

УДК 674.023:621.9

И.Т. Глебов

Глебов Иван Тихонович родился в 1938 г, окончил в 1961 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральского государственного лесотехнического университета, почетный работник высшей школы. Имеет более 100 научных трудов.



РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Предложены формулы, развивающие расчетный метод А.Л. Бершадского, для силы резания при толщине стружки менее 0,1 мм, силы резания по задней поверхности лезвия и коэффициента затупления.

Ключевые слова: резание, древесина, сила, лезвие, затупление, режущая кромка, срезаемый микрослой, коэффициент затупления.

В последние годы автором предложены новые идеи в теории резания древесины, развивающие метод А.Л. Бершадского и позволяющие повысить точность расчетов.

По данным А.Л. Бершадского единичную касательную силу резания в зависимости от толщины срезаемого слоя (макро- (без индекса) и микрослой (с индексом «м»)) определяют по следующим формулам [1, 2]:

при $a \geq 0,1$ мм

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka; \quad (1)$$

при $a \leq 0,1$ мм

$$F_{x1m} = \alpha_p F_{x31} + k_m a_m, \quad (2)$$

6*

где α_p – коэффициент затупления режущей кромки лезвия;

p – фиктивная сила резания, Н/мм;

k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, МПа;

a – толщина срезаемого слоя, мм;

F_{x31} – касательная сила резания по задней поверхности лезвия, Н/мм (для острого лезвия по А.Л. Бершадскому $F_{x31} = 0,2p$).

Изменение силы резания в диапазоне микрослоев. Вывод расчетной формулы. В диапазоне микрослоев ($a \leq 0,1$ мм) зависимость единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя имеет параболическую форму (рис. 1). Общее уравнение параболы в осях координат F_{x1} и a :

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

где c, d, e – параметры параболы.

Взяв первую производную от функции (3) по a и приравняв ее нулю, найдем абсциссу и ординату вершины параболы. Парабола проходит через

точку E . Вершина параболы расположена в точке A со следующими координатами:

$$a_A = 0G = 0,1 = -\frac{d}{2c}; \quad (4)$$

$$F_{x1A} = AG = F_{x0,1} = \frac{4ce - d^2}{4c},$$

где $F_{x0,1}$ – касательная сила резания для острого лезвия при толщине срезаемого слоя 0,1 мм, $F_{x0,1} = p + 0,1k$.

Из уравнения (4) получим

$$d = -0,2c; \quad (5)$$

$$4ce - d^2 = 4c F_{x0,1}.$$

Парабола проходит через точку E со следующими координатами:

$$a_E = -\rho_0; \quad (6)$$

$$F_{x1E} = 0,$$

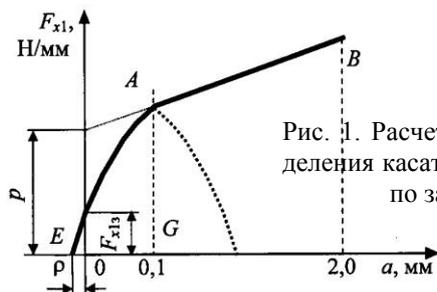


Рис. 1. Расчетная схема для определения касательной силы резания по задней грани

где ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

Подставим эти координаты в уравнение (3):

$$0 = c\rho_0^2 - d\rho_0 + e \quad (7)$$

или

$$e = -c\rho_0^2 + d\rho_0;$$

получим систему уравнений для определения параметров параболы:

$$\begin{cases} d = -0,2c; \\ 4ce - d^2 = 4cF_{x0,1}; \\ e = -c\rho_0^2 + d\rho_0. \end{cases} \quad (8)$$

Решив уравнения (8), будем иметь формулы для параметров параболы:

$$c = -\frac{F_{x0,1}}{\lambda}; \quad d = \frac{0,2F_{x0,1}}{\lambda}; \quad e = F_{x0,1}\left(1 - \frac{0,01}{\lambda}\right). \quad (9)$$

Обозначим $\lambda = \rho_0^2 + 0,2\rho_0 + 0,01$.

Следовательно,

$$F_{x1} = (p + 0,1k) \left(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right). \quad (10)$$

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 острого лезвия

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left(1 - \frac{0,01}{\lambda} \right)$$

или

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left(1 - \frac{0,01}{\rho_0^2 + 0,2\rho + 0,01} \right). \quad (11)$$

Пренебрегая значением ρ_0^2 в виду его малости, упрощая выражение и переходя к размерности ρ в микронах, получим формулу для расчета единичной касательной силы резания по задней поверхности острого лезвия:

$$F_{x3} = (p + 0,1k) \left(\frac{\rho_0}{\rho_0 + 50} \right). \quad (12)$$

Примеры.

