

5. Газеев М.В., Жданова И.В., Тихонова Е.В. Инновационный подход к отверждению лакокрасочных покрытий на древесине // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: матер. междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ. Кострома: Изд-во КГТУ, 2012. С.62–63.
6. Газеев М.В., Жданова И.В., Старцев А.В. Аэроионизационный способ отверждения лакокрасочных покрытий, образованных водными лаками // Деревообраб. пром-сть. 2007. № 6. С.17–19.
7. Идентификация органических соединений: учеб. пособие по органической химии / под ред. Н.А. Анисимовой. Горно-Алтайск: Горно-Алт. гос. ун-т, 2009. 118 с.
8. Кросс А.Д. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию. М.: Изд-во ин. лит-ры, 1961. 112 с.
9. Охрименко И.С., Верхованцев В.В. Химия и технология пленкообразующих веществ. М.: Химия, 1978. 392 с.: ил.
10. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул / пер. с англ. В.М. Акимова, Ю.А. Пентина, Э.Г. Тетерина. М.: Изд-во ин. лит-ры, 1957. 358 с.

УДК 674.023

*В.В. Глебов, И.Т. Глебов  
(V. V. Glebov, I. T. Glebov)  
УГЛТУ, Екатеринбург*

### **ОБРАБОТКА КРОМОК ФАНЕРЫ РЕЗАНИЕМ (PROCESSING OF EDGES OF PLYWOOD BY CUTTING)**

*Экспериментальным путем получены зависимости сил резания при строгании кромок фанеры от толщины и ширины срезаемого слоя, угла перерезания волокон древесины лицевого слоя фанеры, а также глубины неровностей обработанной поверхности от толщины срезаемого слоя. Неожиданный результат: величина силы резания не прямо пропорциональна ширине срезаемого слоя, а максимальная величина силы резания наблюдается при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя 45°.*

*Dependences of forces of cutting are experimentally received when planing edges of plywood from thickness and width of a cut-off layer, a corner of cutting of fibers of wood of a front layer of plywood, and also depth of roughnesses of the processed surface from thickness of a cut-off layer. Unexpected result: the size of force of cutting isn't directly proportional to width of a cut-off layer, and the maximum size of force of cutting is observed at coal of cutting of fibers of wood of a front layer 45°.*

Фанера широко используется в строительстве, производстве мебели, машиностроении и других отраслях, при этом исследовательских работ по механической обработке кромок фанеры резанием нет. В предлагаемой статье приводится обзор результатов исследований, выполненных В.В. Глебовым при подготовке им магистерской диссертации.

Фанера – материал, полученный при склеивании под давлением 1,8–2,2 МПа нескольких слоев лучшего шпона с ориентированием волокон древесины в смежных слоях под 90° [1].

*Особенности обработки фанеры.* Кромки листа фанеры по отношению к волокнам древесины лицевого слоя можно назвать продольными, если они параллельны направлению волокон, или поперечными, если они перпендикулярны направлению волокон древесины. Для продольной кромки продольных

слоев шпона на единицу больше, чем поперечных, и для поперечной кромки фанеры поперечных слоев шпона на единицу больше, чем продольных.

Таким образом, сопротивление при резании кромок фанеры можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию волокон уплотненной древесины в продольных и поперечных слоях и сопротивлений перерезанию клеевых пленок.

*Учет изменения плотности слоев фанеры.* Для расчета силы резания можно найти значение удельной силы резания для массивной древесины заданной породы. Так как плотность фанеры превышает плотность массивной древесины в среднем на 18–20%, находим значение поправочного коэффициента, учитывающего изменение плотности фанеры. Изменение удельной силы резания  $F_{уд}$  в зависимости от плотности древесины  $\rho$  различных пород для главных видов

резания графически показано в работе Е.Г. Ивановского [2, с. 80, рис. 7.15]. Покажем на оси абсцисс вместо названий пород древесины их конкретное значение плотности при влажности 12%. Получим графики, пригодные для практического использования (рис. 1).

Линии тренда графиков можно описать следующими уравнениями, МПа:

– для продольного резания

$$F_{y\partial //} = 18,946 + 3,0536\rho; \quad (1)$$

– для торцового резания

$$F_{y\partial \perp} = 38,429 + 5,0714\rho, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность массивной древесины, кг/м<sup>3</sup>, при влажности 12%.

