

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФНОГО ОТТИСКА

А. В. Кирилина

ФГБОУ ВО «Уральский лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация

В работе представлены исследования изменения физико-механических свойств при формировании рельефного оттиска холодным тиснением на поверхности деталей из древесины лиственных пород. Отмечено, что при одинаковой технике прессования каждая лиственная порода ведет себя по-разному, так как физико-механические свойства у каждой породы древесины различны. Однако клетки любой древесины создают пористую структуру, которая поддается деформации, сохраняя свою целостность. С увеличением плотности древесины возрастает сила упругости и сопротивляемость (жесткость) клеточных стенок во время нагружения. Результаты формоизменяемости строения древесины, полученные при помощи электронного микроскопа JSM-6390, показали, что древесная клетка при определенном режиме прессования может не только деформироваться (сминаться), но и восстанавливать свою прежнюю форму в среднем на 60-70 %. Процесс восстановления деформируемых клеток выполняли за счет насыщения клеточных стенок водой. Во время насыщения, клетки перемещают влагу от наружных к внутренним слоям древесины. Тем самым происходит плавное восстановление смятых клеток. На основании такого принципа разработана художественно-декоративной отделки поверхности деталей из древесины лиственных пород путем холодного тиснения. Данная техника декорирования основывается на формоизменяемости клеток древесины путем их смятия до предела разрушения и последующего их восстановления. Художественно-декоративный вид отделки методом холодного тиснения формирует различные рельефные узоры, с сохранением при этом структуры древесины, что повышает не только красоту изделия или предмета мебели в целом, но так же и стойкость оттиска во время эксплуатации.

Ключевые слова: древесина, деформация, клетка древесины, нагружение, восстановление, формоизмененная клетка, холодное тиснение.

SPECIFIC FEATURES OF DEFORMATION OF WOOD IN THE FORMATION OF IMITATION EMBOSSING

A. V. Kirilina

Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ural State Forest Engineering University»,
Ekaterinburg, Russian Federation

The paper presents a study of changes in physical and mechanical properties when forming imitation embossing with cold stamping on the surface of details from wood of deciduous species. It is noted that when the same technique of pressing, every tree species is different, since physical and mechanical properties of each type of wood are different. However, cells of any wood create porous structure that lends itself to deformation, while maintaining its integrity. With increasing wood density the elastic force and the resistance (stiffness) of the cell walls during the loading increases. The results of dimensional instability of the wood structure, obtained by using electron microscope JSM-6390, showed that wood cell with a certain mode of compression can not only be deformed (crumpled), but also to restore its original shape on average for 60-70 %. The recovery process of deformed cells was performed due to saturation of cell walls with water. During saturation, the cell moves the moisture from the outer to the inner layers of wood. Thus is the smooth recovery of the crumpled cells. Based on this principle the technology of artistic and decorative surface finishing of parts made of hardwoods by cold stamping was developed. This decorating technique is based on dimensional instability of wood cells by crushing to the limit of destruction and subsequent recovery. Artistic and decorative finishing by cold stamping form various relief patterns, with preservation of the wood structure, which enhances not only the beauty of the product or piece of furniture as a whole, but also the durability of the impression during operation.

Keywords: wood, deformation, wood cell, loading, recovery, changed cell, cold stamping.

Рассматривая древесину на микроуровне и суб-микроуровне, можно видеть, что её структура состоит из клеток, как и всякий материал растительного и животного происхождения. Древесная клетка – это упруго-пластичный материал, который может изменять свои размеры и свойства. [1, 2, 3, 4] Изменение размеров клетки происходит в двух случаях: при внешнем воздействии и при её росте, делении и т. д. Внешнее воздействие возможно за счет прессования, сжатия или внедрения в древесину различных пуансонов, что приводит к частичной или полной деформации структуры древесины, в том числе и древесных клеток (рис. 1).

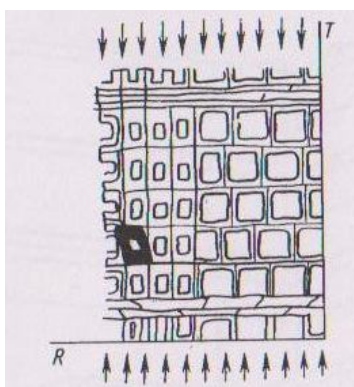


Рис. 1. Деформация древесины при сжатии в тангенциальном направлении (по Ю.С. Соболеву) [5]

Деформация во время нагружения будет расти пропорционально плотности, до момента разрушения клеточных стенок (рис. 2). Линейная зависимость позволяет найти взаимосвязь ряда переменных факторов, характеризующих деформационную картину при прессовании. При холодном прессовании получим частично деформируемые, смятые клетки, которые можно восстановить за счет упругих деформаций путем увлажнения древесины. Деформируемые стенки клеток, впитывая влагу, будут восстанавливаться, тем самым восстанавливая волокна древесины в целом.