1. По Е. Кивимаа при резании березы в торец и $\rho_0 = 5$ мкм, $F_{x1} = 4 + 38a$:

$$F_{x3} = (4 + 0,1 \cdot 38) \left(\frac{5}{5 + 50} \right) = 0,71 \text{ Н/мм.}$$

В фиктивной силе резания доля силы резания по задней поверхности составляет

$$F_{x13} = \frac{0,71}{p} p = \frac{0,71}{4} p = 0,18p.$$

2. В исследованиях В.Г. Морозова при фрезеровании древесины единичная касательная сила резания выражена уравнением $F_{x1} = 1,5 + 13a$, сила резания по задней поверхности – $F_{x13} = 0,26$ Н/мм:

$$F_{x13} = \frac{0,26}{p} p = \frac{0,26}{1,5} p = 0,17p.$$

Расчетные значения F_{x13} по Е. Кивимаа и В.Г. Морозову близки к принятым А.Л. Бершадским: $F_{x13} = 0,2p$. Отклонения составляют соответственно 10 и 15 %.

Касательное давление на переднюю поверхность. Точка A (рис. 1) является общей для участков макро- и микрослоев при их толщине 0,1 мм [3]. Напишем уравнение для силы резания при $a = 0,1$ мм:

для макрослоев

$$F_{x1} = p + 0,1k;$$

для микрослоев

$$F_{x1M} = F_{x3} + 0,1k_M;$$

$$F_{x1M} = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} + 0,1k_M.$$

Приравняем F_{x1} и F_{x1M} :

$$p + 0,1k = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} + 0,1k_m.$$

Отсюда

$$k_m = (\alpha_p p + 0,1k) \frac{500}{\rho_0 + \Delta\rho + 50}, \quad (13)$$

где $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ – прирост радиуса закругления, мкм (рис. 2).

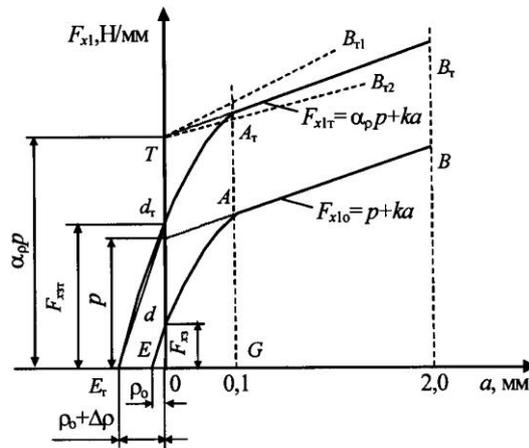


Рис. 2. Графики для расчета коэффициента затупления

Учет затупления лезвий. По мере затупления режущих кромок лезвий значения касательной силы увеличиваются, что учитывают коэффициенты затупления по задней α_{p3} и передней $\alpha_{pн}$ поверхностям лезвия.

Было предложено рассчитывать единичную касательную силу резания для затупленного лезвия по следующей формуле:

$$F_{x1t} = \alpha_{p3} p + \alpha_{pн} ka. \quad (14)$$

Коэффициент $\alpha_{pн}$ при резании массивной древесины незначительно отличается от единицы, поэтому принимают $\alpha_{pн} = 1$. На рис. 2 линией $EdAB$ представлен график зависимости касательной силы резания для острого лезвия, линией $E_t d_t A_t B_t$ – для тупого. Фиктивную силу резания для тупого лезвия определяют с учетом коэффициента затупления α_p : $p_t = \alpha_p p$.

Из точки T проходит прямая линия $A_t B_t$, отражающая зависимость касательной силы резания от толщины срезаемых макрослоев. Если $\alpha_{pн} = 1$, то прямые линии AB и $A_t B_t$ должны быть параллельны.

Уравнение параболы AdE :

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

При $a = 0$ парабола пересекает ось ординат в точке, соответствующей значению силы резания по задней грани лезвия. Таким образом, переводя значения ρ_0 в микроны, получим:

для острого лезвия

$$F_{xz} = (p + 0,1k) \left(\frac{\rho_0}{\rho_0 + 50} \right); \quad (15)$$

для тупого лезвия

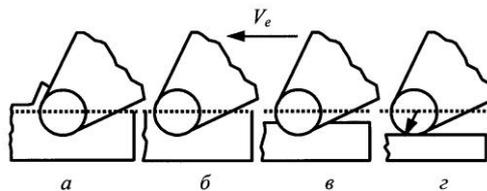
$$F_{xz,т} = (\alpha_p p + 0,1k) \left(\frac{\rho_0 + \Delta\rho}{\rho_0 + \Delta\rho + 50} \right). \quad (16)$$

Заменяем отрезки парабол Ed и $E_T d_T$ прямыми линиями и получим два подобных треугольника: $0d_T E_T$ и $0dE$. Составим отношение сторон этих треугольников:

$$\frac{0d_T}{0d} = \frac{0E_T}{0E}. \quad (17)$$

В случае, когда касательная сила резания равна нулю, ρ – толщина срезаемого слоя (рис. 2 и 3).

