

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 80 научных трудов и 100 авторских свидетельств и патентов на изобретения.



О КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Предложена методика расчета коэффициента трения на передней поверхности лезвия при фрезеровании древесины; приведены расчетные данные в зависимости от различных факторов процесса резания.

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

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

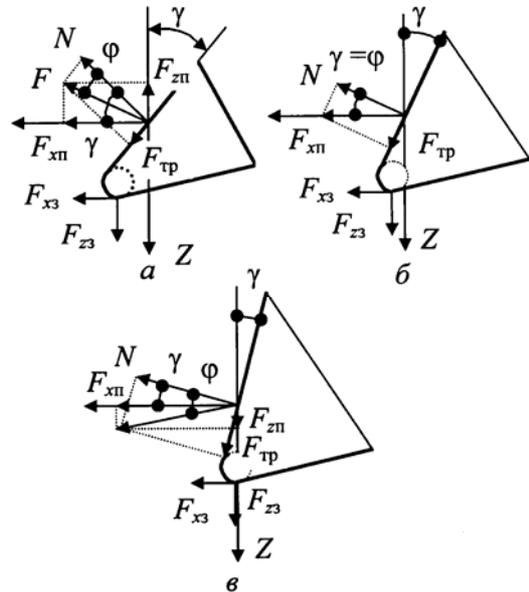
В настоящее время разработана молекулярно-механическая теория трения [3], согласно которой твердые тела вследствие шероховатости и волнистости их поверхностей при взаимодействии контактируют не всей номинальной поверхностью, а только пятнами, выступами. В результате различной твердости тел их контактирующие области взаимно внедряются. При движении имеет место упругое и пластическое отеснение материала, его выцарапывание и нагребание. 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



Рис. 1. Изменение коэффициента трения скольжения μ на передней поверхности лезвия от плотности ρ и твердости H древесины и среднего давления q

Рис. 2. Касательные и нормальные силы резания на поверхностях лезвия: *a* – $\varphi < \gamma$; *б* – $\varphi = \gamma$; *в* – $\varphi > \gamma$



показано на рис. 1 [2]. При увеличении плотности и твердости древесины, а также давления на контактной поверхности, коэффициент трения скольжения уменьшается. Известно, что с повышением влажности и температуры древесины, шероховатости поверхности лезвия и скорости скольжения он увеличивается.

Коэффициент трения скольжения на передней поверхности лезвия можно определить расчетным путем.

На рис. 2, *a* нормальные составляющие силы резания N направлены по нормали к поверхностям. Нормальная сила резания на передней поверхности лезвия $F_{zп}$ имеет отрицательный знак, на задней поверхности $F_{zз}$ – положительный. В этом случае угол трения φ меньше переднего угла резания γ .

Возможен случай, когда сила $F_{zп} = 0$ (рис. 2, *б*) и угол трения $\varphi = \gamma$.

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

Разность углов φ и γ для всех возможных случаев с учетом знака $F_{zп}$:

$$\varphi - \gamma = \operatorname{arctg} \frac{F_{zп}}{F_{xп}}. \quad (1)$$

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

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma + \operatorname{arctg} \frac{F_{zп1}}{F_{xп1}}). \quad (2)$$

Единичную радиальную (нормальную) составляющую силы резания часто выражают через единичную касательную силу резания F_{x1} и переход-

ный множитель m : $F_{z1} = mF_{x1}$. При этом $m = m_1 + m_2$ (m_1 – зависит от радиуса закругления режущей кромки и толщины срезаемого слоя, m_2 – от угла резания лезвия [4]). Единичная 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, $a \geq 0,1$ мм.

Коэффициент затупления режущей кромки лезвия можно найти по следующей формуле [1]:

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_p}{\rho_0 + 50}, \quad (4)$$

где Δ_p – затупление режущей кромки, мкм;

ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, для фрез $\rho_0 = 5$ мкм.