Древесина достаточно неоднородный материал, в различных направлениях (тангенциальном, радиальном и др.) имеет разные механические свойства, которые влияют на деформацию стенок клеток. На рис. 1 изображен участок поперечного разреза древесины с показанной характерной деформацией отдельных клеток в зоне зарождения очага разрушения [5, 6, 7]. Жесткость древесины при сжатии в тангенциальном направлении ниже, по сравнению с радиальным направ-

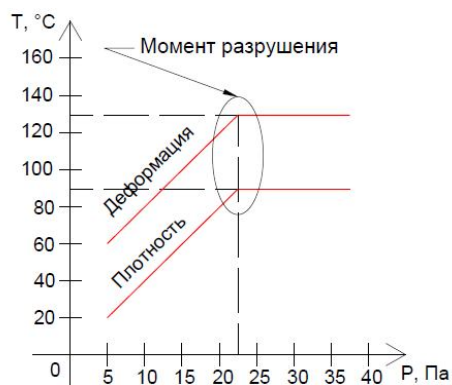


Рис. 2. Линейная зависимость плотности и деформации древесины: T – температура, °C; P – давление, Па

лением волокон. Соответственно, деталь древесины с тангенциальным направлением волокон более податливая во время сжатия, что приведет в дальнейшем к более лучшему восстановлению клеточных стенок.

Деформацию и уплотнение клеток во время прессования можно определить через давления и жесткости согласно закону Гука, так как при частичной деформации зависимость между напряжениями и деформациями близка к линейной. Для некоторых лиственных пород сила упругости представлена в табл. 1 и определена по формуле (1)

$$F = \kappa \times \Delta X, \quad (1)$$

где κ – коэффициент упругости (коэффициент деформации);

ΔX – абсолютное удлинение стержня (глубина упругости).

Расчет произведен для лиственных пород древесины, которые наиболее востребованы в деревообрабатывающей промышленности. По данным из табл. 1 видно, как изменяется сила упругости у разных пород древесины. Следует, что сила упругости возрастает с увеличением плотности древесины и её модуля упругости. Чем больше сила упругости у древесины, тем менее податливы будут древесные клетки, что приведет к слабой деформации.

Для изучения поведения древесиной клетки во время её деформирования и восстановления, было проведено исследование состояния клеток до деформации, после их смятия и восстановления на электронном микроскопе JSM-6390.

В связи с тем, что древесина является вязко-пластично-упругим материалом, во время прессования на месте внедрения пуансона происходит изменение

Упругая деформация для лиственных пород древесины

№	Наименование породы	Модуль упругости при статическом изгибе, тыс. кгс/см ²	Сила упругости F , кН
1	Дуб	107	21,4
2	Бук	128	25,6
3	Осина	115	23
4	Берёза	146	29,2
5	Груша	119	23,8

физико-механических свойств древесины. Пластичность и упругость клеточной стенки позволяют деформировать клетку до необходимого состояния. Экспериментально было установлено, до какого предела можно формоизменить клетку, чтобы её деформируемое состояние привести в первоначальное. На рис. 3 показаны клетки древесины липы и бука до их деформации.

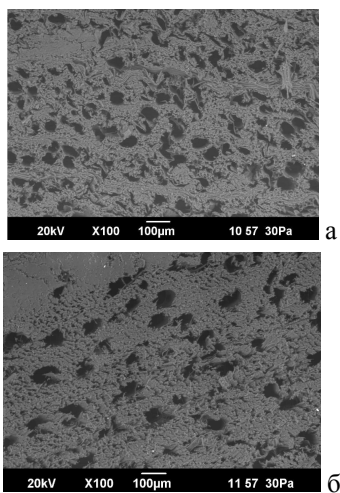


Рис. 3. Не деформируемые клетки древесины под электрическим микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

Выбранные лиственные породы имеют разную плотность, жесткость. Древесина липы «мягкая», она легко деформируется и восстанавливается. Бук достаточно твердый природный материал, который сложнее обрабатывается, но пользуется большим спросом в деревообрабатывающей промышленности.

На рис. 4 показаны формоизмененные клетки древесины липы и бука после их нагружения. Время нагружения составляло 2 минуты, а глубина внедрения пуансона в древесину 2,5 мм.

