

Ключевые слова: резание, древесина, сила, лезвие, угол трения, коэффициент трения

О коэффициенте трения при фрезеровании древесины

Введение

При резании древесины затрачиваемая энергия расходуется на упруго-пластическое деформирование обрабатываемого материала и лезвия, а также на трение. Знание о величине коэффициента трения позволит прогнозировать износ лезвий и точнее анализировать процесс резания.

Изучение процесса внешнего трения связано с именем Леонардо да Винчи (1508 г.), который ввел понятие о коэффициенте трения и определил, что его величина равна 0,25. Французский исследователь Гильом Амонтон (1699 г.) утверждал, что для всех твердых тел коэффициент трения равен 0,3.

В настоящее время разработана молекулярно-механическая теория трения [1], согласно которой твердые тела вследствие шероховатости и волнистости их поверхностей при взаимодействии контактируют не всей номинальной поверхностью, а только пятнами, выступами. В результате различной твердости тел их контактирующие области взаимно внедряются. При движении происходит упругое оттеснение материала, пластическое оттеснение и выцарапывание, нагребание материала.

В местах контакта происходит молекулярное сцепление, сопровождающееся глубинным вырыванием материала, или молекулярное сцепление пленок, которыми тела покрыты.

Изменение коэффициента трения скольжения срезаемого слоя с передней поверхностью лезвия показано на рис. 1 [2]. С увеличением плотности и твердости древесины, а также давления на контактной поверхности, значение коэффициента трения уменьшается. Известно также, что с повышением влажности и температуры древесины, шероховатости

поверхности лезвия и скорости скольжения коэффициент трения скольжения увеличивается.

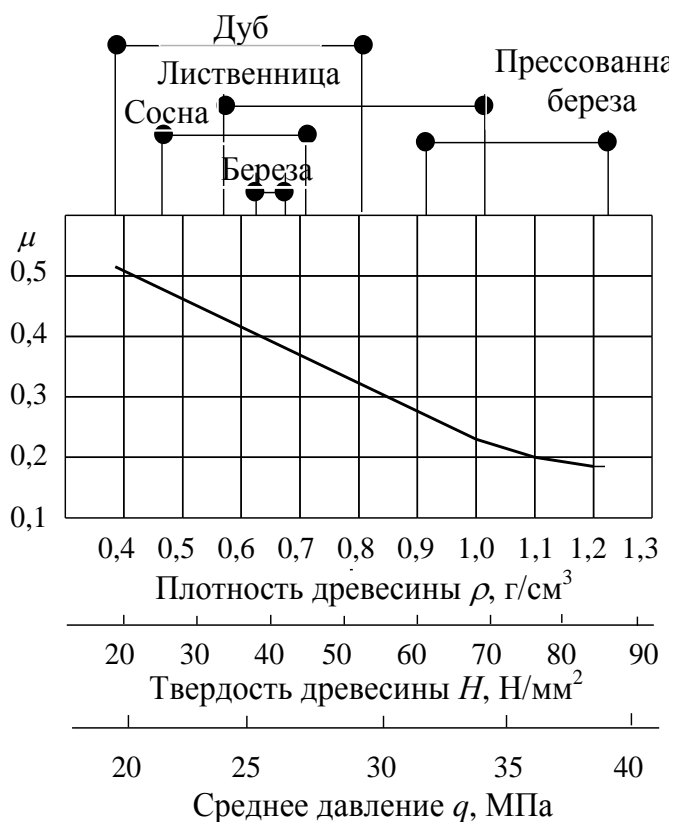


Рис. 1. Изменение коэффициента трения скольжения по передней поверхности лезвия при резании древесины с влажностью 10%

Расчет коэффициента трения

Значения коэффициента трения скольжения на передней поверхности лезвия можно определить расчетным путем.

На рис. 2, а нормальные составляющие силы резания направлены в разные стороны. Нормальная сила резания по передней поверхности F_{zn} имеет отрицательный знак, а сила на задней поверхности лезвия F_{z3} – положительный знак. В этом случае угол трения $\varphi < \gamma$.

