

УДК 674.028.9

## ВЛИЯНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДРЕВЕСИНЫ НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ

© *В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.*

*Н.С. Рудная, ст. преп.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002; тел.: 8(8182) 21-61-68

Склеивание древесины является перспективным направлением повышения эффективности ее использования. Клееная древесина применяется в строительстве, судо- и автомобилестроении, производстве мебели и др. Черновые заготовки из древесины, полученные распиловкой круглыми и рамными пилами, имеют высокую начальную шероховатость поверхности древесины и невысокую точность обработки, что требует назначения больших припусков на последующую механическую обработку и сопровождается повышенным расходом материала. В статье рассмотрено влияние микрорельефа поверхности древесины (сосна, береза) на прочность клеевого соединения. Определены степень контактности сопрягаемых поверхностей древесины, толщина клеевого шва, удельное давление запрессовки, прочность склеивания для разных пород древесины (сосна, береза) с различной шероховатостью поверхности. Прочность клеевого соединения древесины возрастает с увеличением площади склеивания, поэтому склеивание поверхностей древесины с повышенной шероховатостью сопровождается увеличением фактической площади склеивания за счет смятия неровностей в зоне контакта. Толщина клеевой прослойки при склеивании древесины с повышенной шероховатостью находится в пределах норм для склеивания на гладкую фугу. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что повышение эффективности использования древесины может быть достигнуто снижением припусков на первичную механическую обработку в исходных материалах и заготовках с высокой первичной шероховатостью поверхности за счет исключения операций фрезерования при подготовке их к склеиванию. Результаты исследований подтверждают эффективность склеивания древесины с повышенной шероховатостью поверхности после распиловки рамными и круглыми пилами.

*Ключевые слова:* древесина, прочность склеивания, микрорельеф, шероховатость поверхности, степень контактности, толщина клеевого шва, деформация, прессование.

Склеивание является одним из видов соединения деталей из древесины и перспективным направлением повышения эффективности ее использования, широко применяется в технологических процессах деревообработки, производстве мебели, строительстве, судо- и автомобилестроении и др.

Прочность клеевого соединения древесины определяется качеством подготовки склеиваемых поверхностей; степенью контактности сопрягаемых поверхностей древесины; толщиной клеевого шва; видом, качеством и расходом клея; породой и влажностью древесины; величиной и равномерностью распределения давления запрессовки; технологией и процессом сборки конструкции.

Основное внимание принято уделять достижению высокой степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины. Качество подготовки поверхности древесины к склеиванию оценивается микрорельефом и шероховатостью, которые характеризуются величиной неровностей на поверхности древесины, связанных с характером их происхождения (кинематические, вибрационные, неровности разрушения и упругого восстановления анатомических элементов материала), механическим повреждением волокон, ворсистостью и мшистостью, точностью механической обработки поверхностей древесины, а также особенностями ее макростроения.

Требуемая высокая точность обработки поверхности заготовок из древесины разных пород с чистотой обрабатываемой поверхности до 200 мкм обеспечивается цилиндрическим фрезерованием. Припуск определяется нормативами, в отдельных случаях припуск на фрезерование достигает 20...30 % от номинального размера заготовки, что приводит к повышенному расходу материала. Припуски на обработку заготовок из древесины возрастают с увеличением длины, номинальной ширины и толщины деталей [2].

Черновые заготовки из древесины, полученные распиловкой круглыми и рамными пилами, имеют высокую начальную шероховатость поверхности древесины и невысокую точность обработки (отклонение линейных размеров от номинального значения), что требует назначение больших припусков на последующую механическую обработку.

После распиловки круглыми пилами шероховатость поверхности древесины составляет 40...800 мкм, после рамной распиловки – 500...1600 мкм для хвойных и 315...1000 мкм для лиственных пород [3].

Расход древесины при склеивании может быть снижен, если не назначать припусков на механическую обработку и склеивать древесину с большой степенью шероховатости сопрягаемых поверхностей.

