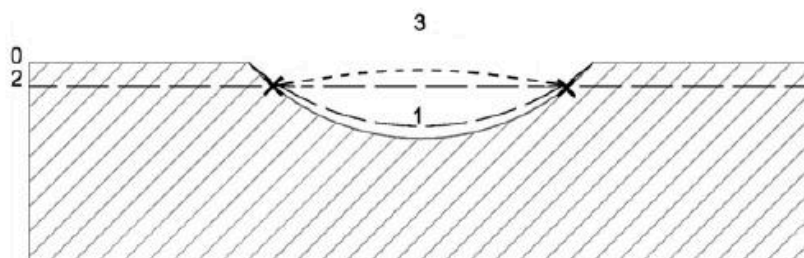


Рис. 4. Схема формирования профильной поверхности древесины

Заключение. Разработана методика исследования для различных предысторий деформирования, включающих нагружение, сушку, шлифование и увлажнение древесины. Проведены экспериментальные исследования на образцах пяти древесных пород. Показано, что при формировании профильной поверхности древесины происходят деформационные превращения древесины, которые проявляются в переходе одних видов деформации в другие при воздействии переменной температуры и влажности. Предложенные методы подходят для формирования профильной поверхности древесины без режущих инструментов.

Исследования выполнены в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)».

Литература

- [1] Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Калинина А.А. Обратимость деформаций древесины, остающихся после сушки под действием растягивающей нагрузки. *Научные труды Московского государственного университета леса*, 2011, № 353, с. 13–16.
- [2] Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology*, 2014, vol. 48, pp. 553–568. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0611-2>

- [3] Niemz P., Teischinger A., Sandberg D. (Eds). *Springer Handbook of Wood Science and Technology*. Springer, Cham, 2023, 2064 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4>
- [4] Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Калинина А.А., Смирнов Д.В. Исследование деформационных превращений поперек волокон древесины кольцесосудистых пород. *Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. III Междунар. науч.-техн. конф.: сб. тр.* Кострома, Костромской государственной технологической университет, 2015, с. 32–34.
- [5] Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Калинина А.А., Белковский С.Ю. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность. *Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник*, 2012, № 7, с. 124–126.
- [6] Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. Экспериментальное исследование показателей эффекта памяти древесины. *Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник*, 2014, т. 18, № 2, с. 66–69.
- [7] Niemz P., Sonderegger W., Gorbacheva G. *Elastic and Inelastic Properties of Wood and Wood-Based Materials*. Springer Handbook of Wood Science and Technology, Springer, Cham, 2023, pp. 399–439. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4_8
- [8] Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Kalinina A.A. Frozen shrinkage of wood. *Proc. of 6th IUFRO Symposium. Wood structure and properties'10*, Zvolen, Arbora Publishers, 2010, pp. 73–77.

Development of a technology for forming a profiled wood surface

Gorbacheva Galina Aleksandrovna^(*)

gorbacheva@bmstu.ru

Gracheva Kseniya Vladimirovna

grachevakv@student.bmstu.ru

Makov Mikhail Maksimovich

makovmm@student.bmstu.ru

Smirnov Stepan Evgen'yevich

smirnovse@student.bmstu.ru

Kalinina Alena Anatol'yevna

kalinina@bmstu.ru

Sanayev Viktor Georgiyevich

vgsanaev@bmstu.ru

Mytischki Branch of BMSTU, Moscow region, Mytischki, Russia

*The paper presents the results of an experimental study on developing a technology for forming profiled wood surfaces. A review of research in the field of methods for obtaining profiled surfaces has been carried out. A research methodology has been developed for various deformation prehistories, including loading, drying, sanding, and moistening of wood. To describe deformative conversions, the model of hygro(thermo)-mechanical strains of wood proposed by B.N. Ugolev was employed. Experimental studies were conducted for two deformation prehistories using specimens of hardwood species (alder — *Alnus* Mill., birch — *Betula* L., maple — *Acer* L.) and softwood species (spruce — *Picea* A. Dietr., larch — *Larix* Mill.). The study demonstrates the feasibility of using the developed methodology to produce profiled wood surfaces without cutting tools.*

Keywords: formation of profiled wood surfaces, “volumetric pressing” method, model of hygro(thermo)-mechanical strains, deformative conversions