Единичная радиальная сила резания на передней поверхности лезвия

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

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

Единичную касательную силу резания на задней поверхности лезвия F_{x31} можно найти по формуле [1]:

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

где ρ – радиус закругления режущей кромки лезвия, мкм.

Коэффициент трения f на задней поверхности лезвия, по данным А.Л. Бершадского:

$$f = \frac{2}{\alpha_p^2}. \quad (7)$$

Здесь α_p – коэффициент затупления режущей кромки лезвия.

По формуле (5) получим

$$F_{zn1} = F_{z1} - F_{z31} = mF_{x1} - \frac{0,5\rho\alpha_p^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)}. \quad (8)$$

Единичная касательная сила резания на передней поверхности лезвия

$$F_{xn1} = F_{x1} - F_{x31} = F_{x1} - F_{x0,1} \frac{\rho}{\rho + 50}. \quad (9)$$

Угол резания лезвия	Коэффициент трения при толщине срезаемого слоя, мм			
	0,10	0,15	0,30	0,40
50	0,530/0,395	0,461/0,289	0,386/0,239	0,371/0,264
55	0,537/0,394	0,463/0,288	0,383/0,240	0,365/0,267
60	0,546/0,395	0,486/0,292	0,382/0,246	0,362/0,274
70	0,563/0,403	0,482/0,306	0,386/0,264	0,362/0,292
80	0,567/0,404	0,486/0,318	0,386/0,281	0,360/0,307

Примечание. В числителе приведены данные при $\rho = 10$ мкм, в знаменателе – 35 мкм.

Из формулы (2) получим формулу для расчета коэффициента трения на передней поверхности лезвия:

$$\mu = \operatorname{tg}[\gamma + \operatorname{arctg} \frac{m(\rho + 50)F_{x1} - 0,5\rho\alpha_p^2 F_{x0,1}}{(\rho + 50)F_{x1} - \rho F_{x0,1}}]. \quad (10)$$

Рассчитаем по формуле (10) коэффициент трения на передней поверхности лезвия при резании древесины сосны.

Расчеты проведены для случая 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 коэффициента трения срезаемого слоя на передней поверхности лезвия при фрезеровании представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы и рис. 1, расчетные значения коэффициента трения близки к экспериментальным.

При фрезеровании древесины сосны лезвием с радиусом закругления режущей кромки 10 мкм и углом резания 80° изменения глубины фрезерования, диаметра фрезы, скорости главного движения практически не сказываются на коэффициенте затупления (см. таблицу).

При радиусе закругления режущей кромки 35 мкм и угле резания 80° изменения глубины фрезерования, диаметра фрезы и скорости главного движения приводят к некоторому изменению коэффициента трения.

По сравнению с данными таблицы для тех же значений толщины срезаемого слоя увеличение глубины фрезерования до 4 мм соответственно вызывает увеличение коэффициента трения: 0,415; 0,325; 0,284; 0,309.

При скорости главного движения $V = 25$ м/с коэффициент трения соответственно составляет 0,385; 0,306; 0,275; 0,304; при $V = 40$ м/с – 0,441; 0,343; 0,291; 0,314.

При диаметре фрезы 150 мм коэффициент трения равен 0,399; 0,315; 0,279; 0,306.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов, И.Т. Резание древесины: избранные лекции [Текст] / И.Т. Глебов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 98 с.

2. *Ивановский, Е.Г.* Резание древесины [Текст] / Е.Г. Ивановский. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – 200 с.

3. *Крагельский, И.В.* Коэффициент трения [Текст] / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградов. – М., 1962. – 220 с.

4. *Суханов, В.Г.* Резание древесины и дереворежущий инструмент [Текст] / В.Г. Суханов, В.В. Кищенко. – М.: МГУЛ, 2002. – 168 с.

Уральский государственный
лесотехнический университет

Поступила 20.01.06

I.T. Glebov

On Friction Coefficient in Wood Milling

Computation technique for friction coefficient on the front surface of a blade in wood milling is offered. Design data are provided depending on various factors of the cutting process.