Возможен случай, когда сила $F_{zn} = 0$ (рис. 2, б) и угол трения φ равен переднему углу γ .

Возможен также вариант, когда обе нормальные составляющие F_{zn} и F_{z3} имеют знак плюс и действуют в направлении оси Z (рис. 2, в). В этом случае угол трения $\varphi > \gamma$.

Разность углов для всех возможных случаев с учетом знака F_{zn}

$$\varphi - \gamma = \arctg \frac{F_{zn}}{F_{xn}}, \quad (1)$$

где γ – передний угол лезвия.

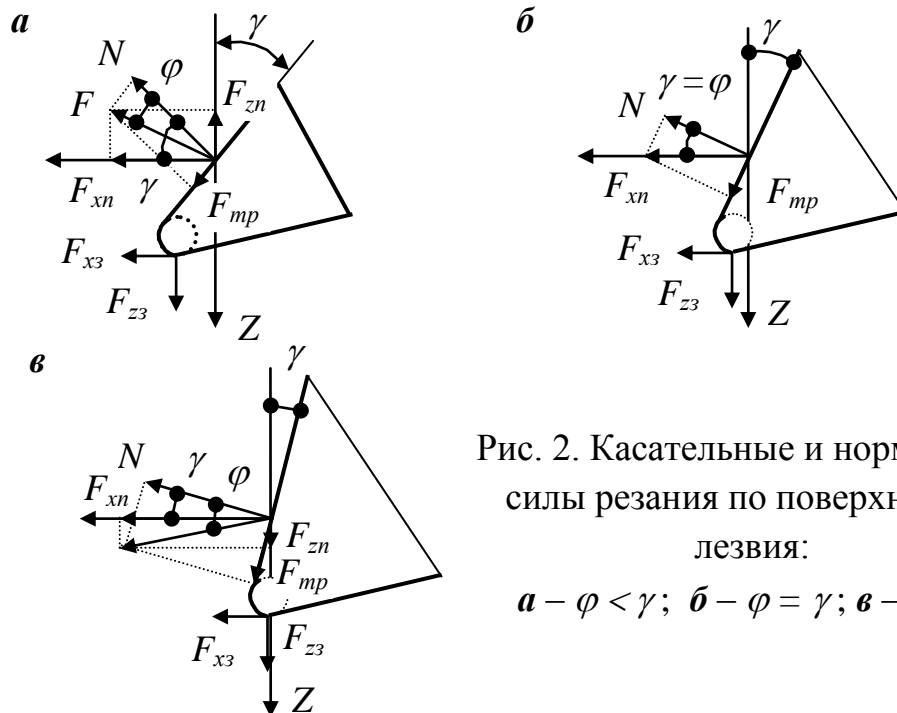


Рис. 2. Касательные и нормальные силы резания по поверхностям лезвия:

a – $\varphi < \gamma$; *б* – $\varphi = \gamma$; *в* – $\varphi > \gamma$

Отсюда следует, что коэффициент трения срезаемого слоя по передней поверхности лезвия

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} \frac{F_{zn1}}{F_{xn1}}). \quad (2)$$

Единичную радиальную (нормальную) составляющую силы резания часто выражают через единичную касательную силу резания F_{x1} и переходный множитель m : $F_{z1} = mF_{x1}$. При этом $m = m_1 + m_2$; значение m_1 зависит от радиуса закругления режущей кромки и толщины срезаемого слоя, значение m_2 зависит от угла резания лезвия [3]. Касательная сила резания

$$F_{x1} = \alpha_p p + ka, \quad (3)$$

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; $a \geq 0,1$ мм.

Коэффициент затупления режущей кромки лезвия можно найти по формуле [4]

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_0 + 50}, \quad (4)$$

где Δ_{ρ} – величина затупления режущей кромки, мкм; ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, для фрез $\rho_0 = 5$ мкм.

Единичная радиальная сила резания по передней поверхности лезвия равна

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31}, \quad (5)$$

где F_{z31} – единичная радиальная (нормальная) составляющая силы резания, действующая на задней поверхности лезвия: $F_{z31} = F_{x31}/f$.

