

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 674*416

А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШПОН

Описана методика расчета усилий резания при продольном строгании древесины на шпон. Получены численные значения поправочных коэффициентов, учитывающих толщину и степень обжима шпона.

Ключевые слова: древесина, шпон, продольное строгание, поправочные коэффициенты, математическая модель.

Введение. Вопросы стружкообразования при строгании древесины на шпон подробно освещены в трудах различных авторов [1–3]. Однако все они относятся к получению шпона строганием поперек волокон. Соответственно и силовые расчеты процесса строгания шпона тоже относятся применительно к поперечному (поперечно-продольному) строганию. С появлением технологии и оборудования для продольного (продольно-поперечного) строгания древесины на шпон [4, 5] возникла необходимость в выявлении закономерностей процессов образования стружки, энергозатрат и т.д.

Большинством авторов [2, 3, 6] при поступательно движущемся режущем инструменте усилие резания при строгании древесины на шпон определялось как сумма двух составляющих, действующих со стороны лезвия ножа P_{Δ} и прижимной линейки P_{Π} , объединенных в одно усилие $P_{\text{бл}}$ (рис. 1)

$$P_{\text{бл}} = P_{\Delta} + P_{\Pi}. \quad (1)$$

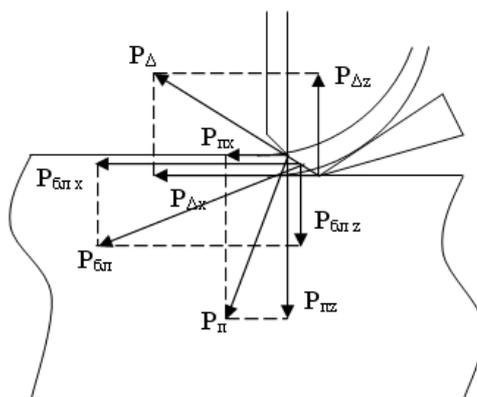


Рис. 1. Схема сил, действующих на заготовку со стороны реза и прижимной линейки при строгании шпона поперек волокон древесины

Для упрощения расчетов в работах [2, 6] силу $P_{\text{бл}}$, действующую со стороны блока нож – прижимная линейка на заготовку, принимают как произведение

$$P_{\text{бл}} = P_1 \cdot b, \quad (2)$$

где P_1 – единичная сила резания гидротермически обработанной древесины с обжимом стружки прижимной линейкой;

b – ширина стружки, равная длине заготовки.

Для определения единичной силы резания авторы [3, 6] воспользовались формулой

$$P_1 = P_{1 \text{ табл}} \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{р}} \cdot a_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где $P_{1 \text{ табл}}$ – табличное значение единичной силы резания гидротермически обработанной древесины;

$a_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий породу древесины;

$a_{\text{т}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий температуру древесины;

$a_{\text{р}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий затупление ножа и линейки;

$a_{\text{ф}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий угол наклона лезвия ножа к направлению волокон древесины.

Численные значения $P_{1 \text{ табл}}$ определяются экспериментальным путем для различных условий. Данный метод очень трудоемок ввиду большого количества опытов.

В работах [7, 8] усилие резания при строгании определяется как сумма сил резания древесины $P_{\text{р}}$ и силы трения от обжима $P_{\text{т}}$

$$P_{\text{бл}} = P_{\text{р}} + P_{\text{т}}. \quad (4)$$

В свою очередь силы резания $P_{\text{р}}$ и трения $P_{\text{т}}$ определяются по зависимостям

$$P_{\text{р}} = K \cdot b \cdot e, \quad (5)$$

$$P_{\text{т}} = p \cdot b \cdot f, \quad (6)$$

где K – удельное сопротивление резанию древесины;

b – ширина стружки;

e – толщина стружки;

p – интенсивность обжима на единицу длины прижимной линейки;

f – коэффициент трения прижимной линейки по древесине.

Значения p и f определяются экспериментальным путем. Однако указанные величины изменяются в широких пределах, что затрудняет их определение при различных условиях.

Авторами [1, 9, 10] для определения усилия резания при строгании предложена зависимость

$$P_{\text{бл}} = K \cdot e \cdot l, \quad (7)$$

где K – удельное сопротивление резанию при строгании;

e – толщина шпона;

l – длина заготовки.