В технической литературе имеются фрагментарные неоднозначные сведения по результатам проведенных исследований в этом направлении, но не раскрывается суть процесса склеивания древесины с большой шероховатостью поверхности. Некоторые авторы не рекомендуют склеивать древесину после рамной распиловки с шероховатостью поверхности 400 мкм и более из-за низкой прочности склеивания, большого расхода связующего, разнотолщинности клеевого шва, низкой адгезии клея к древесине, большой его усадки. Другие придерживаются противоположной оценки. Приведенные результаты по склеиванию образцов из древесины лиственницы (образцы шириной 300 мм), полученных при распиловке круглыми пилами, удельном давлении прессования 1,2 МПа, показали, что прочность склеивания образцов с такой шероховатостью вполне удовлетворительна [4].

Э.Р. Янсон отмечает [7], что высокая прочность склеивания может быть достигнута при склеивании древесины с шероховатостью поверхности как 34...84 мкм, так и 400...600 мкм для большинства пород древесины.

Таким образом, наличие противоречий в оценке влияния шероховатости поверхности не позволяет сделать однозначного научно обоснованного вывода и требует проведения дополнительных исследований.

Одно из направлений подготовки к склеиванию поверхности древесины с большой шероховатостью – уменьшение микронеровностей элементов поверхности, полученных деформированием древесины за счет прессования при склеивании. Этот метод силового воздействия на поверхность древесины видоизменяет микрорельеф поверхности с учетом ее пластических свойств. Деформация вершин неровностей поверхностного слоя древесины при прессовании связана с приложенной нагрузкой и определяется упруго-пластическими свойствами материала (рис. 1) [6].

По направлению приложения усилия прессования можно рассматривать как плоское одноосное.

В начальный момент прессования вершины неровностей контактируемых поверхностей древесины, пришедшие в соприкосновение друг с другом, находятся в стадии упругой деформации сжатия клеточной структуры. Степень упрессовки  $\varepsilon \approx 6\%$ .

Во второй фазе прессования тонкие стенки клеток древесины в зоне контакта разрушаются, и наступает стадия пластической деформации при  $\varepsilon = 6...30\%$ .

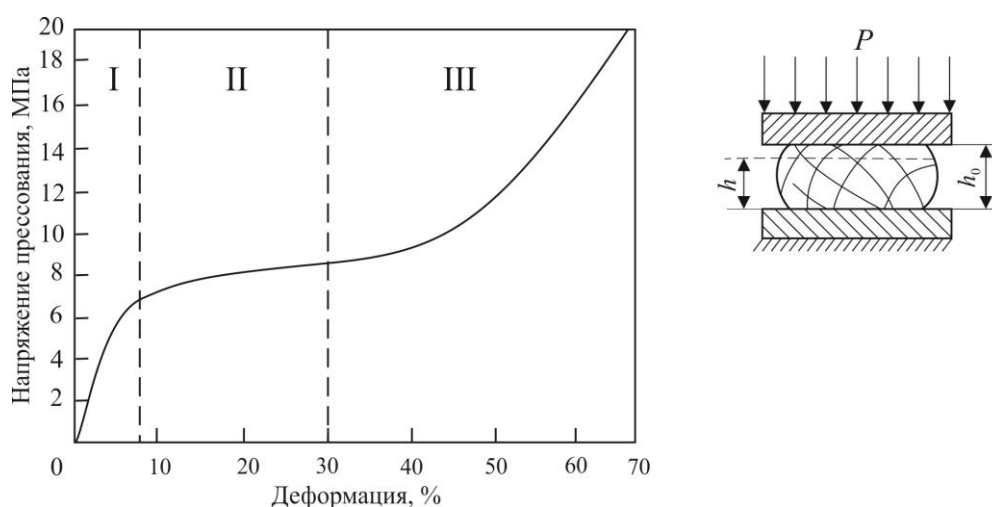


Рис. 1. Зависимость деформации от напряжений при плоском прессовании древесины (I–III – фазы деформации;  $P$  – приложенная нагрузка;  $h_0$  – исходная толщина образца;  $h$  – толщина образца после деформации)

В третьей фазе – при увеличении  $\varepsilon$  до 40 % – разрушаются более толстые стенки клеток древесины, вследствие чего происходит уплотнение полостей клеток, деформированных во второй фазе.

