

УДК 674.023

Глебов И.Т., канд. техн. наук, доцент (профессор),  
Глебов В.В., студент магистратуры  
(Уральский государственный лесотехнический университет)

## **КАСАТЕЛЬНАЯ СИЛА РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ КРОМОК ФАНЕРЫ**

Сделан вывод уравнения для определения касательной силы резания кромок фанеры в диапазоне срезаемых микрослоев, приведены результаты экспериментальных исследований по строганию кромок фанеры, проведен сопоставительный анализ экспериментальных и расчетных данных, показавший удовлетворительный результат сходимости сопоставимых данных.

*Ключевые слова:* строгание кромок, фанера, сила резания, толщина срезаемого слоя

Фанера – древесный материал, состоящий из нескольких склеенных листов лущёного шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах. Фанера широко используется в строительстве, машино- и судостроении, домостроении, производстве мебели. При механической обработке кромки листов фанеры формируют пилением, фрезерованием, строганием, шлифованием. Однако в теории резания древесины отсутствуют сведения о режимах обработки кромок фанеры.

Целью настоящей работы является определение зависимости касательной силы резания от толщины срезаемого слоя при строгании кромок фанеры общего назначения [1] на базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Известно, что для массивной древесины единичная касательная сила резания в зависимости от толщины срезаемого слоя описывается двумя уравнениями: уравнением параболы в диапазоне микро срезаемых слоев и уравнением прямой линии в диапазоне срезаемых слоев  $a=0,1\dots 2,0$  мм [2]:

– для микрослоев

$$F_{x1} = (p + 0,1k)\left(1 - \frac{1}{\lambda}a^2 + \frac{0,2}{\lambda}a - \frac{0,01}{\lambda}\right); \quad (1)$$

– для макрослоев

$$F_{x1} = \alpha_{\rho} p + ka, \quad (2)$$

где  $F_{x1}$  – единичная касательная сила резания, Н/мм;

$p$  – фиктивная сила резания, Н/мм;

$k$  – касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань зуба, МПа;

$a$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$\alpha_{\rho}$  – коэффициент затупления режущей кромки зуба;

$\lambda$  – коэффициент, мм<sup>2</sup>;  $\lambda = \rho_o^2 + 0,2\rho_o + 0,01$ ; где  $\rho_o$  – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

При расчете режимов резания массивной древесины используют метод А.Л. Бершадского, основанный на «Общем законе резания древесины», в котором принято несколько допущений, один из которых заключается в том, что граничное значение между микро- и макро срезаемыми слоями равно  $a_0 = 0,1$  мм. Теоретическое обоснование этого значения нам не известно, хотя принято во многих экспериментальных исследованиях.

Предлагаемая статья подготовлена с целью вывода математической модели касательной силы резания при строгании кромок фанеры в зависимости от срезаемых слоев и получения обоснованного значения граничного значения  $a_0$ .

**Вывод расчетной формулы для микро срезаемых слоев.** В диапазоне микрослоев ( $0 \leq a \leq a_0$  мм) линия зависимости единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя имеет параболическую форму (рис. 1). Общее уравнение параболы АЕ в осях координат  $F_{x1}$  и  $a$

$$F_{x1} = ca^2 + da + e, \quad (3)$$

где  $c, d, e$  – параметры параболы.

Взяв первую производную функции (3) по  $a$ , и приравняв ее нулю, найдем абсциссу, а затем и ординату вершины параболы. Парабола проходит через точку  $E$ , и вершина ее расположена в точке  $A$ .

Координаты точки  $A$ :

$$aA = OG = a_0 = -\frac{d}{2c}; \quad (4)$$

$$F_{x1A} = AG = F_{xa_0} = \frac{4ce - d^2}{4c}, \quad (5)$$



$$c = -\frac{F_{xa_0}}{\lambda}; \quad d = \frac{2a_0F_{xa_0}}{\lambda}; \quad e = F_{xa_0} \left(1 - \frac{a_0^2}{\lambda}\right), \quad (11)$$

где  $\lambda$  – коэффициент, мм<sup>2</sup>:  $\lambda = \rho^2 + 2a_0\rho + a_0^2$ ; где  $\rho$  – радиус закругления режущей кромки, мм.

Уравнение единичной касательной силы резания для микрослоев (по уравнению 3)

$$F_{x1} = (\alpha_\rho p + a_0 k) \left(1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{2a_0}{\lambda} a - \frac{a_0^2}{\lambda}\right). \quad (12)$$

**Сила резания по задней поверхности лезвия.** При  $a = 0$  парабола пересекает ось ординат в точке, соответствующей значению силы резания по задней поверхности лезвия. Таким образом, для лезвия

$$F_{xz} = (\alpha_\rho p + a_0 k) \left(1 - \frac{a_0^2}{\lambda}\right). \quad (13)$$

**Определение граничного значения  $a_0$ .** За базовое граничное значение можно принять  $a_0 = 0,1$  мм. Однако, в результате экспериментальных исследований может быть получена точка  $m$ , лежащая на графике (рис. 1) выше кривой параболы  $AE$ . Если вертикальную ось параболы  $AG$  сместить влево, то можно добиться, что линия параболы пройдет через точку  $m$ . В этом случае граничное значение будет равно  $a_0 = a_{01}$ .