Уменьшение клеточного пространства при-

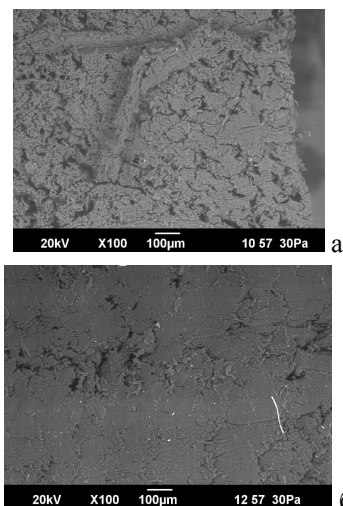


Рис. 4. Деформируемые (смятые) клетки древесины под электрическим микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

вело к изменению линейных размеров на поверхности древесины. Схематически это показано на рис. 5. Клетки на месте нагружения изменили свой форморазмер. Деформационное их состояние временное, так как структура клеточной стенки не разрушена.

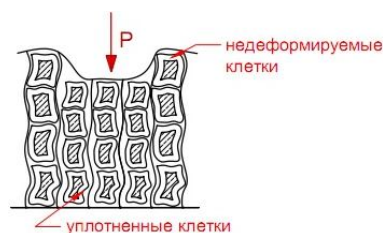


Рис. 5. Условно-схематическое состояние деформируемых древесных клеток

Восстановление формоизмененных клеток происходит постепенно. Существенную роль при этом играет влажность. Учитывая, что клетка состоит в среднем на 70 % из воды [8], во время деформации она теряет

определенный процент жидкости. Формоизмененная клетка старается снять напряжение и деформацию, возникшие во время нагружения, путем поглощения влаги до предела насыщения. Область вокруг клетки, её стенки обильно впитывают воду, что приводит к восстановлению (рис. 6). Соответственно, деформируемые клетки не восстанавливают первоначальную форму, так как давление оказано больше силы упругости клеточных стенок. В связи с этим, восстановление осуществляется на 60-70 % относительно глубины прессования, что было установлено расчетным путем.

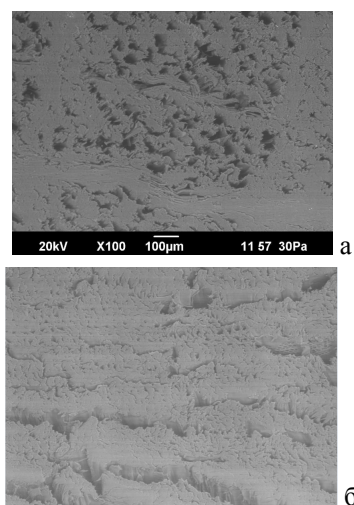


Рис. 6. Восстановленные клетки древесины под электрическим микроскопом JSM-6390: а – клетки древесины бука; б – клетки древесины липы

Механические свойства древесины позволяют исследовать её структуру, используя закон реологии. [9, 10] Релаксация древесины способствует деформированию во время нагружения и восстановления после снятия нагрузки на микроуровне. Также гигроскопичность древесины способствует обильному поглощению влаги от наружных слоев к внутренним, что приводит к восстановлению всех деформируемых клеток, а не какой-либо их части.

Данные характеристики древесной клетки, определяют древесину, как вязко-пластично-упругий материал, который подвергают различным видам обработки. Художественно-декоративные виды отделки могут не только разрушать наружные слои древесины, создавая на поверхности различные декоры, но так же и сохранять её, формируя рельефные оттиски путем деформирования древесных клеток. Холодное тиснение древесины [11, 12] – это новый вид отделки, который основывается именно на смятии клеток, а затем на их восстановлении для формирования рельефных узоров на поверхности деталей из древесины. Данный способ разработан путем теоретических и экспериментальных исследований. Благодаря которому можно создавать удивительные рельефные оттиски на поверхности деталей мебели, предмета интерьера или экстерьера (рис. 7).



Рис. 7. Ключница с рельефными узорами

Художественно-декоративная отделка холодным тиснением упрощает существующий технологический процесс термопрессования, что снижает затраты, создавая прочный и надежный рельефный узор на поверхности детали из древесины. Рельефный оттиск обладает повышенной стойкостью к внешним факторам, так как все деформируемые клетки восстановлены. Рельефный оттиск со временем не теряет форму, не деформируется, что повышает ценность и эстетические качества изделия.

