

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.023

Л. В. ОРЛЕНКО, В. В. СОЛОВЬЕВ, А. М. МОРГАЧЕВ

Архангельский государственный технический университет



Орленко Людмила Владимировна родилась в 1967 г., скончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат техн. наук, старший преподаватель кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 17 печатных работ в области исследования процесса резания древесины.



Соловьев Владимир Васильевич родился в 1941 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет 69 печатных работ в области исследования дереворежущих инструментов и процессов резания древесины.



Моргачев Алексей Матвеевич родился в 1940 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования химико-механической переработки древесины Архангельского государственного технического университета. Имеет 31 печатную работу в области резания древесины и совершенствования подготовки и эксплуатации дереворежущего инструмента.

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Предложен метод расчета сил резания древесины, основанный на представлении процесса резания как процесса ее разрушения. Отделение стружки рассматривается как последовательность двух стадий: формирование дефектов типа «трещина» и их развитие.

Calculation method of wood-cutting forces has been suggested, based on viewing the cutting process as the destroying one. The separation of shaving is treated as sequence of two stages: forming defects of the crack type and their development.

Совершенствование резания древесины возможно лишь на базе глубокого анализа процессов, происходящих в зоне внедрения резца. Очевидно, что такой анализ не может быть основан только на результатах экспериментальных исследований. Необходимо разработать достаточно общее теоретическое решение, обеспечивающее возможность получения функциональных зависимостей между параметрами процесса и показателями качества продукции. Построение такого решения возможно при рассмотрении резания как процесса разрушения древесины в поле напряжений, создаваемых внедрением резца.

Опыт показывает, что процесс отделения стружки – это последовательность различных по своей природе актов разрушения, которые не могут быть описаны одним критериальным уравнением, как принято в современной практике исследования [2, 4]. Следует отметить, что независимо от последовательности актов разрушения завершающей стадией является развитие магистральной трещины в неустойчивом режиме. Это дает возможность разделить процесс отделения стружки на два этапа. На первом этапе, в зоне внедрения резца, в древесине формируются области повреждений (смятие волокон, потеря их устойчивости, разрыв волокон), которые можно рассматривать как области возникновения начальных трещин. Второй этап – развитие наиболее опасной трещины в неустойчивом режиме.

Возникновение зон повреждений может быть описано классическим критерием наступления предельного состояния. Для древесины как анизотропного материала условие наступления предельного состояния целесообразно принять в виде [1]

$$\frac{\sigma_x^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma_z^2}{\sigma_{90}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_0^2} + \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_0 \sigma_{90}} = 1, \quad (1)$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – компоненты напряжений в главных осях анизотропии; $\sigma_0, \sigma_{90}, \tau_0$ – соответственно пределы прочности древесины вдоль и поперек волокон и предел прочности на сдвиг.

Для тех точек, в которых напряженное состояние можно рассматривать как линейное, преобразуем условие (1):

$$\sigma = \sigma_B, \quad (2)$$

где σ – действующее напряжение в точке;

σ_B – соответствующий предел прочности.

Второй этап, связанный с развитием трещины и определяющий частичное или полное отделение стружки, может быть описан силовым или энергетическим критерием начала роста трещины [7]. Примени-

тельно к рассматриваемой задаче наиболее удобным оказывается энергетический критерий

$$G = G_c, \quad (3)$$

где G – интенсивность освобождения энергии при продвижении трещины;

G_c – критическая интенсивность освобождения энергии.

В общем случае сложного напряженного состояния величина G определяется в виде суммы трех слагаемых:

$$G = G_I + G_{II} + G_{III}, \quad (4)$$

где G_I , G_{II} , G_{III} – соответственно интенсивность освобождения энергии для трещин нормального отрыва, плоского и антиплоского сдвигов.