Рассматривая задачу о контактировании поверхностей древесины, можно предположить, что в начальный момент прессования сопрягаемые поверхности древесины будут иметь небольшую фактическую площадь контакта. По мере увеличения приложенной нагрузки площадь контакта увеличивается за счет деформации вершин выступов элементов поверхности древесины. Пластифицированная часть микровыступа древесины будет увеличиваться в объеме и разрушаться. Пятно контакта на вершине выступа увеличится, а пластифицированная часть древесины выступа при этом будет стремиться к заполнению объема смежной впадины поверхности, в результате чего достигается наиболее полное (до 95 %) контактирование сопрягаемых поверхностей древесины (рис. 2).

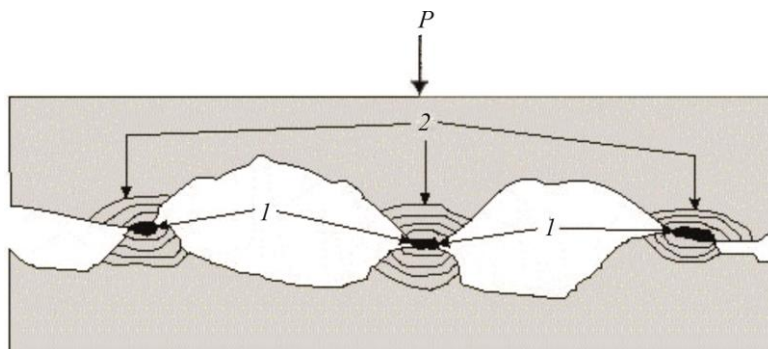


Рис. 2. Упругая деформация и пластическое течение древесины в местах контакта сопрягаемых поверхностей: 1 – зона пластической деформации; 2 – зона упругой деформации ( $P$  – приложенная нагрузка)

Однако это не означает, что контактное поле будет абсолютно плоским, оно определяется рельефом первоначального состояния сопрягаемых поверхностей и величиной неровностей на поверхности древесины. После деформации всех неровностей на поверхности древесины площадь контакта станет наибольшей. При дальнейшем увеличении давления прессования начинается процесс деструкции массива древесины в предповерхностном слое и могут образоваться дефекты (трещины, расслоение, смещение по годичному слою).

Цель наших исследований по повышению эффективности применения древесины с повышенной шероховатостью для склеивания – установление степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины, толщины клеявого шва, расхода связующего и прочности склеивания при различных давлениях запрессовки.

Исследования проводили на образцах из древесины сосны и березы с различной степенью шероховатости поверхности, полученной в процессе пиления рамными и круглыми пилами. Влажность древесины 6...8 %. При этом было установлено, что степень контактирования сопрягаемых поверхностей древесины связана с шероховатостью поверхности (вид обработки – распиловка), породой древесины и удельным давлением при запрессовке. Результаты исследований представлены в табл. 1 – 3.

Таблица 1

Вид распиловки	Удельное давление прессования, МПа, в зависимости от степени контактности заготовок, %		
	50	75	95
Круглой пилой с разводом зубьев	1,56/2,72	1,95/3,70	2,33/4,47
Рамная	1,56/3,11	1,95/4,09	2,72/4,67

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, 3, в числителе приведены данные для древесины сосны, в знаменателе – для березы.

Влияние вида обработки, связующего и породы древесины на толщину клеевого шва и предел прочности древесины при скалывании приведено в табл. 2 и 3.

Влияние удельного давления при запрессовке на прочность клеевого соединения тесно связано с чистотой обработки поверхности древесины [3].

Таблица 2

Вид распиловки	Клей	Толщина клеевого шва*, мм, в зависимости от степени контактности заготовок, %		
		50	75	95
Рамная	Эпоксидный	0,361/0,283	0,321/0,269	0,196/0,199
	Поливинилацетатный (ПВА)	0,289/0,263	0,263/0,228	0,204/0,195
Круглой пилой с разводом зубьев	Эпоксидный	0,287/0,266	0,232/0,206	0,180/0,172
	ПВА	0,250/0,222	0,224/0,184	0,188/0,127

\* Усредненные показатели.

Таблица 3

Вид распиловки	Клей	Предел прочности клееной древесины при скалывании вдоль волокон*, МПа, в зависимости от степени контактности заготовок, %		
		50	75	95
Рамная	Эпоксидный	6,48/10,6	7,04/8,47	6,81/13,71
	ПВА	6,15/7,58	6,90/7,57	7,17/7,61
Круглой пилой с разводом зубьев	Эпоксидный	7,97/8,54	8,24/10,84	8,52/10,96
	ПВА	7,16/9,59	7,60/9,65	8,02/8,96

\* Усредненные показатели.

