

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Биргер И. А., Пановко Я. Г. Прочность, устойчивость, колебания.— М.: Машиностроение, 1968.— Т. II.— 464 с. [2]. Писаренко Г. С. и др. Сопротивление материалов.— Киев: Высш. шк., 1979.— 694 с. [3]. Пономарев С. Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении.— М.: Машгиз, 1958.— Т. II.— 974 с. [4]. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов.— М.: Наука, 1986.— 512 с. [5]. Чубов Н. И. Металлизированная прессованная древесина.— Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1975.— 136 с. [6]. Чернышев Ю. Ф. Напряженное состояние ортотропного цилиндра переменной плотности // Лесн. журн.— 1990.— № 6.— С. 71—75.— (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Шейдин И. А., Пюдик П. Э. Технология производства древесных пластиков и их применение.— М.: Лесн. пром-сть, 1971.— 264 с.

Поступила 28 декабря 1992 г.

УДК 674.053¹

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

Л. В. СЕНЬКЕВИЧ

Архангельский лесотехнический институт

Выбор рациональных параметров фрезерования, обеспечивающих наиболее высокий процент кондиционных фракций технологической щепы, обсуждался в многочисленных экспериментальных и теоретических работах. В экспериментальных исследованиях [4, 6] задача решается методом пробных вариантов и сводится к количественной оценке фракционного состава щепы при тех или иных параметрах резания. Полученные при этом результаты имеют применение, ограниченное диапазоном варьируемых в эксперименте величин. Вместе с тем из рассмотрения исключается процесс образования щепы, что не способствует пониманию механизма отделения элементов щепы и не создает предпосылок целенаправленного изменения варьируемых параметров. Имеющиеся теоретические работы [2] в основном посвящены кинематическому анализу движения лезвия и не вскрывают основных закономерностей образования щепы.

Наиболее полное представление о механизме образования элементов щепы может быть получено при рассмотрении процесса резания, как процесса разрушения древесины под действием напряжений, возникающих в результате внедрения лезвия.

При таком подходе к анализу процесса резания образование элементов щепы может быть представлено в следующей последовательности. При определенной величине внедрения лезвия в области, непосредственно прилегающей к его поверхностям, образуется зона начальных разрушений. Как следует из рассмотрения элементов щепы, эта зона представлена двумя видами: смятие волокон древесины и образование системы трещин, ориентированных вдоль волокон. По мере продвижения лезвия в древесине происходит расширение зоны повреждения, которое сопровождается ростом нагрузки. Рост продолжается до того момента, пока какая-либо из трещин не переходит в режим нестабильного развития, что соответствует возникновению сквозной трещины с частичным или полным отделением щепы. При этом происходит уменьшение нагрузки, действующей на лезвие, и повторение процесса. Таким образом, процедура расчета процесса резания должна содержать два этапа.

Первый этап состоит в исследовании напряженного состояния в прирезцовой области и его оценке в смысле наступления предельного состояния, которое в данном случае должно расцениваться как образование начальных трещин.

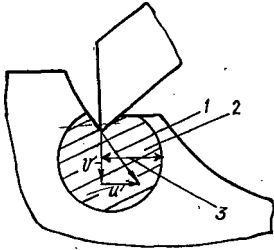


Рис. 1. Расчетная схема: 1 — вектор перемещения лезвия (u , v — составляющие этого вектора); 2 — область предельного состояния; 3 — начальная длина трещины

Реализация этого этапа требует решения задачи о напряженном состоянии области со свойствами ортогональной анизотропии при заданных перемещениях (рис. 1). Очевидно, что поставленная задача может быть реализована лишь численным методом, в частности методом конечных элементов. При этом существует возможность рассмотрения плоской задачи.

Оценка напряженного состояния и определение границы области повреждений (размер начальных трещин) требуют выбора критерия перехода материала в запредельное состояние. Сложность данной задачи состоит в том, что понятие предельного состояния древесины объединяет многообразные явления и процессы различной физической природы, зависящие от различных факторов. В рассматриваемом случае с достаточной точностью можно полагать, что все виды повреждений так или иначе приводят к образованию трещин. При этом критерий наступления предельного состояния какой-либо точки может быть использован в виде [1]

$$\frac{\sigma_x^2}{\sigma_a^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_r^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_{ar}^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_a \sigma_r} = 1, \quad (1)$$

где σ_x , σ_y , τ_{xy} — компоненты напряжений в главных осях анизотропии (ось x совпадает с направлением волокон);
 σ_a , σ_r — пределы прочности древесины соответственно вдоль и поперек волокон;
 τ_{ar} — предел прочности древесины на сдвиг в плоскости xy .