При дальнейших расчетах удельного сопротивления резанию при строгании авторы [1, 10] на основании экспериментальных данных получили уравнение

$$K = 0,118V^{-0,266} e^{-0,314} t^{-0,173} \Delta^{0,4+0,5S+1,1/\Delta}, \quad (8)$$

где V – скорость резания;

e – толщина шпона;

t – температура заготовки;

Δ – степень обжима древесины.

Вычисление удельного сопротивления резанию K при строгании затрудняется без наличия вычислительной техники ввиду сложных степенных зависимостей.

Для упрощения расчетов указанная зависимость автором [9] представлена в виде

$$K = K_0 \cdot a_{\text{п}} \cdot a_{\text{в}} \cdot a_{\text{т}} \cdot a_{\text{ф}} \cdot a_{\Delta}, \quad (9)$$

где K_0 – основное удельное сопротивление резанию;
 a_n – поправочный коэффициент, учитывающий породу древесины;
 a_v – поправочный коэффициент, учитывающий скорость резания;
 a_h – поправочный коэффициент, учитывающий толщину шпона;
 a_t – поправочный коэффициент, учитывающий температуру древесины;
 a_Δ – поправочный коэффициент, учитывающий степень обжима древесины.

Вышеупомянутые поправочные коэффициенты определены экспериментально и широко используются для технологических расчетов.

Все описанные методики расчета усилий резания справедливы для поперечного и поперечно-продольного строгания древесины на шпон. Часть из них применима для расчетов продольного и продольно-поперечного строгания, но точность результатов будет невысокой. Это связано с анизотропией древесины, так как характер ее поведения при резании в продольном (продольно-поперечном) направлении будет отличаться от поперечного (поперечно-продольного).

Целью настоящей работы является разработка математической модели процесса строгания древесины на шпон вдоль волокон. Для этого поставлены следующие **задачи**: механико-математическим методом определить усилия, возникающие в процессе продольного строгания; аналитико-экспериментальным методом получить численные значения поправочных коэффициентов, учитывающих толщину и степень обжима шпона.

Аналитическое моделирование. Наиболее подходящей для расчета усилий резания при строгании шпона вдоль волокон является формула (4), предложенная авторами [7, 8]. Рассмотрим каждую из составляющих с механико-математической точки зрения.

Расчет усилий резания древесины подробно описан проф. С. А. Воскресенским [11]. Согласно его теории, при малом угле резания и большой толщине стружки, что имеет место при строгании шпона, последнюю необходимо рассматривать как консольную балку, защемленную в месте приложения усилия прижима (рис. 2).

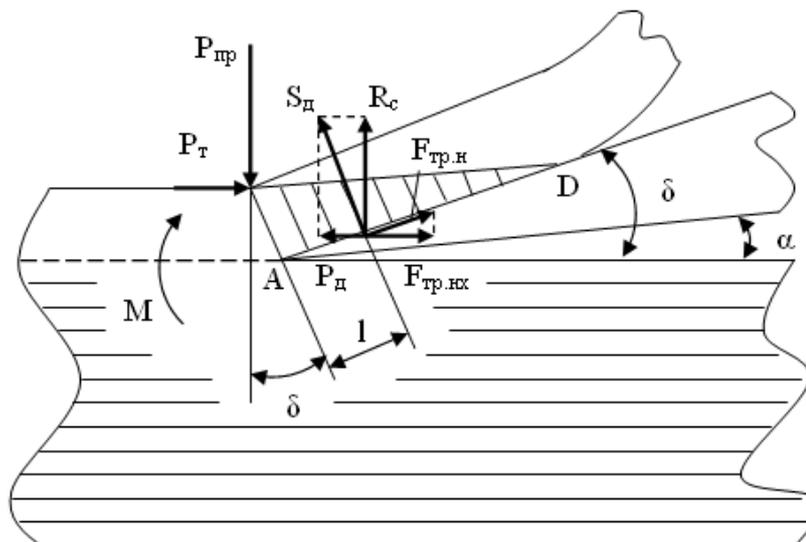


Рис. 2. Схема сил, действующих при строгании шпона вдоль волокон древесины

Нормальная сила на ноже S_d есть не что иное, как равнодействующая от распределенной нагрузки по длине контакта AD. Разложим эту силу на горизонтальную P_d и вертикальную R_c составляющие. При резании древесины вдоль волокон, как правило, происходит образование опережающей трещины перед лезвием реза, поэтому усилия

резания сводится к преодолению силы трения древесины о переднюю грань резца. Таким образом, горизонтальная составляющая силы резания определится из выражения

$$P_p = R_c \cdot \mu, \quad (10)$$

где μ – коэффициент трения древесины по передней грани резца.