Специальных испытаний по определению прочности склеенной древесины на скалывание вдоль волокон (ГОСТ 15613.1–84) для образцов с фрезерованной поверхностью не проводили, основываясь на нормативных значениях прочности склеивания при испытании таких образцов. Предел прочности при скалывании древесины по клеевому слою для карбамидоформальдегидных (ГОСТ 14231), фенолформальдегидных (ГОСТ 20907), поливинилацетатных (ГОСТ 18992), эпоксидных (ГОСТ 10587) смол и клеев составляет не менее 6 МПа.

Толщину клеевого шва определяли на установке «Измеритель» (рис. 3) по специальной методике [1].

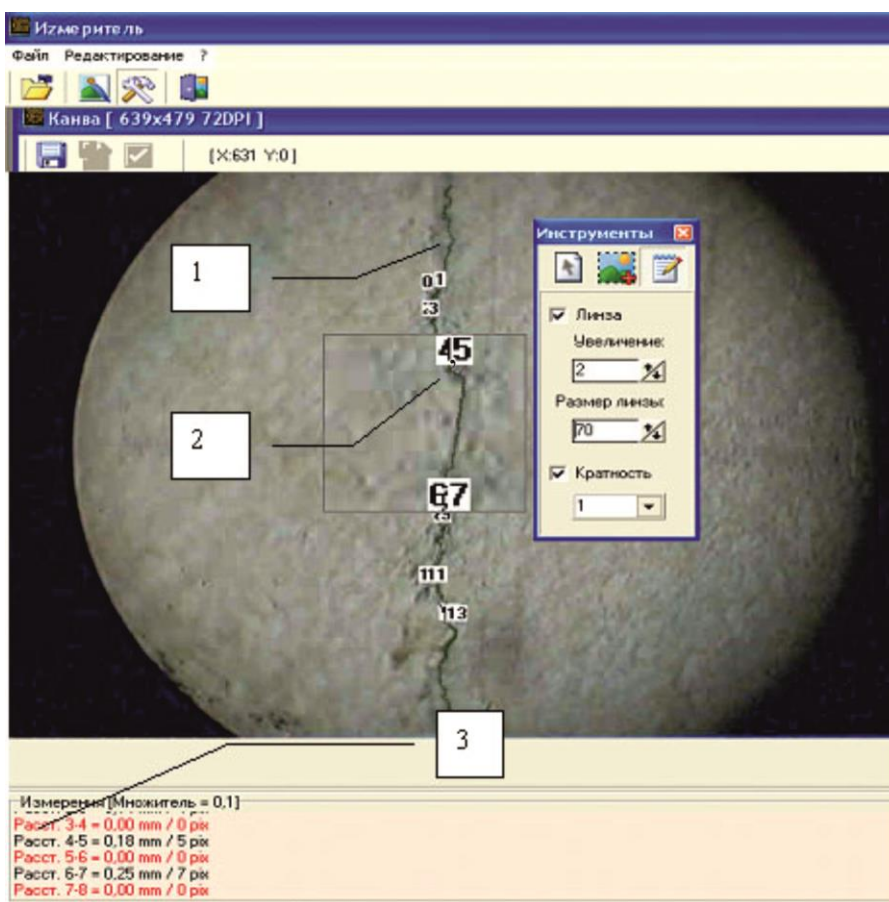


Рис. 3. Клеевой шов (увеличение –  $\times 8$ ): 1 – клеевой шов; 2 – точки (4, 5 и 6, 7) на границе клеевого шва; 3 – толщина клеевого шва (расстояние между точками 4 и 5; порода древесины – береза; вид обработки – рамная распиловка; клей – ПВА; степень контактности сопрягаемых поверхностей – 95 %)

В связующее для придания клеевому шву контрастности вводили краситель: в ПВА – акриловый зеленого цвета, в эпоксидный – порошок коричневого цвета.

Толщина клеевой прослойки зависит от свойств склеиваемых материалов, микрогеометрии их поверхности, упруговязких свойств и адгезии клея. Толщина клеевого слоя 0,2...0,3 мм обеспечивает высокую прочность клеевого соединения [5].

