

ДАВЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ НА РЕЖУЩУЮ КРОМКУ ЛЕЗВИЯ (PRESSURE OF WOOD UPON CUTTING EDGE OF THE EDGE)

Предложена методика расчета давления срезаемого слоя древесины на режущую кромку лезвия. Показано, что величина напряжений на режущей кромке достигает 56...70 МПа и превышает напряжения, действующие по передней грани, более чем в 3...4 раза.

The method of calculation of pressure of a cut-off layer of wood on cutting edge of an edge is offered. It is shown that the size of tension on a cutting edge reaches 56 ... 70 MPas and exceeds tension operating on a forward side, more than in 3 ... 4 times.

Давление древесины на режущие кромки лезвий, возникающее в процессе резания древесины, влияет на износ и затупление режущих инструментов. При этом в теории резания древесины до сих пор нет четких методик для определения указанных давлений, что затрудняет правильное объяснение процесса резания и назначение рациональных режимов обработки древесины. По мнению А.Л. Бершадского, например, давление на режущую кромку можно определить по формуле [1]:

$$k_{\mu} = 8p + k,$$

где p – фиктивная сила резания, Н/мм;

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

Современные представления о резании древесины позволяют утверждать, что приведенная формула дает приближенный результат и не раскрывает взаимосвязи с другими параметрами процесса резания.

При анализе сил резания принято рассматривать отдельно силы резания по передней поверхности лезвия и по задней поверхности лезвия [2].

На рис. 1 изображено лезвие, на передней поверхности которого показана эпюра горизонтальных давлений, возникающих от давления

срезаемого слоя. Векторы давлений эпюры параллельны результирующей скорости главного движения лезвия V_e .

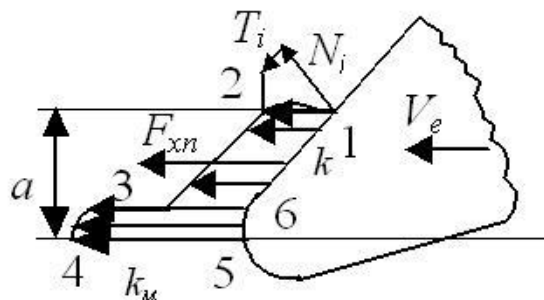


Рис. 1. Схема к определению сил резания на передней поверхности лезвия

Эпюра горизонтальных давлений построена из эпюры нормальных давлений. Для этого каждый вектор нормального давления N_i и созданный им вектор силы трения T_i спроецирован на направление V_e . Полученные точки соединим линией 234. Величина касательной силы резания по передней поверхности лезвия F_{xn} будет равна площади эпюры касательных давлений (все расчеты ведутся на ширину срезаемого слоя 1 мм) [3].

Эпюру касательных давлений на передней поверхности можно рассматривать состоящей из двух слоев: микрослоя 6345, опирающегося на поверхность лезвия и соизмеримого по толщине с радиусом его округления, и внешней части срезаемого слоя 1236. Максимальную толщину микрослоя в срезаемом макрослое принимают равной 0,1 мм. Касательное давление в микрослое обозначим k_m , а во внешнем слое – k .

Если форму слоев эпюры принять за параллелограммы, то единичную силу F_{xn} для срезаемого макрослоя ($a \geq 0,1$ мм) можно найти как сумму площадей слоев эпюры по следующему выражению:

$$F_{xn} = 0,1k_m + k(a - 0,1), \quad (1)$$

где k_m, k – касательное давление на передней поверхности, МПа;
 a – толщина срезаемого слоя, мм;

0,1 – граничное значение толщины срезаемого слоя между микрослоем и макрослоем, мм.

Если толщина срезаемого слоя $a_m < 0,1$ мм (микрослой), то

$$F_{xnm} = k_m a_m. \quad (2)$$

Многочисленными экспериментальными исследованиями доказано, что единичная касательная сила резания изменяется по параболической кривой в диапазоне микрослоев и по линейной в диапазоне макрослоев.