Под действием силы R_c происходит изгиб срезанной части стружки вплоть до излома. Однако одним из условий получения качественного шпона является гладкая, без изломов, стружка. Для этих условий из рис. 2 найдем момент M , изгибающий подрезанную стружку

$$M = S_d \cdot l, \quad (11)$$

где $l = AD/3$ – расстояние от кончика резца до точки приложения равнодействующей силы S_d (плечо силы S_d).

В дальнейших расчетах целесообразно освободиться от силы S_d , приведя ее к силе R_c

$$S_d = \frac{R_c}{\cos \delta}, \quad (12)$$

где δ – угол резания.

Тогда выражение (11) примет вид

$$M = \frac{l \cdot R_c}{\cos \delta}. \quad (13)$$

В момент излома стружки имеет место равенство

$$M = \sigma_{\text{ви||}} \cdot W, \quad (14)$$

где $\sigma_{\text{ви||}}$ – предел прочности древесины при статическом изгибе;

W – момент сопротивления стружки.

Считая, что стружка по всей длине имеет одинаковую толщину e и ширину b , получим

$$W = \frac{b \cdot e^2}{6}, \quad (15)$$

откуда

$$M = \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2}{6}. \quad (16)$$

Сопоставляя выражения (13) и (16), получим выражение для определения R_c , при котором излом стружки отсутствует

$$R_c \leq \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta}{6 \cdot l}. \quad (17)$$

Заменяя силу R_c в равенстве (10) на выражение (17), получим силу резания

$$P_p \leq \frac{\sigma_{\text{ви||}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta}{6 \cdot l} \cdot \mu. \quad (18)$$

Однако в дальнейшем проведенные лабораторные исследования [12] выявили несоответствие экспериментальных и теоретических данных, которые приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Результаты теоретических и экспериментальных данных
при резании древесины вдоль волокон**

Толщина срезаемого слоя, мм	Сила резания, Н	
	теоретическая	экспериментальная
1,0	109,29	286,37
1,5	245,92	409,1
2,0	437,18	572,74

Такое несоответствие вызвано тем, что выражение (18) не учитывает влияние на величину P_p свойств древесины: анизотропии, свилеватости и неоднородности.

В сделанные расчеты был введен коэффициент, учитывающий вышеперечисленные характеристики древесины. Необходимо отметить, что значение этого коэффициента будет различным для различных толщин срезаемого слоя и определится из выражения

$$a_{пр} = \frac{P_{р.эксп.}}{P_{р.теор.}} \quad (19)$$

Численные значения поправочного коэффициента $a_{пр}$ представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Значение поправочного коэффициента $a_{пр}$

Толщина срезаемого слоя, мм	Коэффициент $a_{пр}$
1,0	2,62
1,5	1,66
2,0	1,31

С учетом данного коэффициента выражение (18) примет вид

$$P_{p \leq} = \frac{\sigma_{внл} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{пр} \quad (20)$$

Далее определим величину силы трения от обжима древесины. От действия силы прижима древесина будет деформироваться в зоне действия прижимной линейки (рис. 3).

Эта деформация носит локальный характер, то есть происходит местное смятие. Полагая, что после приложения усилия прижима $P_{пр}$ древесина восстанавливается до прежних размеров, можно считать ее упругим телом. Для таких тел существует зависимость между напряжениями σ и деформациями ε [13]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (21)$$

где E – модуль упругости древесины при сжатии поперек волокон.

Соответственно усилие прижима, в результате которого возникают такие напряжения, определится по выражению

$$P_{пр ср} = \sigma \cdot A, \quad (22)$$

где A – площадь прижима.