В результате проведенных исследований установлено, что толщина клеевого шва при степени контактирования поверхностей древесины 75 % уменьшилась на 10...20 %, при степени контактирования 95 % – на 30...45 % по сравнению с толщиной клеевого шва при 50 %-й степени контактности (см. табл. 2). Толщина клеевой прослойки при степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины 95 % (склеивание как сосны, так и березы) после усреднения показателей составила 0,127...0,199 мм (табл. 2).

Функциональные зависимости, характеризующие связь между пределом прочности клеевого соединения и степенью контактирования сопрягаемых поверхностей для древесины сосны и березы представлены на рис. 4, 5.

Прочность клеевого соединения древесины возрастает с увеличением площади склеивания, поэтому склеивание поверхностей древесины с повышенной шероховатостью сопровождается увеличением фактической площади склеивания за счет смятия неровностей в зоне контакта.

При испытании на скалывание вдоль волокон образцов склеенной древесины (ГОСТ 15613.1), доведенных до разрушения клеевого соединения, установлено, что независимо от характеристики поверхности склеивания (микрорельефа) образца и вида клея образцы в 50 % случаев разрушались по древесине, в 40 % – по древесине–клею (смешанный характер разрушения), в 10 % – по клеевому шву.

Взаимосвязи между толщиной клеевого шва, породой древесины и прочностью склеивания от степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины представлены на рис. 6.

Таким образом, полученные нами результаты позволяют сделать вывод о том, что повышение эффективности использования древесины может быть достигнуто за счет снижения припусков на первичную механическую обработку в исходных материалах и заготовках, исключения операций фрезерования при склеивании заготовок с высокой первичной шероховатостью поверхности.

Степень контактности сопрягаемых поверхностей при склеивании древесины сосны с повышенной шероховатостью может достигать 95 % при удельном давлении 2,33 ... 2,72 МПа, для березы – 4,47 ... 4,67 МПа. Увеличение удельного давления выше приведенных в табл. 1 значений может повлечь деструкцию массива древесины.

Толщина клеевой прослойки при склеивании древесины с повышенной шероховатостью находится в пределах норм для склеивания на гладкую