**Результаты экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования проведены в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ на станке, используемом для изучения процесса строгания. Образцы фанеры размером  $100 \times 50 \times 6$  (9) мм фиксировались на тензометрическом динамометре и перемещались подвижным суппортом относительно неподвижного ножа.

*Условия опытов.* Скорость главного движения (скорость перемещения суппорта)  $V = 0,035$  м/с, угол резания ножа  $\delta = 55^\circ$ , толщина срезаемого слоя  $a = 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25, 0,30$  мм. Ширина строгания  $b = 6$  мм (плотность фанеры  $\rho = 0,77$  г/см<sup>3</sup>) и  $b = 9$  мм (плотность фанеры  $\rho = 0,708$  г/см<sup>3</sup>). Радиус закругления режущей кромки ножа  $\rho_0 = 12$  мкм.

Для записи и обработки данных была выбрана аппаратно-программная среда LabView, которая преобразует аналоговый сигнал в цифровой и позволяет создавать, хранить и обрабатывать базы данных на

компьютере. Результаты экспериментов в виде графиков представлены на рис. 2 и 3.

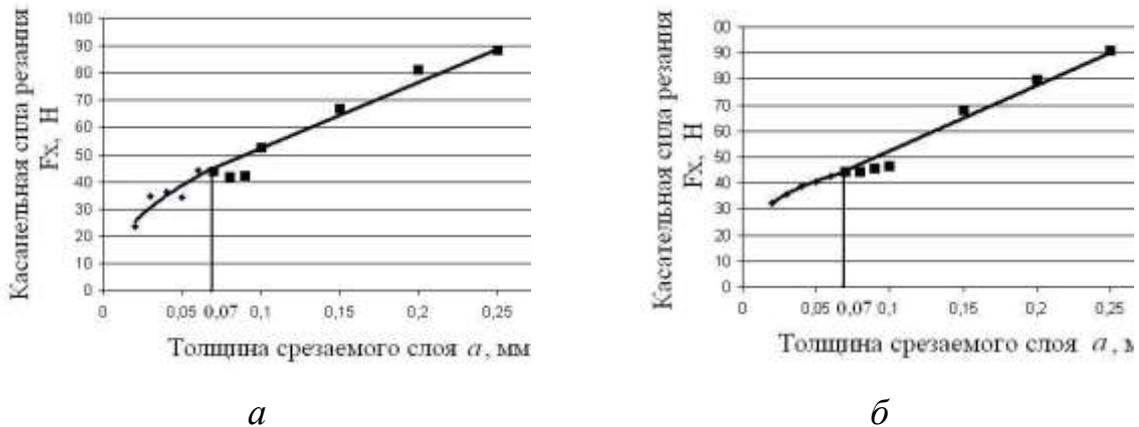


Рис. 2. Зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя при строгании кромок фанеры толщиной 6 мм:  
 а – для продольных кромок; б – для поперечных кромок

Кромки в зависимости от направления волокон древесины лицевого слоя фанеры назовем продольными, они параллельны направлению волокон, или поперечными, они перпендикулярны направлению волокон древесины. Кромка образуется перерезанием продольных и поперечных слоев фанеры. Если кромка продольная, то количество продольных слоев, образующих ее, на единицу больше, чем поперечных слоев. И, наоборот, в поперечной кромке количество поперечных слоев на единицу больше, чем продольных слоев. При этом при строгании продольных слоев осуществляется резание вдоль волокон, а при строгании поперечных слоев – резание в торец. В результате этого сила резания при строгании поперечных кромок должна быть несколько больше, чем при строгании продольных кромок. Отсюда следует, что сила резания не может быть прямо пропорциональна ширине срезаемого слоя.