Единичную касательную силу резания по задней поверхности лезвия F_{x31} можно найти по формуле [4]:

$$F_{x31} = (\alpha_{\rho} p + 0,1k) \left(\frac{\rho}{\rho + 50} \right) = F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50}, \quad (6)$$

где ρ – радиус закругления режущей кромки лезвия, мкм.

Коэффициент трения f по задней поверхности лезвия, по данным А.Л. Бершадского, можно принять равным

$$f = \frac{2}{\alpha_{\rho}^2}, \quad (7)$$

где α_{ρ} – коэффициент затупления режущей кромки лезвия.

По формуле (5) получим

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31} = mF_{x1} - \frac{0,5\rho\alpha_{\rho}^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)}. \quad (7)$$

Единичная касательная сила резания по передней поверхности лезвия равна

$$F_{xn1} = F_{x1} - F_{x31} = F_{x1} - F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50}. \quad (8)$$

Из (2) получим формулу для расчета коэффициента трения по передней поверхности лезвия

$$\mu = \operatorname{tg}[\gamma + \operatorname{arctg} \frac{m(\rho + 50)F_{x1} - 0,5\rho\alpha_{\rho}^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)F_{x1} - \rho F_{x0,1}}]. \quad (9)$$

Расчетные значения коэффициента трения

Ниже приведены значения коэффициента трения по передней поверхности лезвия при резании древесины сосны, рассчитанные по

формуле (9). Расчеты проводились для условия фрезерования древесины фрезой диаметром 100 мм при скорости главного движения 30 м/с и глубине фрезерования 2 мм. Начальный радиус закругления режущей кромки острого лезвия равен $\rho_0 = 5$ мкм. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения коэффициента трения срезаемого слоя по передней поверхности лезвия при фрезеровании

Угол резания лезвия	Толщина срезаемого слоя a , мм			
	0,1	0,15	0,3	0,4
	Радиус закругления режущей кромки $\rho = 10$ мкм			
50	0,53	0,461	0,386	0,371
55	0,537	0,463	0,383	0,365
60	0,546	0,486	0,382	0,362
70	0,563	0,482	0,386	0,362
80	0,567	0,486	0,386	0,360
	Радиус закругления режущей кромки $\rho = 35$ мкм			
50	0,395	0,289	0,239	0,264
55	0,394	0,288	0,24	0,267
60	0,395	0,292	0,246	0,274
70	0,403	0,306	0,264	0,292
80	0,404	0,318	0,281	0,307

Расчетные значения коэффициента трения близки по величине к экспериментальным (рис. 1).

Влияние параметров условий резания на величину коэффициента трения

Величина коэффициента трения по передней поверхности лезвия определялась по формуле (9). При фрезеровании древесины сосны лезвием с радиусом закругления режущей кромки 10 мкм и углом резания 80° изменение глубины фрезерования, диаметра фрезы, скорости главного движения практически не изменяет величину коэффициента затупления по сравнению с данными табл. 1.

При радиусе закругления режущей кромки 35 мкм и угле резания 80° изменение глубины фрезерования, диаметра фрезы и скорости главного движения приводит к некоторому изменению коэффициента трения. По сравнению с данными табл.1 для тех же значений толщины срезаемого слоя увеличение глубины фрезерования до 4 мм вызывает увеличение коэффициента трения соответственно до значений

0,415 0,325 0,284 0,309.

При скорости главного движения 25 и 40 м/с коэффициент трения равняется соответственно

$V = 25$ 0,385 0,306 0,275 0,304

$V = 40$ 0,441 0,343 0,291 0,314

При диаметре фрезы 150 мм коэффициент трения равен

0,399 0,315 0,279 0,306.

Библиографический список

1. Крагельский И.В., Виноградов И.Э. Коэффициент трения. – М., 1962. – 220 с.

2. Ивановский Е.Г. Резание древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 200 с.

3. Суханов В.Г., Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. – М.: МГУЛ, 2002, – 168 с.

4. Глебов И.Т. Резание древесины: Избранные лекции. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 98 с.