Для ортогонально анизотропного материала эти величины определяются по следующим зависимостям [3]:

$$\left. \begin{aligned} G_I &= K_I^2 \left(\frac{a_{11} a_{22}}{2} \right)^{1/2} \left[\left(\frac{a_{11}}{a_{11}} \right)^{1/2} + \frac{2a_{12} + a_{66}}{2a_{11}} \right]^{1/2} \\ G_{II} &= K_{II}^2 \left(\frac{a_{11}}{\sqrt{2}} \right) \left[\left(\frac{a_{22}}{a_{11}} \right)^{1/2} + \frac{2a_{12} + a_{66}}{2a_{11}} \right]^{1/2} \\ G_{III} &= K_{III}^2 \sqrt{\frac{a_{44} a_{55}}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь K_I , K_{II} , K_{III} – соответственно коэффициенты интенсивности напряжений для трещин нормального отрыва, плоского и антиплоского сдвигов.

Коэффициенты $a_{11} \dots a_{66}$ связаны с техническими упругими постоянными:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{E_x}; a_{22} = \frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}; \\ a_{33} &= \frac{1}{E_z}; a_{66} = \frac{1}{G_{xy}}; a_{44} = \frac{1}{G_{xz}}; \\ a_{55} &= \frac{1}{G_{yz}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где E_x, E_y – модули нормальной упругости в направлении главных осей анизотропии x, y ;

G_{xy}, G_{yz}, G_{xz} – модули касательной упругости;

ν_{xy}, ν_{yx} – коэффициенты Пуассона.

Поставляя в формулы (5) значения критических коэффициентов

интенсивности напряжений K_{Ic} , K_{IIc} , K_{IIIc} , получаем значения критических интенсивностей освобождения упругой энергии при распространении трещины.

Левая часть равенства (3) также может быть определена на основании формул (5). Решение задачи в такой постановке встречает значительные математические сложности при определении K_I , K_{II} , K_{III} . Если принять, что стружкообразование представляет собой процесс отделения тонкой полосы от упругого полупространства, то возможно использовать приближенное решение, предложенное в работах А. М. Михайлова [5, 6]. Отделяемую полосу он рассматривает как балку, защемленную одним концом, а ее напряженное состояние определяет с помощью технической теории деформации стержней. Интенсивность освобождения энергии находится по формуле

$$G = \frac{dU}{dl}, \quad (7)$$

где U – потенциальная энергия балки,

$$U = \frac{1}{2E_s I} \int_0^l M^2 dx + \frac{1}{2E_s A} \int_0^l N^2 dx; \quad (8)$$

$I = \frac{h^3}{12}$ – осевой момент инерции поперечного сечения отделяемой стружки;

h – толщина срезаемого слоя;

l – длина трещины в рассматриваемый момент времени, которая принимается равной величине внедрения резца (рис. 1);

M – изгибающий момент;

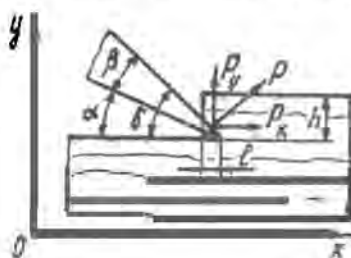
A – площадь поперечного сечения стружки;

N – продольная сила.

Таким образом, совместное решение уравнений (1) и (3) позволяет определить величину внедрения резца, при котором происходит отделение элемента стружки.

Рассмотрим прямолинейное резание вдоль волокон (рис. 1). По мере внедрения резца в области его вершины возрастает напряженное состояние древесины. Наиболее опасной оказывается зона, контактирующая с передней гранью резца. Полагая, что распределение

Рис. 1. Расчетная схема резания



напряжений в пределах контактной площади является равномерным (рис. 1), получаем

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{P}{l} \sin^2 \delta \cos \delta; \\ \sigma_y &= \frac{P}{l} \cos^3 \delta; \\ \tau_{xy} &= \frac{P}{2l} \cos^2 \delta \sin \delta, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где P – усилие, действующее на переднюю грань резца;

$\delta = \alpha + \beta$ – угол резания;

α – задний угол;

β – угол заострения резца.