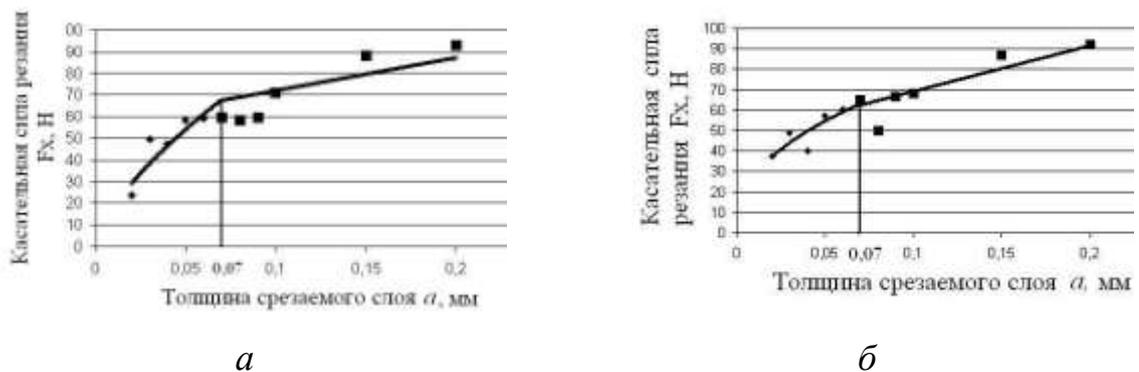


Рис. 3. Зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя при строгании кромок фанеры толщиной 6 мм:

срезаемого слоя при строгании кромок фанеры толщиной 9 мм:

$a$  – для продольных кромок;  $b$  – для поперечных кромок

Графики показывают, что граничной абсциссой между кривой линией в диапазоне срезаемых микро слоев и прямой линией в диапазоне срезаемых макро слоев является абсцисса  $a_0 = 0,07$  мм. Характеристика линий графиков приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика линий графиков

Толщина срезаемого слоя $a$ , мм	Уравнение линий при строгании кромок		Достоверность аппроксимации $R^2$	
	продольных	поперечных	продольны x	поперечны x
$a \leq 0,07$	$b = 6$ мм		0,8481	0,9969
	$F_x = 152,67a^{0,4587}$	$F_x = 87,215a^{0,2542}$		
$a \geq 0,07$	$F_x = 28 + 243,9a$	$F_x = 27 + 252,39a$	0,949	0,9674
$a \leq 0,07$	$b = 9$ мм		0,7913	0,7642
	$F_x = 408,91a^{0,676}$	$F_x = 194,71a^{0,424}$		
$a \geq 0,07$	$F_x = 57 + 150,45a$	$F_x = 47 + 222,33a$	0,6611	0,7731

Если принять, что при строгании фанеры граничной абсциссой является  $a_0 = 0,07$  мм, а сила резания не прямо пропорциональна ширине срезаемого слоя, то расчетное уравнение касательной силы резания для срезаемых микро слоев по (12) можно написать так, Н/мм:

$$F_x = (\alpha_\rho p + 0,07k) \left( 1 - \frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,14}{\lambda} a - \frac{0,07^2}{\lambda} \right), \quad (14)$$

где  $\lambda = \rho^2 + 2a_0\rho + a_0^2$ ; при  $\rho = 0,012$  мм и  $a_0 = 0,07$  мм  $\lambda = 0,006724$ .

В этом уравнении значения  $p$  и  $k$  принимаются для толщины  $b$  мм, а не 1 мм.

Выполним расчеты касательной силы резания  $F_x$  для условия строгания поперечных кромок фанеры толщиной 6 мм в диапазоне срезаемых микрослоев, используя экспериментальные значения  $p = 27$  Н/мм;  $k = 252,39$  МПа. Тогда по формуле (14) получим данные,

которые в сравнении с экспериментальными данными приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные для анализа расчетных и экспериментальных данных касательной силы резания при строгании поперечных кромок фанеры

$a$ , мм	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
$F_x$ , Н, расчетное	34,0	38,7	42,0	44,0	44,7
$F_x$ , Н, эксперим.	35,58	38,6	40,35	42,52	44,59
Погрешность, %	4,3	0,3	-4,1	-3,3	-0,2

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В фанере можно выделить продольные слои (в них осуществляется при строгании резание вдоль волокон) и поперечные слои (в них осуществляется резание в торец).

2. Результаты экспериментальных исследований показывают, что граничной абсциссой, разделяющей при строгании кромок фанеры срезаемые микро слои и макро слои является  $a_0 = 0,07$  мм. В диапазоне микро слоев зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя криволинейная, параболическая, в диапазоне макро слоев – прямолинейная.

3. На основании теоретических исследований предложено уравнение (12) для расчета касательной силы резания в диапазоне срезаемых микро слоев. Сопоставительный анализ расчетных и экспериментальных данных показал хорошие результаты. Предлагаемая расчетная формула (12) может быть рекомендована для решения практических задач.

I.T. Glebov, V.V. Glebov

Tangential cutting force at planing of edges of plywood

Finding equations for determining tangential cutting forces of edges of plywood in the range of thin shavings, the results of experimental research on slicing of veneer edges, comparative analysis of experimental and calculated data with a satisfactory result of convergence of comparable data.

Keywords: planing of edges, veneer, cutting force and chip thickness

**Библиографический список**

1. ГОСТ 3916.1-96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. – ИПК Издательство стандартов, 1999.

2. **Глебов, И.Т.** Резание древесины: Учебное пособие/И.Т. Глебов. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 256 с.

Авторы:

Глебов И.Т.  
Глебов В.В.  
3.08.2012 г