Общее уравнение параболы в осях координат F_{x1} и a (рис. 2)

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

где c, d, e – параметры параболы.

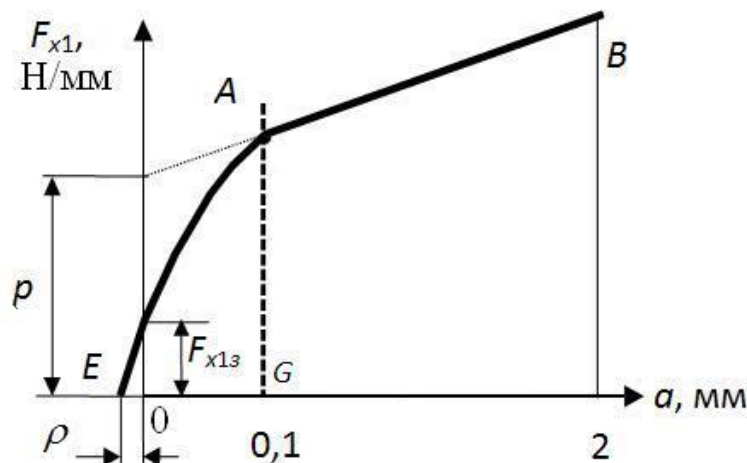


Рис. 2. Зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя

Вершина параболы расположена в точке $A(0,1; F_{x0,1})$, заданной координатами $a = 0,1$ и $F_{x1} = F_{x0,1}$ (значение силы резания при толщине срезаемого слоя $a = 0,1$ мм). Взяв первую производную функции (3) по a , и приравняв ее нулю, найдем абсциссу,

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

Подставив значение a в уравнение (3), найдем ординату вершины параболы.

$$F_{x1A} = AG = F_{x0,1} = \frac{4ce - d^2}{4c}, \quad (5)$$

где $F_{x0,1}$ – значение касательной силы резания при толщине срезаемого слоя $0,1$ мм: $F_{x0,1} = p + 0,1k$.

Парабола проходит через точку E , с координатами:

$$aE = -\rho_0;$$

$$F_{x1E} = 0.$$

Подставляя эти координаты в уравнение параболы, получим

$$0 = c\rho_o^2 - d\rho_o + e,$$

$$e = -c\rho_o^2 + d\rho_o. \quad (6)$$

Для определения параметров c , d , e параболы решим уравнения (4), (5) и (6) как систему уравнений.

После решения системы уравнений получим параметры параболы:

$$c = -\frac{F_{x0,1}}{\lambda}; \quad d = \frac{0,2F_{x0,1}}{\lambda}; \quad e = F_{x0,1}\left(1 - \frac{0,01}{\lambda}\right), \quad (7)$$

где λ – коэффициент: $\lambda = \rho_o^2 + 0,2\rho_o + 0,01$; где ρ_o – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

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

$$F_{x1} = (p + 0,1k)\left(1 - \frac{1}{\lambda}a^2 + \frac{0,2}{\lambda}a - \frac{0,01}{\lambda}\right). \quad (8)$$

Найдем единичную силу 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

$$F_{x31} = (p + 0,1k)\left(1 - \frac{0,01}{\lambda}\right)$$

или

$$F_{x31} = (p + 0,1k)\left(1 - \frac{0,01}{\rho_o^2 + 0,2\rho_o + 0,01}\right). \quad (9)$$

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

$$F_{x31} = (p + 0,1k)\left(\frac{\rho_o}{\rho_o + 50}\right). \quad (10)$$

где ρ_o – начальный радиус закругления режущей кромки острого лезвия, мкм.