Второй этап расчета состоит в оценке состояния трещин. Следуя методам механики разрушения [3], будем полагать, что трещина переходит в неустойчивый режим развития, если выполняется равенство

$$\frac{K_I}{K_{Ic}} + \frac{K_{II}}{K_{IIc}} = 1, \quad (2)$$

где K_I , K_{II} — коэффициенты интенсивности напряжений соответственно нормального отрыва и поперечного сдвига;
 K_{Ic} , K_{IIc} — вязкость разрушения древесины (механические характеристики).

Учитывая, что размеры трещин в устойчивом состоянии малы по сравнению с размерами элементов щепы, используем при определении K_I и K_{II} решение задачи для тела с краевой трещиной [5]

$$\left. \begin{aligned} K_I &= \sigma_y \sqrt{\pi l}; \\ K_{II} &= \tau_{xy} \sqrt{\pi l}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь σ_y , τ_{xy} — компоненты напряжений;
 l — длина трещины.

Если $\sigma_y < 0$, то раскрытия трещины не происходит и следует полагать $K_I = 0$. Подставляя (3) в (2), получаем критическую длину трещины $l_{кр}$, при которой наблюдается отделение элемента щепы или, по крайней мере, расслоение древесины:

$$l_{кр} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{K_{Ic} K_{IIc}}{\sigma_y K_{IIc} + \tau_{xy} K_{Ic}} \right]^2 \quad (4)$$

Таким образом, в принятом подходе предполагают следующий порядок расчета. При любом малом внедрении лезвия определяют методом конечных элементов напряженное состояние древесины. По формуле (1) для каждого элемента производят оценку напряженного состояния. Если ни для одного элемента, расположенного в прирезцовой зоне, условие (1) не выполняется, то увеличивают внедрение лезвия и повторяют расчет напряжений, пока не образуется непрерывная область предельного состояния непосредственно у лезвия реза. Размер этой области в направлении волокон (рис. 1) предполагается равным начальной длине трещины l_n . Критическую длину трещины (4) вычисляют при значениях напряжений, соответствующих элементам, которые расположены на границе области предельного состояния. Если $l_n < l_{кр}$, то производят увеличение внедрения и расчет повторяют.

Положение трещины, оказавшейся в неустойчивом состоянии, определяет толщину отделяемой щепы, а силы, действующие на поверхности лезвия в данный момент времени (рис. 2), являются наибольшими и вычисляются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} P_\sigma &= \int_0^S \sigma dS; & P'_\sigma &= \int_0^{S'} \sigma' dS'; \\ P_\tau &= \int_0^S \tau dS; & P'_\tau &= \int_0^{S'} \tau' dS', \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где P_σ и P_τ , P'_σ и P'_τ — нормальная и касательная силы, действующие соответственно по задней и передней поверхностям лезвия;

S, S' — размер площадки контакта соответственно задней и передней поверхностей лезвия с древесиной;

σ и τ , σ' и τ' — нормальные и касательные напряжения соответственно на передней и задней поверхностях лезвия,

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \sigma_x \cos^2 \alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha; \\ \tau &= \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

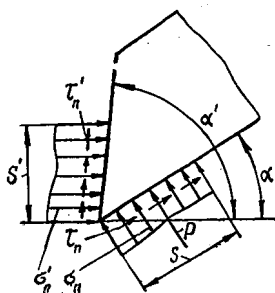


Рис. 2. Схема действия сил

где α — угол, составленный осью и соответствующей поверхностью лезвия.

Этот метод расчета процесса резания позволяет учесть ряд факторов (гидротермическое состояние древесины, порода, геометрические параметры реза и др.), не поддающихся учету при других подходах.

Рассмотрим фрезерование древесины с получением технологической щепы малоножевыми торцово-коническими фрезами.

Параметры процесса: максимальный диаметр резания 725 мм; минимальный диаметр резания 465 мм; высота фрезерования $B = 160$ мм; углы резания $\gamma = 45^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $\alpha = 15^\circ$; подача на нож $u_z = 20$ мм; средняя скорость резания $v = 22$ м/с.

Упругие характеристики рассматриваемой древесины (ель в состоянии воздушно сухой влажности) по данным [1]: $E_a = 14\,200$ МПа; $E_r = 590$ МПа; $E_t = 360$ МПа; $G_{ar} = 869$ МПа; $G_{at} = 637$ МПа; $G_{rt} = 35,8$ МПа; $\mu_{rt} = 0,43$; $\mu_{ar} = 0,37$; $\mu_{at} = 0,018$.

Характеристики прочности: $\sigma_{ap} = 100,5$ МПа; $\sigma_{ac} = 39$ МПа; $\sigma_{rp} = 5,02$ МПа; $\sigma_{rc} = 7,37$ МПа; $\tau = 6,2$ МПа.

По результатам исследований, проведенных автором, критические коэффициенты интенсивности напряжений нормального отрыва и поперечного сдвига равны соответственно 0,42 и 0,40 МПа \cdot м^{1/2}.