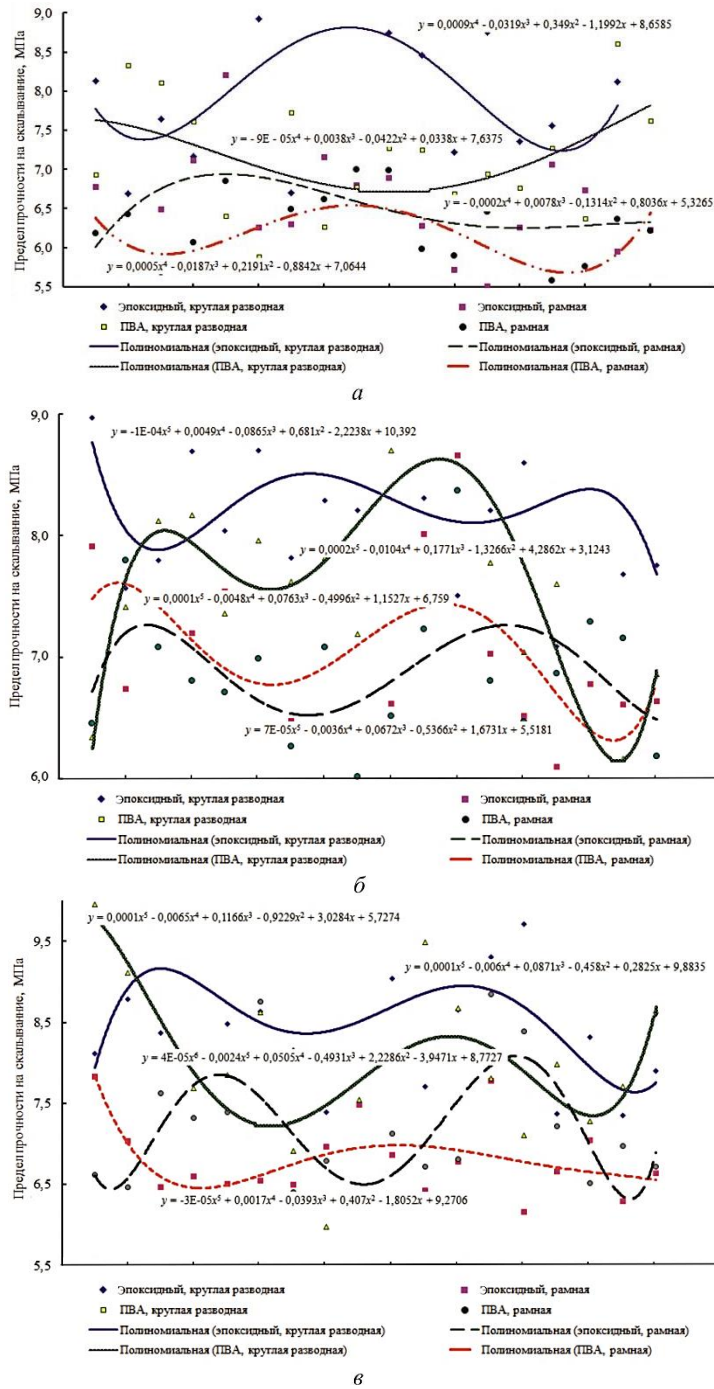


Рис. 4. Зависимость предела прочности клевого соединения на скалывание вдоль волокон древесины сосны от степени контактно-сти сопрягаемых поверхностей: а – 50 %; б – 75; в – 95 %