Поправочный коэффициент  $\alpha_{n\perp}$ , учитывающий изменение удельной силы резания от плотности фанеры для продольных слоев, можно найти так:

$$\alpha_{n\perp //} = \frac{18,946 + 3,0536 \cdot 1,2\rho}{18,946 + 3,0536\rho}. \quad (3)$$

Для древесины березы с плотностью  $\rho = 630$  кг/м<sup>3</sup> поправочный коэффициент  $\alpha_{n\perp //} = 1,198$ . Для поперечных слоев фанеры  $\alpha_{n\perp \perp} = 1,198$ .

Тогда для расчета средней силы резания при строгании кромок фанеры можно воспользоваться формулами для массивной древесины и силу резания найти так, Н:

$$F_{x\text{ зyb}} = a_n a_{ce} [a_{n\perp //} (\alpha_{p //} + k_{//} a) b_{cn //} + a_{n\perp \perp} (\alpha_{p \perp} + k_{\perp} a) b_{cn \perp}], \quad (4)$$

где  $a_n$  – коэффициент, учитывающий породу древесины, из которой сделана фанера;

$a_{ce}$  – коэффициент, учитывающий перерезание пленок связующего,  $a_{ce} = 1,07 \dots 1,25$  (для тонкой фанеры следует принимать большее значение  $a_{ce}$ );

$a_{n\perp \perp}$ ,  $a_{n\perp //}$  – коэффициенты, учитывающие изменение удельной силы резания при уплотнении поперечных и продольных слоев фанеры.

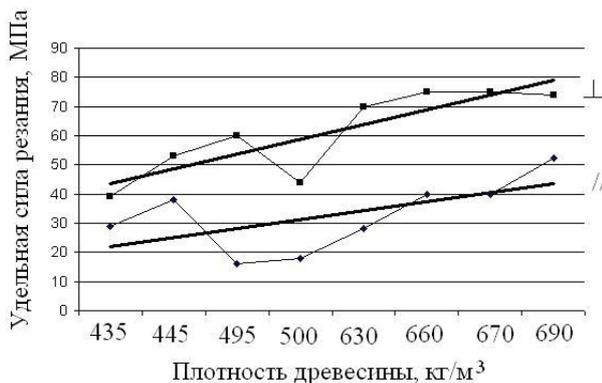


Рис. 1. Графики зависимости удельной силы резания от плотности массивной древесины при продольном // и торцовом ⊥ резании

Сравнивая расчетные данные по предлагаемому методу с экспериментальными, можно сделать вывод об удовлетворительной сходимости полученных результатов. Предлагаемый расчетный метод можно рекомендовать для решения практических задач.

*Зависимость силы резания от толщины срезаемого слоя.* Результаты экспериментальных исследований показаны на рис. 2.

Из графика следует, что касательная сила резания имеет прямолинейную зависимость в диапазоне макросрезаемых слоев и параболическую зависимость в диапазоне микросрезаемых слоев. Доказано, что граница между макро- и микросрезаемыми слоями равна 0,07 мм. При резании массивной древесины эта граница установлена А.Л. Бершадским и равна 0,1 мм [3].

Доказано также, что с увеличением толщины срезаемого слоя нормальная сила резания при строгании фанеры убывает по величине.

*Влияние ширины срезаемого слоя.* В теории резания массивной древесины принято считать, что с изменением ширины срезаемого слоя силы резания изменяются прямо пропорционально [4]. Конечно, если судить строго, то такой пропорциональной зависимости не должно быть, так как годовые кольца в древесине имеют различную ширину, а в пределах годовых колец зоны ранней невызревшей древесины и поздней вызревшей древесины тоже имеют различные размеры.

В конструкции фанеры тоже можно выделить слои с неодинаковыми свойствами: в нечетных слоях продольных кромок листы шпона расположены относительно волокон древесины продольно, а в четных – поперечно; фанера склеена из листов шпона различной толщины, например 3-слойная фанера из листов шпона толщиной 1,50 мм, 5-слойная – 1,14 мм, 7-слойная – из листов шпона толщиной 1,14–1,49–2,2–1,49–2,2–1,49–1,14 мм и т.д.