При расчете напряженного состояния используют треугольные элементы с шестью степенями свободы. Наибольший размер элементов в зоне внедрения лезвия составляет 5 мм.

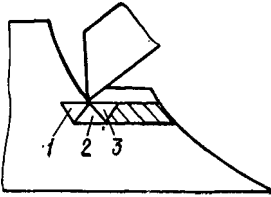


Рис. 3. Область развития трещин (номера позиций соответствуют номерам элементов в таблице)

Расчеты показывают, что впервые область предельного состояния возникает при перемещении лезвия по траектории движения на 0,9 мм. Элементы, испытывающие наибольшие напряжения (рис. 3), расположены непосредственно под режущей кромкой. Значения напряжений в этих элементах представлены в таблице.

Номер элемента	σ_x	σ_y	τ_{xy}
	МПа		
1	8,54	-1,50	6,20
2	7,93	-5,70	6,45
3	1,88	-3,08	6,80

Наибольшие растягивающие напряжения σ_x , действующие вдоль волокон, возникают со стороны задней поверхности лезвия (элемент 1). Однако эти напряжения меньше предела прочности древесины на растяжение σ_a , следовательно, разрыва волокон при внедрении лезвия не следует ожидать. Предельное состояние в отмеченных элементах обусловлено в основном касательными напряжениями. Рассматривая поврежденную зону как зону образовавшихся трещин и оценивая их на основании критерия устойчивости r (2), приходим к выводу, что трещины при данном уровне напряженного состояния могут распространяться

на всю длину отделяемых элементов щепы. Зона образования сквозных трещин показана на рис. 3 штриховой линией. Следует также отметить, что основной механизм распространения трещин—деформация сдвига. Об этом свидетельствуют значения коэффициентов интенсивности напряжений на фронте трещины $K_I = -0,386 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, $K_{II} = 0,852 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Так как $K_I < 0$, то в расчете примем $K_I = 0$.

Несмотря на образование сквозных трещин, по-видимому, полного отделения элементов щепы в данный момент времени еще не происходит, и процесс можно рассматривать как подготовительный. Это связано с тем, что волокна непосредственно под режущей кромкой еще не разделились. Для осуществления этого акта необходимо дальнейшее внедрение лезвия. Как только совершится перерезание волокон на глубину до первой магистральной трещины, элемент щепы отделится. При этом можно полагать, что возрастание напряжений в области отделяемой щепы не произойдет, так как наличие трещин обеспечивает свободную податливость материала. Рост напряжений возможен лишь в малых объемах древесины, контактирующих с задней поверхностью лезвия.

Анализ процесса образования щепы показывает, что последовательность актов разрушения, приводящих к отделению элементов, зависит от соотношения составляющих u , v вектора перемещения лезвия. Величина этих составляющих определяется кинематическим углом встречи и изменяется по мере перемещения лезвия в древесине. Расчетom установлено, что при одних и тех же значениях перемещений $u = v = 1$ касательные напряжения τ_{xy} от горизонтальной составляющей в 30—40 раз (в зависимости от положения элемента) больше, чем от вертикальной составляющей. При рассмотренном положении лезвия в момент образования зоны предельного состояния $u = 0,445 \text{ мм}$, $v = 0,782 \text{ мм}$. Поэтому первоначальной причиной разрушения являются касательные напряжения, и расслоение щепы предшествует ее отделению. При этом зона возможного развития трещин оказывается достаточно обширной, и, следовательно, возможно измельчение щепы.

При другом положении лезвия, например в начале траектории резания, горизонтальное и вертикальное перемещения соответственно составляют 0,160 и 0,885 мм. В критерии наступления предельного состояния определяющими становятся напряжения σ_x и σ_y . Поэтому в начале происходят разрушения, связанные с разделением древесины вдоль волокон.

Таким образом, представленный метод расчета позволяет провести углубленный анализ процесса резания и определить оптимальные параметры, обеспечивающие получение щепы необходимого качества с минимальными затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ашкенази Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов.—Л.: Машиностроение, 1972.—216 с. [2]. Боровиков Е. М., Фефилов Л. А., Шестаков В. В. Лесопиление на агрегатном оборудовании.—М.: Лесн. пром-сть, 1985.—215 с. [3]. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие / Под общ. ред. В. В. Панасюка.—Киев: Наукова думка, 1988.—Т. 1.—487 с. [4]. Поромов В. Н. Влияние гидротермического состояния древесины и сучков на силовые характеристики процесса фрезерования // Материалы 4-й науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов.—Архангельск: ЦНИИМОД, 1980.—С. 82—85. [5]. Слепян Л. И. Механика трещин.—Л.: Судостроение, 1981.—295 с. [6]. Шестаков В. В. Исследование фрезерования древесины многоножевыми торцово-коническими фрезами с получением технологической щепы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.—М., 1978.—21 с.