Библиографический список

1. Fry, S. C. The growing plant cell wall: Chemical and metabolic analysis [Text] / S. C. Fry // *Ann. Rev. Plant Physiol.* – 1988. – № 46. – P. 497-520.
2. Fry, S. C. Phenolic components of the primary cell wall. Feruloylated disaccharides of D-galactose and L-arabinose from spinach polysaccharide [Text] / S. C. Fry // *Biochem. J.* – 1982. – № 203 (2). – P. 493-504.
3. Donaldson, Lloyd A. Xylem parenchyma cell walls lack a gravitropic response in conifer compression wood [Text] / Lloyd A. Donaldson, B. Nanayakkara, K. Radotic // *Planta.* – 2015. – № 242. – P. 1413-1424.
4. Pan, Y. Micromechanical modeling of the wood cell wall considering moisture absorption [Text] / Y. Pan,

Z. Zhong // Composites Part. – 2016. – № 91. – P. 27-35.

5. Соболев, Ю. С. Древесина как конструкционный материал [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Соболев. – М., 1979. – 248 с.
6. Хухрянский, П. Н. Прочность древесины [Текст] : учеб. пособие / П. Н. Хухрянский. – М., 1955. – 152 с.
7. Ашкенази, Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов [Текст] : учеб. пособие / Е. К. Ашкенази. – М., 1978. – 224 с.
8. Перельгин, Л. Древесиноведение [Текст] : учеб. пособие / Л. Перельгин. – М., 1949. – 375 с.
9. Рейнер, М. Реология [Текст] : учеб. пособие / М. Рейнер. – М., 1965. – 223 с.
10. Тюленева, Е. М. Уточнение реологической модели древесины [Электронный ресурс] / Е. М. Тюленева // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – № 1. – Режим доступа: http://forest-culture.narod.ru/HBZ/Stat_08_1-2/tuleneva.pdf.
11. 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. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18708>.
12. Патент на изобретение 2529385 РФ, МПК В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративного рельефного изображения на поверхности плоского изделия из древесины [Текст] / Ю. И. Ветошкин, А. В. Запрудина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УГЛТУ». – № 2013116304/12; заявл. 09.04.2013 ; опубл. 27.09.2014.

References

1. Fry S.C. The growing plant cell wall: Chemical and metabolic analysis. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 1988, no. 46, pp. 497-520.
2. Fry S.C. Phenolic components of the primary cell wall. Feruloylated disaccharides of D-galactose and L-arabinose from spinach polysaccharide. *Biochem. J.*, 1982, no. 203 (2), pp. 493-504.
3. Donaldson Lloyd A., e.a. Xylem parenchyma cell walls lack a gravitropic response in conifer compression wood. *Planta*, 2015, no. 242, pp. 1413–1424.
4. Pan Y., e.a. Micromechanical modeling of the wood cell wall considering moisture absorption. *Composites Part*, 2016, no. 91, pp. 27-35.
5. Sobolev Yu.S. *Drevesina kak konstruksionnyy material* [Wood as a structural material] Moscow, 1979, 248 p. (In Russian).
6. Khukhryanskiy P.N. *Prochnost' drevesiny* [Durability of wood] Moscow, 1955, 152 p. (In Russian).
7. Ashkenazi E.K. *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov* [The anisotropy of wood and wood materials] Moscow, 1978, 224 p. (In Russian).
8. Perelygin L. *Drevesinovedenie* [Wood maintenance] Moscow, 1949, 375 p. (In Russian).
9. Reyner M. *Reologiya* [Rheology] Moscow, 1965, 223 p. (In Russian).
10. Tyuleneva E.M. Utochnenie reologicheskoy modeli drevesiny. *Khvoynye boreal'noy zony*, 2008, no. 1. Available at: http://forest-culture.narod.ru/HBZ/Stat_08_1-2/tuleneva.pdf. (In Russian).
11. Kirilina A.V., Vetoshkin Yu.I. *Khudozhestvenno-dekorativnyy vid otdelki detaley iz drevesiny listvennykh porod metodom tiseniya*. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 1. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18708>. (In Russian).
12. Zapryudina A.V., [et.all.]. *Sposob polucheniya dekorativnogo rel'efnogo izobrazheniya na poverkhnosti ploskogo izdeliya iz drevesiny* [A method of obtaining a decorative relief image on surface of flat wood products]. Patent RF, no. 2529385, 2014. (In Russian).

Сведения об авторах

Кирилина Анна Васильевна – аспирантка кафедры механической обработки древесины института Лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства ФГБОУ ВО «Уральский Государственный Лесотехнический Университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: 25zav@mail.ru.

Information about authors

Kirilina Anna Vasilevna – post-graduate student teacher Mechanical processing of wood Institute The timber processing business and road construction Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Ural State Forestry Engineering University», Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: 25zav@mail.ru.