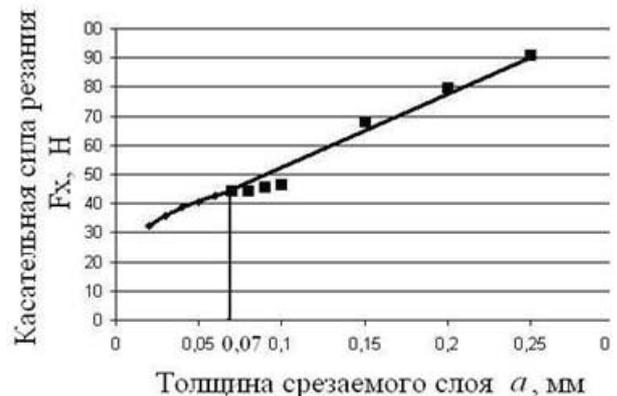


Рис. 2. Зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя при строгании поперечных кромок фанеры

При резании фанеры условия перерезания волокон древесины в слоях различны и силы резания непропорциональны ширине срезаемого слоя. О пропорциональной зависимости можно говорить только в пределах одного слоя фанеры.

Однако при резании фанеры можно выделить одно направление, при котором во всех слоях фанеры углы перерезания волокон древесины одинаковы и равны 45°. Правда, листы шпона в фанере могут быть расположены так, что в одних из них резание будет по слою, а в других – против слоя. И все-таки, если боковая кромка фанеры расположена под углом 45° к направлению волокон наружных поверхностей, то для этого направления можно ожидать, что сила резания будет прямо пропорциональна ширине срезаемого слоя.

Для проверки этого предположения были подготовлены образцы из листов фанеры толщиной 4; 6; 9 мм с направлением волокон наружных слоев под углом 45° к кромке.

Полученные результаты для касательной силы резания,  $H$ , можно описать следующими уравнениями:

– для фанеры толщиной  $t = 4$  мм

$$F_x = 15,5 + 106,23a = (3,875 + 26,5575a)4; \quad (5)$$

– для фанеры толщиной  $t = 6$  мм

$$F_x = 34,8 + 231,22a = (5,8 + 38,54a)6; \quad (6)$$

– для фанеры толщиной  $t = 9$  мм

$$F_x = 57,436 + 447,27a = (6,38 + 49,70a)9. \quad (7)$$

Выражения в скобках равны единичной силе, т.е. силе при ширине срезаемого слоя 1 мм. Единичные силы уравнений не равны, следовательно, касательная сила резания при увеличении ширины строгаемой кромки фанеры изменяется не прямо пропорционально.

На рис. 3 показан график зависимости касательной силы резания от толщины строгаемой фанеры.

Из рисунка следует, что изменение касательной силы резания от толщины фанеры можно описать уравнениями прямых линий:

– при  $a = 0,07$  мм

$$F_x = -29,32 + 13,045t; \quad (8)$$

– при  $a = 0,10$  мм

$$F_x = -27,595 + 14,089t;$$

– при  $a = 0,15$  мм

$$F_x = -54,28 + 20,95t;$$

– при  $a = 0,20$  мм

$$F_x = -45,57 + 20,825t.$$

Уравнения (8) запишем в общем виде

$$F_x = p_a + k_a t, \quad (9)$$

где  $t$  – толщина фанеры, мм;

$p_a$  – коэффициент, зависящий от толщины срезаемого слоя  $a$ :

$a$ , мм . . . . .	0,07	0,10	0,15	0,20
$p_a$ . . . . .	-29,32	-27,595	-54,28	-45,57

Построив график, получим уравнение линии тренда этой зависимости:  $p_a = -22,161 \ln(a) - 86,109$ ;

$k_a$  – коэффициент, зависящий от значений  $a$ , из (8)  $k_a = 8,3212 + 68,508a$ .

Из уравнения (9) получим зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя  $a$  и толщины фанеры (ширины строгаемой кромки  $t$ ):

$$F_x = (8,3212 + 68,508a)t - (22,161 \ln(a) + 89,109). \quad (10)$$

Таким образом, с увеличением ширины строгаемой кромки фанеры касательная сила резания увеличивается, но не прямо пропорционально ширине строгаемой кромки.

*Влияние угла перерезания волокон древесины лицевого слоя.* Исследование выполнялось с целью выявления зависимости касательной и нормальной сил резания при строгании кромок фанеры от направления волокон древесины, выходящих на обрабатываемую кромку различной ширины.

Исследования выполнялись при следующих режимах резания. Скорость главного движения  $V = 0,035$  м/с, угол резания ножа  $\delta = 55^\circ$ , толщина срезаемого слоя  $a$  0,07; 0,1; 0,15; 0,2 мм. Ширина строгаемой кромки по отношению к волокнам древесины лицевого слоя и  $b$  4; 6; 9 мм при изучении влияния ширины строгаемой кромки. Радиус закругления режущей кромки ножа  $\rho_0 = 15$  мкм.