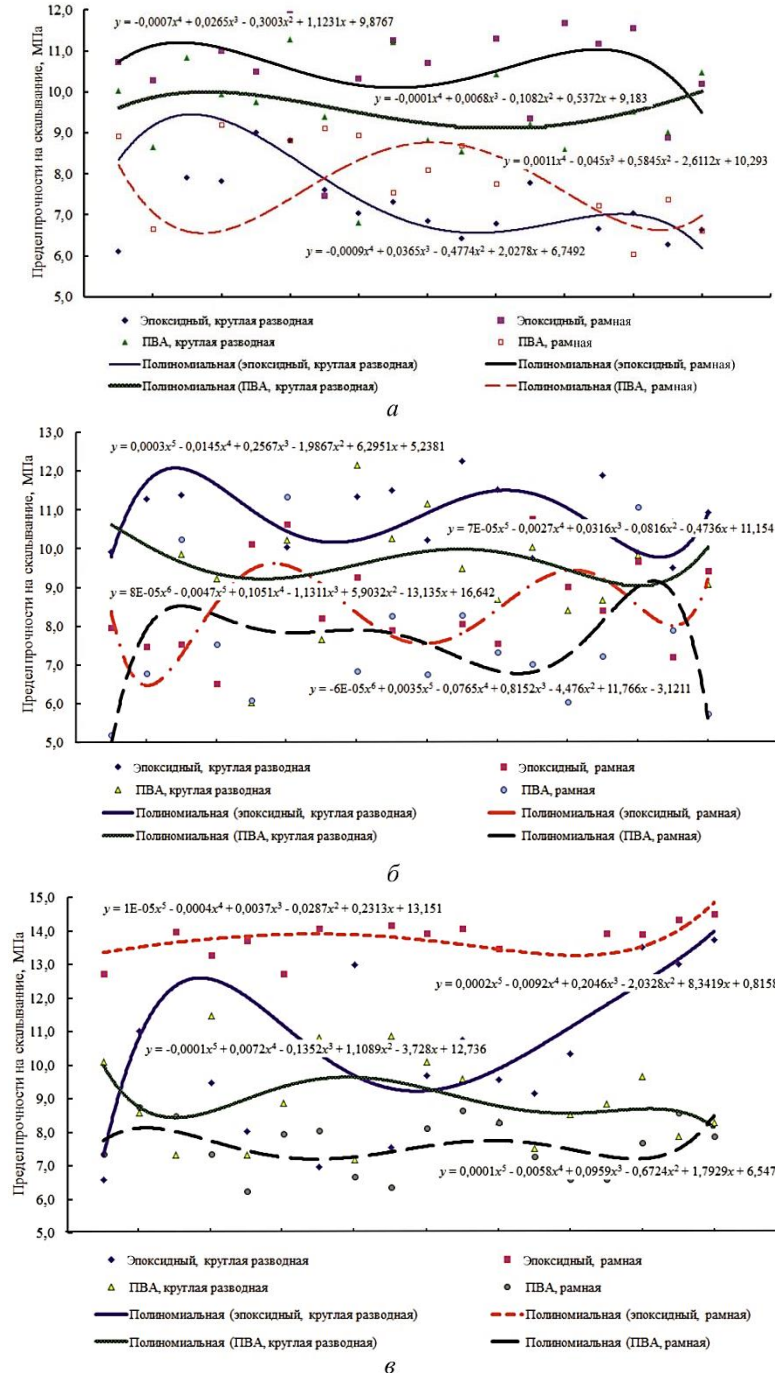


Рис. 5. Зависимость предела прочности клевого соединения на скалывание вдоль волокон древесины березы от степени контактности сопрягаемых поверхностей: а – 50 %; б – 75; в – 95 %

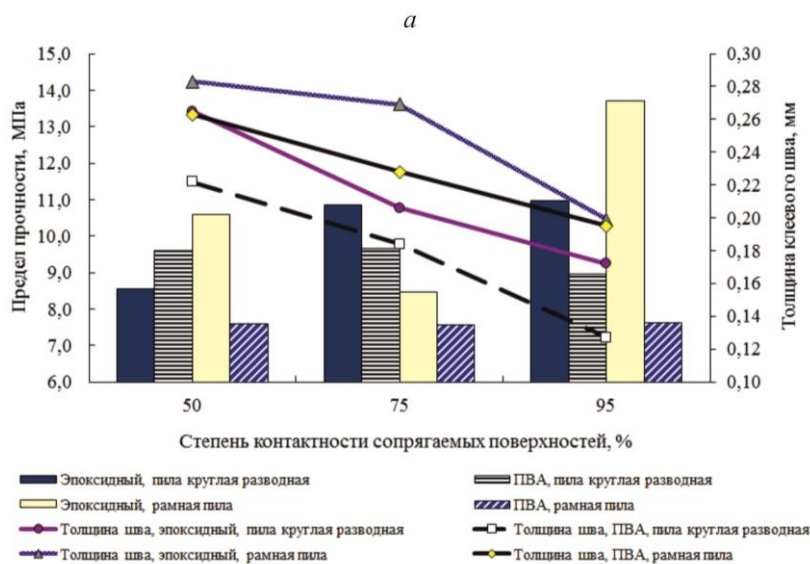
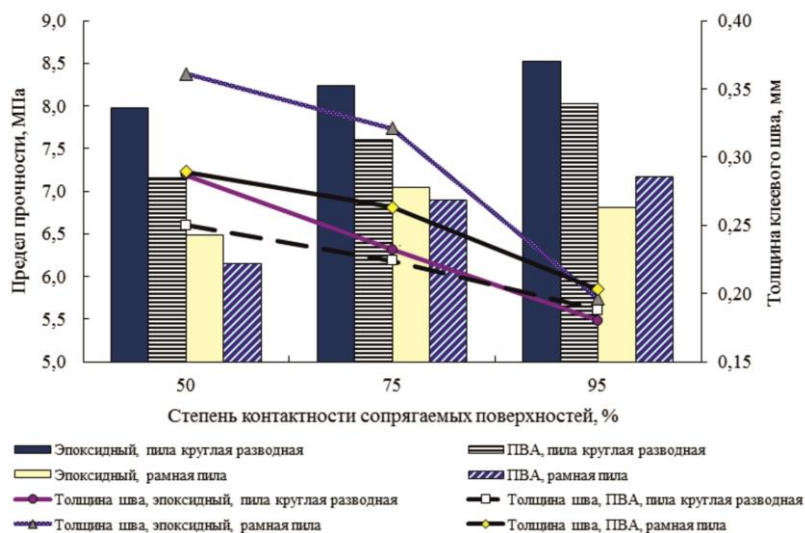


Рис. 6. Зависимость предела прочности склеивания и толщины клеевого шва от степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины сосны (а) и березы (б)

фугу. При степени контактности сопрягаемых поверхностей древесины 95 % толщина клеевого шва не превышает 0,2 мм.

Прочность клеевого соединения древесины (береза, сосна) с повышенной шероховатостью поверхности составляет 6,15...13,71 МПа.

