

УДК 674.023

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНО-ТОРЦОВОМ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

Г. В. КУДРЯВИН

ВНПО «Союзнаучдревпром»

Современная механико-математическая теория резания древесины с достаточной точностью определяет все параметры процесса стружкообразования при элементарном резании древесины вдоль волокон, а также для некоторых случаев продольно-торцового резания. Кроме того, математическое описание процесса позволяет количественно оценить и шероховатость поверхности резания.

Задаваясь угловыми параметрами резца, величиной подачи, углом встречи с волокнами древесины, гидротермическим состоянием древесины и ее механическими свойствами, можно определить максимальные значения силы резания, тип стружкообразования, параметры элементов и качество поверхности резания.

В данной работе рассмотрено продольно-торцовое резание с постоянным углом встречи, который характерен для дисковых рубительных машин.

Чтобы упростить методику расчета, примем радиус затупления постоянным ($\rho \leq 5$ мкм), так как при большой подаче на резец он не оказывает существенного влияния на изменение типа стружки. Условимся, что при этом стружколоматель не участвует в процессе стружкообразования, а силы, действующие по задней грани, постоянны. В этом случае возможно образование двух типов стружки: I тип [6] или многоугольная [2], когда вертикальная составляющая, действующая по передней грани резца, направлена вверх; III тип [6] или выпучивания [2], когда вертикальная составляющая направлена вниз.

Вопросы теории стружкообразования при продольно-торцовом резании древесины изложены в работах С. А. Воскресенского [2], Н. П. Рушнова [5], Ю. А. Калашникова [3] и др. Однако в них рассмотрены не все возможные случаи действия сил по передней грани резца, кроме того, предлагаемые зависимости содержат коэффициенты, которые справедливы лишь для конкретного случая и определяются экспериментально. Так, в работах [3, 5] при расчете максимальной силы резания, действующей по передней грани резца P_g , введен коэффициент добавочного сопротивления сдвига f_c , имеющий различное значение при изменении углов резания δ , встречи с волокнами φ и гидротермического состояния древесины.

Нами рассмотрены возможные случаи продольно-торцового резания древесины. При этом приняты следующие обозначения.

R_c — максимальная вертикальная составляющая, действующая по передней грани резца, Н/м;

N_g — максимальная нормальная сила, действующая по передней грани резца, Н/м;

T_g — максимальная сила трения, действующая по передней грани резца, Н/м;

S_{g_1} — максимальная результирующая сила, действующая по передней грани резца, Н/м;

- σ_{\neq} — напряжения растяжения поперек волокон, Па;
- $\sigma_{в.р.\neq}$ — предел прочности на растяжение поперек волокон, Па ($\sigma_{в.р.\neq} = 2 \cdot 10^6$ Па в тангентальном направлении при влажности $w \geq 30\%$);
- τ_{\parallel} — напряжение сдвига вдоль волокон, Па;
- $\tau_{в.с.\parallel}$ — предел прочности на сдвиг вдоль волокон, Па ($\tau_{в.с.\parallel} = 7 \cdot 10^6$ Па в радиальной плоскости при $w \geq 30\%$);
- E_{\parallel} — модуль упругости древесины на изгиб в плоскости волокон, Па ($E_{\parallel} = 11 \cdot 10^9$ Па при $w \geq 30\%$);
- E_{\neq} — модуль упругости древесины на растяжение поперек волокон, Па ($E_{\neq} = 6,5 \cdot 10^7$ Па в тангентальном направлении при $w \geq 30\%$);
- $E_{сж.\parallel}$ — модуль упругости древесины на сжатие вдоль волокон, Па ($E_{сж.\parallel} = 10,2 \cdot 10^9$ Па при $w \geq 30\%$);
- G_{ra} — модуль упругости древесины на сдвиг вдоль волокон, Па ($G_{ra} = 26 \cdot 10^7$ Па в радиальном направлении при $w \geq 30\%$);
- $\sigma_{в.см <}$ — предел прочности древесины на смятие под углом к волокнам, Па;
- $\sigma_{в.сж.\parallel}$ — предел прочности древесины на сжатие вдоль волокон, Па ($\sigma_{в.сж.\parallel} = 2,84 \cdot 10^7$ Па при $w \geq 30\%$);
- $\sigma_{в.сж.\neq}$ — предел прочности на сжатие поперек волокон, Па ($\sigma_{в.сж.\neq} = 2 \cdot 10^6$ Па в тангентальном направлении при $w \geq 30\%$);
- K_1 — коэффициент пропорциональности при растяжении поперек волокон, $K_1 = 1,6$;
- K_2 — коэффициент пропорциональности при сдвиге вдоль волокон, $K_2 = 2,0$;
- f_g — коэффициент трения стружки по передней грани резца ($f_g = 0,15$ при $w \approx 100\%$);
- h — толщина стружки, мм;
- l — длина стружки, мм;
- β — угол заточки, град;
- ψ — угол между силами P_{g_1} и S_{g_1} , град.