Исследуемые кромки образцов расположены по отношению волокон древесины наружных слоев фанеры под углами  $0^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $60^\circ$ ;  $90^\circ$ . У образца  $0^\circ$  длинная

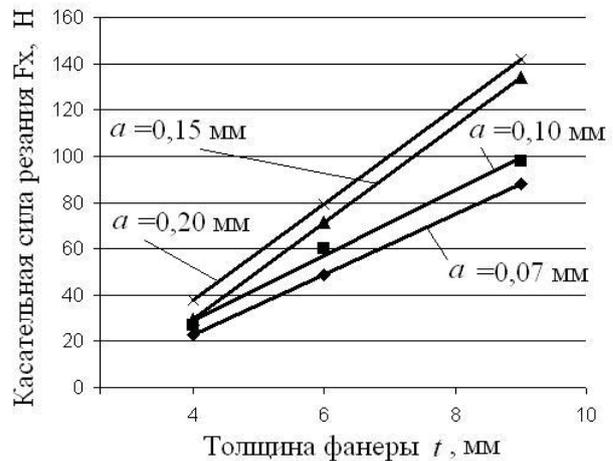


Рис. 3. Зависимость касательной силы резания от толщины фанеры при различных значениях толщины срезаемого слоя  $a$  при строгании кромок

кромка расположена параллельно направлению волокон наружного слоя фанеры. При выполнении экспериментов обрабатывались длинные кромки образцов.

Зависимость касательной силы резания от угла перерезания волокон древесины наружных слоев листа фанеры показана на рис. 4.

Максимального значения касательная сила резания достигает при угле перерезания волокон древесины  $45^\circ$ . С учетом того, что фанера склеена из листов шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах, становится ясно, что для данного случая во всех слоях фанеры (наружных и внутренних) угол перерезания волокон древесины равен  $45^\circ$ .

При угле перерезания волокон  $60^\circ$  касательная сила резания стала меньше, так как в нечетных 1-м; 3-м; 5-м слоях угол перерезания равен  $60^\circ$ , а в четных внутренних слоях 2 и 4 угол перерезания равен  $30^\circ$ . Чем меньше угол перерезания волокон, тем меньше значение касательной силы резания.

При строгании образцов с углом перерезания волокон  $30^\circ$  в трех нечетных слоях угол перерезания равен  $30^\circ$ , а в четных внутренних слоях 2 и 4 угол перерезания равен  $60^\circ$ .

Минимальное значение касательная сила резания получает при угле перерезания на кромке  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . В этом случае угол перерезания волокон в четных внутренних слоях равен соответственно  $90^\circ$  и  $0^\circ$ .

Из рисунка видно, что линии графиков проходят в узком наклонном канале и силы резания отличаются для соответствующих толщин срезаемых слоев примерно на 4 Н. В связи с этим можно использовать в практических расчетах максимальные значения силы резания для угла перерезания волокон  $45^\circ$  и рассчитывать их по уравнению, Н:

$$F_x = p_b + k_b a = 34,8 + 231,22a, \quad (11)$$

где  $p_b$  – фиктивная сила резания при ширине строгания  $b$ , Н;



Рис. 4. Зависимость касательной силы резания при строгании кромок фанеры от толщины срезаемого слоя при различных углах перерезания волокон древесины наружных слоев фанеры

$k_b$  – касательное сопротивление срезаемого слоя по передней поверхности ножа при ширине строгания  $b$ , Н/мм;

$a$  – толщина срезаемого слоя при строгании, мм.

Изменение нормальной силы резания от угла перерезания волокон имеет такую же закономерность, что и для касательной силы резания. Максимальное значение нормальной силы резания наблюдается при угле перерезания волокон  $45^\circ$ , минимальное – при  $0^\circ$ .

*Шероховатость строганных кромок фанеры.* Высоту микронеровностей измеряли на микроскопе МИС-11 при увеличении объектива  $N=10,6$ .

Наблюдения микронеровностей поверхности кромок фанеры показали, что их величина в пределах одной кромки отличается для продольных и поперечных слоев. Продольные слои образуют гладкую поверхность. По поперечным слоям выполняется торцовое резание и на обработанной поверхности наблюдаются вырывы волокон древесины. При срезаии тонких слоев эти вырывы неглубокие. С увеличением толщины срезаемого слоя глубина вырывов растет [5].

Таким образом, можно утверждать, что шероховатость обработанной поверхности кромок фанеры определяется глубиной вырывов волокон древесины в пределах поперечных слоев фанеры.