Для затупленного лезвия

$$F_{x31} = (\alpha_\rho p + 0,1k) \left(\frac{\rho_o + \Delta_\rho}{\rho_o + 50} \right), \quad (11)$$

где Δ_ρ – величина затупления режущей кромки, мкм;

α_ρ – коэффициент затупления;

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}, \quad (12)$$

Касательная сила резания на лезвии складывается из двух сил: сил действующих по передней и задней поверхности:

$$F_{x1} = F_{x3} + F_{xn}. \quad (13)$$

В общем виде для макрослоев ($a \geq 0,1$ мм)

$$F_{x1} = p + ka, \quad (14)$$

где p – фиктивная сила резания, Н/мм;

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

Подставляя в выражение (13) его составляющие (выражения (14), (10), (1)) для острого лезвия получим:

$$p + ka = (p + 0,1k) \left(\frac{\rho_o}{\rho_o + 50} \right) + 0,1k_\mu + k(a - 0,1).$$

После преобразования найдем величину давления на режущую кромку лезвия в диапазоне срезаемых микрослоев древесины, МПа:

– для острого лезвия

$$k_\mu = 10(p + 0,1k) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_o + 50} \right). \quad (15)$$

– для тупого лезвия

$$k_\mu = 10(\alpha_\rho p + 0,1k) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_o + 50} \right). \quad (16)$$

Пример 1. Дано. Выполняется пиление древесины березы пилой с острыми зубьями; величина касательной силы резания изменяется по уравнению $F_{x1} = 6,72 + 17,58a$. Определить давление на режущей кромке.

Решение. Для начального радиуса закругления $\rho_o = 10$ мкм (зубья пилы)

$$k_{\mu} = 10(p + 0,1k)\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_o + 50}\right) = 10 \cdot (6,72 + 0,1 \cdot 17,58)\left(1 - \frac{10}{10 + 50}\right) = 70,4 \text{ МПа.}$$

$$k_{\mu} = 8,3(p + 0,1k).$$

Пример 2. Дано. Выполняется фрезерование древесины березы фрезой с острыми зубьями; величина касательной силы резания изменяется по уравнению $F_{x1} = 4 + 38a$. Определить давление на режущей кромке.

Решение. Для начального радиуса закругления зубьев фрезы $\rho_o = 5$ мкм

$$k_{\mu} = 10(p + 0,1k)\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_o + 50}\right) = 10 \cdot (4 + 0,1 \cdot 38)\left(1 - \frac{5}{5 + 50}\right) = 71 \text{ МПа.}$$

$$k_{\mu} = 9,1(p + 0,1k).$$

Пример 3. Дано. Выполняется пиление древесины березы пилой с затупленными зубьями, величина затупления $\Delta_{\rho} = 20$ мкм, начальный радиус закругления зубьев $\rho_o = 10$ мкм. Величина касательной силы резания изменяется по уравнению $F_{x1} = 6,72 + 17,58a$. Определить давление на режущей кромке.

Решение. 1. Находим значение коэффициента затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \cdot \frac{17,58}{6,72}) \cdot \frac{20}{10 + 50} = 1,42.$$

2. Давление на режущей кромке

$$k_{\mu} = 10(\alpha_{\rho} p + 0,1k)\left(1 - \frac{\rho_o + \Delta_{\rho}}{\rho_o + 50}\right) \\ = 10(1,42 \cdot 6,72 + 0,1 \cdot 17,58)\left(1 - \frac{10 + 20}{10 + 50}\right) = 56,5 \text{ МПа.}$$

Выводы.

При лезвийном резании древесины на режущей кромке наблюдается концентрация напряжений, направленных параллельно вектору скорости главного движения. Величина напряжений на режущей кромке достигает 56...70 МПа и превышает напряжения, действующие по передней грани, более чем в 3...4 раза.

Величина давления на режущей кромке лезвия зависит от вели-

чины фиктивной силы резания p , касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия k и величины радиуса закругления режущей кромки ρ . Для тупых лезвий напряжения на режущей кромке меньше, чем для острых.

Библиографический список

1. Бершадский А.Л. Расчет режимов резания древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 175 с.
2. Глебов И.Т. Резание древесины. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 256 с.
3. Глебов И.Т. Силы резания при обработке древесины. "Лесной журнал", №6, 1999. – С. 87...89.