Первый случай. Вертикальная составляющая по передней грани резца R_c направлена вверх, т. е. происходит затягивание резца (рис. 1).

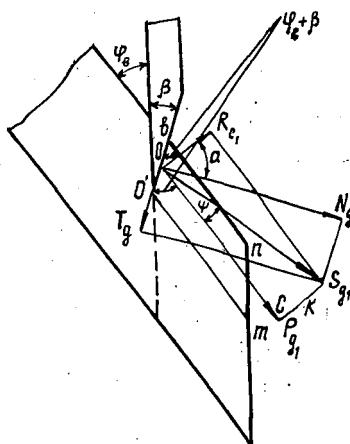


Рис. 1

Стружка отделяется по плоскости $O'm$ за счет напряжений растяжения поперек волокон σ_{\parallel} , вызываемых силой R_{c_1} , и напряжений сдвига вдоль волокон τ_{\parallel} от силы P_{g_1} . Срез стружки $O'b$, соприкасающийся с передней гранью резца, подвергается деформации сжатия под углом к волокнам от максимальной силы S_{g_1} . Это приводит к отгибу волокон вверх с частичным расслоением при резании влажной древесины или излому в процессе обработки сухой и мерзлой древесины.

В момент, когда сила S_{g_1} , действующая по срезу стружки, достигнет значения, при котором возникают разрушающие напряжения в плоскости $O'm$, произойдет отделение элемента стружки.

Для выражения максимальных сил, действующих по передней грани резца в момент отделения стружки, воспользуемся зависимостями, которые предложены С. А. Воскресенским [2] и С. И. Кузьминым [4], применив в качестве модели резания балку на упругом основании:

$$R_{c_1} = 0,378 \sigma_{\parallel} h \sqrt[4]{\frac{E_{\parallel} K_1}{E_{\parallel}}}; \quad (1)$$

$$P_{g_1} = \tau_{\parallel} h \sqrt{\frac{K_2 E_{сж \parallel}}{G_{ra}}} \operatorname{th} \alpha l, \quad (2)$$

где $\alpha = (1/h) \sqrt{G_{ra}/K_2 E_{сж \parallel}}$.

Согласно теории прочности анизотропного тела для плоской задачи, в момент отделения стружки, напряженное состояние выражается уравнением [7]

$$\left(\frac{\tau_{\parallel}}{\tau_{в. с \parallel}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\parallel}}{\sigma_{в. р \parallel}}\right)^2 = 1. \quad (3)$$

Запишем следующие зависимости между силами, действующими по передней грани резца [2]:

$$R_{c_1}/P_{g_1} = \operatorname{tg} \psi; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1 - f_g \operatorname{tg} \delta}{f_g + \operatorname{tg} \delta}. \quad (5)$$

На срез стружки $O'b$ действует сила S_{g_1} , которую можно выразить через напряжения сжатия под углом к волокнам:

$$S_{g_1} = O'b \sigma_{в. см <} = \frac{h}{\sin(\varphi_b + \beta)} \sigma_{в. см <}. \quad (6)$$

Предел прочности древесины при сжатии под углом к волокнам определим по формуле М. В. Боярского [1]

$$\sigma_{в. см <} = \frac{\sigma_{в. сж \parallel}}{1 + \left(\frac{\sigma_{в. сж \parallel}}{\sigma_{в. сж \perp}} - 1\right) \left(\sin^2 \psi - \frac{\sin^2 2\psi}{8}\right)}. \quad (7)$$

Из треугольника OSK определим зависимость между силами S_{g_1} и P_{g_1}

$$S_{g_1} = P_{g_1} / \cos \psi. \quad (8)$$

Используя уравнения (6) и (8), получаем

$$P_{g_1} = \frac{h \cos \psi}{\sin(\varphi_b + \beta)} \sigma_{в. см <}. \quad (9)$$

Имеется шесть уравнений (1) — (3), (6), (7), (9), и шесть неизвестных (R_{c_1} ; P_{g_1} ; h ; σ_{\parallel} ; τ_{\parallel} ; $\sigma_{в. см <}$). Решив систему уравнений, можно без проведения экспериментов теоретически определить все параметры продольно-торцового резания древесины.