Сила трения от прижима определится по формуле

$$P_{т} = P_{пр ср} \cdot \mu. \quad (23)$$

Для определения деформации воспользуемся выражением (рис. 3)

$$\varepsilon = \frac{(e-h)}{e}, \quad (24)$$

где e – толщина шпона,

h – вертикальная составляющая просвета между ножом и прижимной линейкой.

Под площадью прижима понимается половина площади горизонтальной проекции стороны DE треугольника ADE прижимной линейки. Используя тригонометрические функции, найдем ее значение

$$A = \frac{(e-h) \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b}{2}, \quad (25)$$

где β' – угол между нажимной и задней гранями прижимной линейки.

С учетом (21), (22), (24) и (25) выражение (23) примет вид

$$P_{т} = \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e}. \quad (26)$$

Анализ результатов экспериментальных исследований [12] и значений P_T , полученных с использованием выражения (26), показал их несогласованность. Для расчета экспериментальных значений силы трения пользовались формулой

$$P_{T.эксп.} = P_{эксп.} - P_{р.эксп.}, \tag{27}$$

где $P_{эксп.}$ – усилие резания древесины с обжимом,

$P_{р.эксп.}$ – усилие резания древесины без обжима.

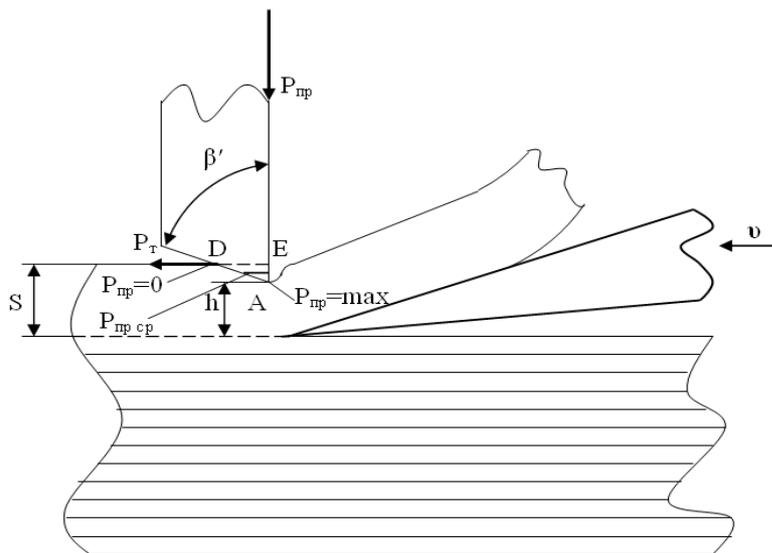


Рис. 3. Схема для расчета сил прижима и трения от обжима древесины

Результаты сводим в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

**Результаты теоретических и экспериментальных данных
силы трения прижимной линейки о древесину**

Толщина срезаемого шпона, мм	Степень обжима, %	Сила трения, Н	
		теоретическая	экспериментальная
1,0	10	287,91	57,27
	15	530,28	139,09
	20	777,06	204,55
1,5	10	431,86	122,73
	15	767,76	286,37
	20	1199,62	368,19
2,0	10	575,82	294,55
	15	1005,48	433,65
	20	1622,43	466,37

Такое расхождение обусловлено тем, что модуль упругости древесины в смятом состоянии имеет несколько иное значение. Степень несоответствия выразим путем введения поправочного коэффициента, зависящего от толщины и степени обжима шпона

$$a_{пр} = \frac{P_{T.эксп.}}{P_{T.теор.}} \tag{28}$$

Численные значения поправочного коэффициента $a_{пр}$ представлены в табл. 4.

С учетом поправочного коэффициента выражение (26) примет вид

$$P_T = \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \operatorname{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{пр} \tag{29}$$

Таким образом, общее усилие резания при строгании древесины вдоль волокон отобразится формулой

$$P_{\text{бл}} = \frac{\sigma_{\text{ви}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{\text{пр}} + \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \text{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{\text{пр}}. \quad (30)$$

В производственных условиях строгание древесины на шпон ведется с наклоном лезвия ножа относительно волокон, то есть необходимо учесть этот угол коэффициентом $a_{\text{ф}}$.