Подставим значения σ_x , σ_y , τ_{xy} в (1):

$$P = \frac{\sigma_0 l}{\sin^2 \delta \cos \delta \sqrt{1 + \frac{\sigma_0^2}{\sigma_{90}^2} \operatorname{ctg}^4 \delta \frac{\sigma_0^2}{2\tau_0^2} \operatorname{ctg}^2 \delta - \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}} \operatorname{ctg} \delta}} \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что на этом этапе возрастание нагрузки происходит пропорционально l . В момент, когда энергия упругой деформации древесины достигает критического значения, происходит полное или частичное отделение элемента стружки. Условие (3), характеризующее начало развития трещины, может быть представлено в виде

$$P = \frac{2IC \left(\sqrt{\frac{B}{2} K_{lc}} + \frac{1}{\sqrt{2}} K^2_{llc} \right)}{\sqrt{B \left(l^2 \cos^2 \delta + \frac{l}{AB} \sin^2 \delta \right)}} \quad (11)$$

где

$$C = \sqrt{\sqrt{H} + \frac{1}{2} B \left(\frac{E_y}{G_{xy}} - 2\nu_{xy} \right)}; \quad (12)$$

$$B = \frac{E_x}{E_y}$$

В рассматриваемом случае учитывают два механизма разрушения, обеспечивающие отделение стружки: первый – нормальный отрыв, происходящий под действием перпендикулярной к плоскости резания составляющей силы резания P_y (I тип трещины); второй – плоский сдвиг, обусловленный действием составляющей P_x (II тип трещины). Очевидно, влияние того или иного механизма на отделение стружки

определяется, в свою очередь, двумя факторами: во-первых, способностью древесины сопротивляться развитию трещин, во-вторых, величиной угла резания [8]. Если древесина в плоскости резания обладает большей способностью сопротивляться распространению трещин нормального отрыва, чем трещин сдвига, то отделение стружки будет происходить преимущественно в результате развития трещин сдвига. Например, при резании поперек волокон определяющими являются трещины сдвига, а при резании вдоль волокон, при прочих равных условиях, отделение стружки происходит в основном за счет возникновения трещин нормального отрыва. Существенным фактором является и величина угла резания. При малых углах увеличивается влияние вертикальной составляющей силы резания и, соответственно, влияние механизма нормального отрыва. Для $\delta = 90^\circ$ при любых условиях будет реализован механизм плоского сдвига. Так как древесина вдоль волокон обладает большей способностью сопротивляться развитию трещин II типа, то усилия резания в этом случае оказываются наибольшими.

Уравнения (10) и (11) составляют систему уравнений, корнями которой являются величина внедрения резца l и соответствующая ему сила резания P . Эту систему целесообразно решать графическим и итерационным способами.

На рис. 2 представлены результаты расчета, выполненные для следующих исходных данных.

Упругие характеристики древесины [1]:
 $E_x = 16225$ МПа, $E_y = 701$ МПа,
 $G_{yx} = 645$ МПа, $\nu_{xy} = 0,33$.

Характеристики прочности [1]:
 $\sigma_0 = 48,15$ МПа, $\sigma_{90} = 7,47$ МПа, $\tau_0 = 7,43$ МПа.

Характеристики трещиностойкости древесины [6]:

$K_{IC} = 0,44$ МПа·м^{1/2}, $K_{IIIC} = 0,545$ МПа·м^{1/2}.

Толщина срезаемого слоя $h = 0,6 \dots 0,8$ мм. Угол резания $\delta = 50^\circ$.

Линия 1 получена по уравнению (10) и характеризует интенсивность возрастания нагрузки на первом этапе, линии 2, 3 – по уравнению (11). Координаты точек пересечения линии 1 с 2 и 3 определяют максимальные (для данных условий резания) значения P и l . Практическое значение имеет лишь величина P .

Анализ результатов расчета позволяет отметить, что величина силы резания существенно зависит не только от толщины срезаемого слоя и угла резания, но и от степени анизотропии древесины. Определяющее значение здесь имеет различие модулей нормальной упругости вдоль и поперек волокон. Увеличение отношения E_x/E_y приводит к

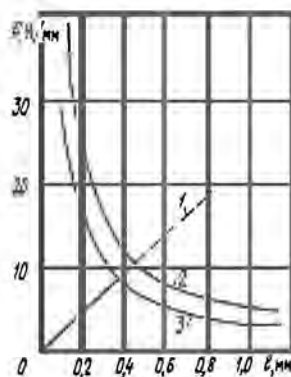


Рис. 2. Графический способ определения сил резания: 1 – по уравнению (10); 2, 3 – (11); 2 – $h = 0,8$ мм; 3 – $0,6$ мм