Таким образом, результаты исследований подтверждают эффективность склеивания древесины с повышенной шероховатостью поверхности после распиловки рамными и круглыми пилами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.М., Бабич Н.А., Коновалов Д.Ю., Мелехов В.И., Мосеев А.Л. Дигитальный метод изучения строения древесины // Лесн. журн. 2007. № 2. С. 123–128. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Бахтеяров В.Д. Пути повышения выхода продукции из древесины и рациональное использование отходов: обзор. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1977. 54 с.
3. Буглай Б.М. Исследование и нормализация чистоты поверхности древесины: дис. ... д-ра техн. наук: М., 1957. 356 с.
4. Гончаров Н.А., Чубинская Т.В. Подготовка поверхности древесины к склеиванию // Деревообраб. пром-сть. 1980. № 9. С. 4, 5.
5. Ковальчук Л.М. Технология склеивания. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 208 с.
6. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. 3-е изд. испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 351 с.
7. Янсон Э.Р. Влияние качества поверхности на процесс склеивания. М.: Деревообраб. пром-сть, 1957. № 6. С. 9–11.

Поступила 06.11.13

УДК 674.028.9

**The Influence of Wood Surface Microrelief on the Bond Quality**

*V.I. Melekhov, Doctor of Engineering, Professor*

*N.S. Rudnaya, Teaching Assistant*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; Ph.: +7 (8182) 21-61-68

The agglutination has great potential to increase wood using efficiency. The glued wood is widely used in construction, ship-building, furniture production, automobile construction and so on. Rough-sawn stocks sawed by buzz or gang saws have rather high initial roughness and low working accuracy. It requires generous overlength for the future mechanical adaptation and increases consumption of materials. The paper considers the influence of wood surface microrelief to the bond quality. The contact degree of joint faces of wood, the thickness of glue line, the unit pressure of assembly, bond quality for different wood species with various roughness of surface is determined. The bond quality increases if the gluing area grows. Therefore the gluing of the wood surfaces with raised roughness is accompanied with the real increasing of the gluing area due to the collapse of the getting-out of alignments in the contact zones. The glue line thickness of the bonded wood with raised roughness is located within the limits of the standard of the assembly at the glib joint. It is concluded that the increasing of wood using efficiency may be attained by decreasing of overlength for the primary mechanical adaptation in raw materials and rough-sawn stocks

with high initial roughness due to excluding of milling operations at the stage of their preparation for gluing. The results of investigation confirm the efficiency of wood with raised roughness after re-sawing by buzz or gang saws.

*Keywords:* wood, bond quality, microrelief, surface roughness, contact degree, thickness of glue line, deformation, assembly.

#### REFERENCES

1. Antonov A.M., Babich N.A., Konovalov D.Yu., Melekhov V.I., Moseev A.L. Digital'nyj metod izuchenija stroenija drevesiny [Digital Method of Exploration of Wood Structure]. *Izv. vissh. ucheb. zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 2, pp. 123-128.
2. Bahteyarov V.D. *Puti povysheniya vyhoda produkcii iz drevesiny i racional'noe ispol'zovanie othodov* [The Ways of Wood Outcome Increasing and Efficient Waste Using]. Moscow, 1977, 54 p.
3. Buglay B.M. *Issledovanie i normalizacija chistoty poverhnosti drevesiny: dis. ...dok. tehn. nauk.* [Researching and Normalization of Wood Surfaces Cleanliness: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1957. 356 p.
4. Goncharov N.A., Chubinskaya T.V. *Podgotovka poverhnosti drevesiny k skleivaniju* [Wood Surface Preparation for Gluing]. *Derevoobratyvyayushchaya promyshlennost*, 1980, no. 9, pp. 4-5.
5. Kovalchuk L.M. *Tehnologija skleivaniya* [Technology of Gluing]. Moscow, 1972. 208 p.
6. Huhryanskiy P.N. *Pressovanie drevesiny* [Wood Pressing]. Moscow, 1964. 351 p.
7. Yanson E. R. *Vlijanie kachestva poverhnosti na process skleivaniya* [The Influence of the Surface Quality on Gluing]. *Derevoobratyvyayushchaya promyshlennost*, 1957, no. 6, pp.9-11.