Выражение (30) примет вид

$$P_{\text{бл}} = \left(\frac{\sigma_{\text{ви}} \cdot b \cdot e^2 \cdot \cos \delta \cdot \mu}{6 \cdot l} a_{\text{пр}} + \frac{(e-h)^2 \cdot E \cdot \text{tg} \beta' \cdot b \cdot \mu}{2 \cdot e} a_{\text{пр}} \right) \cdot a_{\text{ф}}. \quad (31)$$

Т а б л и ц а 4

Значение поправочного коэффициента $a_{\text{пр}}$

Толщина строгаемого шпона, мм	Степень обжима, %	Коэффициент $a_{\text{пр}}$
1,0	10	0,20
	15	0,26
	20	0,26
1,5	10	0,28
	15	0,37
	20	0,31
2,0	10	0,51
	15	0,43
	20	0,29

Согласованность теоретических расчетов с использованием зависимости (31) и экспериментальных данных отражена в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Степень согласованности теоретических и экспериментальных данных

Толщина строгаемого шпона, мм	Степень обжима, %	Сила резания при строгании, Н		Расхождение, %
		теоретическая	экспериментальная	
1,0	10	343,94	343,64	0,09
	15	424,23	425,46	0,29
	20	488,39	490,92	0,52
1,5	10	529,14	531,83	0,51
	15	692,29	695,47	0,46
	20	780,10	777,29	0,36
2,0	10	866,38	867,29	0,11
	15	1005,07	1006,39	0,13
	20	1043,22	1039,11	0,39

Выводы.

1. Сопоставлением экспериментальных и теоретических данных получены численные значения поправочных коэффициентов:

– $a_{\text{пр}}$ при резании древесины различной толщины (табл. 2);

– $a_{\text{пр}}$ при строгании шпона различной толщины и степени обжима (табл. 4)

2. Разработана математическая модель процесса продольного резания древесины на шпон (31) с учетом поправочных коэффициентов.

3. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало высокую степень их согласованности (табл. 5).

Список литературы

1. Грубе, А. Э. Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубе. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 344 с.
2. Любченко, В. И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В. И. Любченко. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 296 с.
3. Михеев, И. И. Производство лущеного и строганого шпона / И. И. Михеев, В. А. Воронов, В. И. Любченко. – М.: Высшая школа, 1970. – 246 с.
4. Патент № 2090358. РФ, МКИ 6 B27L5/00. Способ изготовления строганого шпона и станок для его осуществления / Нестеренко А. И. № 93053294/13; Заявл. 26.11.93; Оpubл. 20.09.97.
5. Проспект фирмы «Magunaka» – www.technica.net/magunaka/index.htm.
6. Плахов, В. Н. Производство строганого шпона / В. Н. Плахов. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 128 с.
7. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева. Ч. I / М. А. Дешевой. – Л.: Кубуч, 1934. – 550 с.
8. Манжос, Ф. М. Дереворежущие станки / Ф. М. Манжос. – 2-изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 456 с.
9. Бершадский, А. Л. Резание древесины / А. Л. Бершадский. – М.: Гослесбумиздат, 1955.
10. Ивановский, Е. Г. Станки и инструменты по механической обработке древесины / Е. Г. Ивановский. – Л.: ВЗЛТИ, 1959.
11. Воскресенский, С. А. Резание древесины / С. А. Воскресенский. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 200 с.
12. Чемоданов, А. Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А. Н. Чемоданов, Р. Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ. Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2010. – № 1. – С. 40–45.
13. Уголев, Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б. Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 176 с.

Статья поступила в редакцию 19.07.10.

A. N. Chemodanov, R. Kh. Gainullin

**POWER CHARACTERISTICS DETECTION OF THE PROCESS
OF WOOD LONGITUDINAL SLICING TO VENEER**

The technique of calculating of the cutting forces in the longitudinal slicing of the wood to the veneer is described. Numerical values of evaluation factors, which take into account thickness and the degree of veneer crimp, are obtained.

Key words: *wood, veneer, longitudinal slicing, evaluation factors, mathematical model.*

ЧЕМОДАНОВ Александр Николаевич – кандидат технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных складов, оборудование деревообрабатывающих производств, сушильные камеры периодического действия. Автор более 120 публикаций.

E-mail: ChemodanovAN@marstu.net

ГАЙНУЛЛИН Ренат Харисович – аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ. Область научных интересов – технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Автор 10 публикаций.

E-mail: GajnullinRH@marstu.net