Такая закономерность согласуется с общими представлениями о продольном и торцовом резании массивной древесины. С ростом значений толщины срезаемого слоя высота микронеровностей увеличивается линейно.

Доказано, что максимальная глубина микронеровностей строганных поверхностей кромок фанеры наблюдается при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя  $45^\circ$ . В этом случае получается однородная поверхность, у которой волокна древесины во всех слоях фанеры перерезаны под одинаковым углом  $45^\circ$ . Минимальная глубина неровностей получилась при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя  $60^\circ$ . В этом случае продольные слои фанеры перерезаны под углом  $60^\circ$ , а поперечные слои фанеры – под углом  $30^\circ$ . С увеличением толщины срезаемого слоя глубина микронеровностей увеличивается.

На основании статьи, подготовленной по результатам выполненной диссертационной работы по строганию кромок фанеры, сделаны следующие выводы.

1. Разработан метод расчета касательной силы резания при обработке кромок фанеры. При этом сила резания находится как сумма трех частей: силы резания продольных слоев фанеры (как упрессованного массива), силы резания поперечных слоев фанеры,

силы резания клеевых пленок. Для расчета предложена формула (4).

2. Экспериментально доказано, что при обработке кромок фанеры резанием сила резания изменяется по тем же законам, что и при резании массивной древесины: в диапазоне тонких срезаемых слоев – по закону параболы и при срезании толстых срезаемых слоев – по закону прямой линии. При этом доказано, что граничное значение между тонкими и толстыми слоями равно  $a = 0,07$  мм.

3. Доказано, что сила резания не пропорциональна ширине срезаемого слоя (толщине фанеры  $l$ ). Зависимость эту можно описать уравнением (10).

4. Сила резания имеет максимальное значение при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя  $45^\circ$ , минимальное значение – при углах  $0^\circ$  и  $90^\circ$ .

5. Максимальная глубина неровностей получается при угле перерезания волокон древесины лицевого слоя под углом  $45^\circ$ .

### Библиографический список

1. Глебов И.Т., Глебов В.В. Оборудование для производства и обработки фанеры. СПб: Изд-во «Лань», 2013. 352 с.
2. Ивановский Е.Г. Резание древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 200 с.
3. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Минск: Высшейш. шк., 1975. 304 с.
4. Глебов И.Т. Резание древесины. СПб: Изд-во «Лань», 2010. 256 с.
5. Глебов И.Т. Обработка древесины методом фрезерования. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 192 с.

УДК 674.0:628.5

*А.Ю. Завьялов, В.Н. Старжинский*  
(*A.J. Zavyalov, V.N. Starjinskiyi*)  
УГЛТУ, Екатеринбург

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ (ULTRASONIC WAVES OF WOODWORKING EQUIPMENT)

*Освещаются результаты эксперимента по определению уровней воздушного ультразвука на рабочих местах деревообрабатывающих станков. Также рассматривается эффективность изоляции от воздушного ультразвука сотового поликарбоната и органического стекла.*

*The results of experiment to define ultrasonic air levels of woodworking equipment workplace published in article. Also published the efficiency of insulation of cellular polycarbonate and plexiglass against air ultrasonic waves.*

Как известно, в деревообрабатывающей промышленности серьезной проблемой является высокий уровень шума. Решению данного вопроса посвящено множество исследований. Но в большей степени они охватывают слышимый человеком диапазон шума, регламентируемый ГОСТ 12.1.003-83. Ультразвуку, о существовании которого известно давно, уделяется гораздо меньше внимания.

В наше время ультразвук широко применяется в науке и технике. Так, по скорости распространения звука в среде судят о её физических характеристиках. Измерения скорости на ультразвуковых частотах позволяет с весьма малыми погрешностями определять, например, адиабатические характеристики быстропротекающих процессов, значения удельной теплоёмкости газов, упругие постоянные твёрдых тел [1].

При всех достоинствах ультразвука нужно не забывать о том вредном влиянии, которое он оказывает на организм человека.

При длительной работе с низкочастотными ультразвуковыми установками, генерирующими шум и ультразвук, превышающие установленные предельно допустимые уровни, могут произойти функциональные изменения центральной и периферической нервной системы, нарушения в работе слухового и вестибулярного аппарата, сердечно-сосудистой системы (утомление, головные боли, бессонница ночью и сонливость днем, повышенная чувствительность к звукам, раздражительность, понижение кровяного давления, снижение остроты слуха и т.п.).

По сравнению с высокочастотным шумом ультразвук значительно слабее влияет на слуховую функцию, но вызывает более выраженные отклонения