Рис. 3. Положительные и отрицательные значения толщины среза: $a - a > 0, F_x > F_{xz}$; $b - a = 0, F_x = F_{xz}$; $в - a < 0, F_x < F_{xz}$; $z - a = -\rho, F_x = 0$



Подставим выражения (15) и (16) в (17):

$$\frac{(\alpha_p p + 0,1k)(\rho_0 + \Delta\rho)(\rho_0 + 50)}{(\rho_0 + \Delta\rho + 50)(p + 0,1k)\rho_0} = \frac{\rho_0 + \Delta\rho}{\rho_0},$$

где k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия, Н/мм².

После преобразований получим формулу для коэффициента затупления режущей кромки лезвия:

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_0 + 50}. \quad (18)$$

Из (18) следует, чем больше k и меньше p , тем больше коэффициент затупления α_p .

Пример. Определим коэффициент затупления α_p при резании с $\rho_0 = 5$ мкм и $\Delta\rho = 20$ мкм и касательной силой резания, описанной следующими уравнениями:

$$F_{x1} = 4\alpha_p + 38a;$$

$$F_{x1} = 1,5\alpha_p + 13a.$$

Для первого уравнения:

$$\alpha_p = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{38}{4}) 20}{5 + 50} = 1,71;$$

для второго уравнения:

$$\alpha_p = 1 + \frac{(1 + 0,1 \frac{13}{1,5}) 20}{5 + 50} = 1,68.$$

Для сравнения приведем расчет по формуле А.Л. Бершадского:

$$\alpha_p = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho_0} = 1 + \frac{0,2 \cdot 20}{5} = 1,80.$$

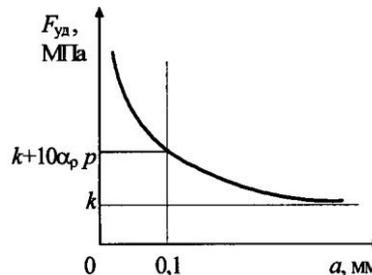
Таким образом, значения коэффициента затупления, вычисленные по формуле (18), несколько ниже, чем по формуле А.Л. Бершадского. Отклонения составляют соответственно 5,0 и 6,7 %. При этом, чем больше k и меньше фиктивная сила резания p , тем больше α_p .

Уравнения для определения единичной касательной силы резания. С учетом коэффициента затупления α_p могут быть найдены касательные единичные силы резания при работе лезвием любой степени затупления:

для макрослоев

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka; \quad (19)$$

Рис. 4. Зависимость удельной силы резания от толщины среза



для микрослоев

$$F_{x1m} = (\alpha_p p + 0,1k) \left(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right), \quad (20)$$

где λ – коэффициент, $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$ (ρ подставляют в миллиметрах).

Зависимость удельной силы резания от толщины срезаемого слоя. Для определения удельной силы резания надо главную составляющую (касательную) силы резания поделить на площадь поперечного сечения среза или касательную единичную силу при ширине среза 1 мм поделить на толщину срезаемого слоя.

Для макрослоев

$$F_{уд} = \frac{F_{x1}}{a} = k + \frac{\alpha_p p}{a} . \quad (21)$$

Уравнение (21) является уравнением гиперболы. Найдя предельные значения $F_{уд}$ при $a \rightarrow 0$ и $a \rightarrow \infty$, получим оси асимптот $a = 0$ и $F_{уд} = k$. График зависимости удельной силы резания от толщины срезаемого слоя приведен на рис. 4. С ростом толщины среза убывает $F_{уд}$.

Для микрослоев

$$F_{уд.м} = \frac{F_{x1м}}{a_m} .$$

Силы резания при пилении древесины. При пилении с учетом трения пилы в пропиле уравнения для единичной касательной силы резания при резании одним зубом имеют следующий вид:

при $a \geq 0,1$ мм

$$F_{x1} = [\alpha_p p + (k + \frac{\alpha t}{b})a] a_n a_m ;$$

при $a \leq 0,1$ мм

$$F_{x1м} = [(\alpha_p p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b}))(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] a_n a_m ,$$

где $k_{тр} = \frac{\alpha t}{b}$ – удельное сопротивление трения пилы в пропиле.

Таким образом, выведены формулы для расчета главной составляющей силы резания в зависимости от толщины срезаемого слоя в диапазоне микрослоев; получены новые формулы для определения силы резания по задней поверхности лезвия и коэффициента затупления. Приведенные формулы позволяют повысить точность расчетов режимов резания древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бершадский, А.Л. Расчет режимов резания древесины [Текст] / А.Л. Бершадский. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 175 с.
2. Бершадский, А.Л. Резание древесины [Текст] / А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. – Минск: Вышейш. шк., 1975. – 303 с.
3. Глебов, И.Т. Резание древесины [Текст] / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. – 151 с.

Поступила 30.06.05

Уральский государственный
лесотехнический университет

I.T. Glebov

Calculation of Tangential Force in Wood Cutting

The formulae developing the calculation method by A.L. Bershadsky are offered for cutting force at shaving thickness of less than 0,1 mm, cutting force at the edge back surface and blunting coefficient.