Зависимость (7) дает некоторую погрешность, если угол резания значительно отличается от критического, когда $R_{c_1} = 0$ и $\operatorname{tg} \delta_{\text{кр}} = 1/f_g$, т. к. имеет место отгиб верхних волокон стружки на срезе $O'b$ при резании влажной древесины или излом их при резании сухой или мерзлой древесины.

Для решения приведенных уравнений относительно величины h , упростим формулу (2). Разложим гиперболический тангенс в ряд $\operatorname{th} \alpha l = \alpha l - \frac{(\alpha l)^3}{2} + \frac{2(\alpha l)^5}{15} - \dots$ при $|\alpha l| < \frac{\pi}{2}$ и представим αl в виде

$$|\alpha l| = \frac{l}{h} \sqrt{\frac{G_{ra}}{K_2 E_{\text{сж II}}}}$$

По данным Ю. А. Калашникова [3] и Н. Хартлера [7], для острого реза отношение $l/h \approx 6$, а по данным С. И. Кузьмина [4] при $l/h \geq 6$ коэффициенты K_1 и K_2 соответственно равны 1,6 и 2,0.

Тогда $|\alpha l| = 6 \sqrt{\frac{26 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^2 \cdot 10^9}} = 0,676 < \frac{\pi}{2}$.

Примем $\operatorname{th} \alpha l$ равным двум первым членам ряда. Допускаемая погрешность составит 2,1 %, а уравнение (2) запишем как

$$P_{g_1} = \tau_{\parallel} \left(l - \frac{l^3}{3h^2} \frac{G}{K_2 E_{\text{сж II}}} \right).$$

Используя уравнения (1) и (9), имеем

$$0,378 \sigma_{\perp} h \sqrt[4]{\frac{E_{\parallel} K_1}{E_{\perp}}} = \frac{h \sin \psi}{\sin(\varphi_{\text{в}} + \beta)} \sigma_{\text{в. см}} <$$

Отсюда

$$\sigma_{\perp} = \frac{\sin \psi \sigma_{\text{в. см}} <}{0,378 \sqrt[4]{\frac{E_{\parallel} K_1}{E_{\perp}}} \sin(\varphi_{\text{в}} + \beta)} = A.$$

Напряжение сдвига вдоль волокон определим из уравнения (3):

$$\tau_{\parallel} = \frac{\sqrt{\tau_{\text{в. с II}}^2 \sigma_{\text{в. р } \perp}^2 - A^2 \tau_{\text{в. с II}}^2}}{\sigma_{\text{в. р } \perp}} = B.$$

С учетом (1), (2) и (4) запишем

$$B \left(lh^2 - l^3 \frac{G}{3K_2 E_{\text{сж II}}} \right) \operatorname{tg} \psi = 0,378 Ah^3 \sqrt[4]{\frac{E_{\parallel} K_1}{E_{\perp}}}.$$

Обозначив

$$\frac{G}{3K_2 E_{\text{сж II}}} = C \text{ и } \sqrt[4]{\frac{E_{\parallel} K_1}{E_{\perp}}} = D,$$

получим

$$B(lh^2 - l^3 C) \operatorname{tg} \psi = 0,378 Ah^3 D$$

или

$$0,378 ADh^3 - Bl \operatorname{tg} \psi h^2 + l^3 CB \operatorname{tg} \psi = 0. \quad (10)$$

Решив уравнение третьей степени, определим h и остальные параметры процесса стружкообразования для первого случая продольно-торцового резания древесины.

Второй случай. Вертикальная составляющая R_{c_1} , действующая по передней грани резца, равна нулю. В этом случае $S_{g_1} = P_{g_1}$, т. е. угол резания равен критическому углу (рис. 2).

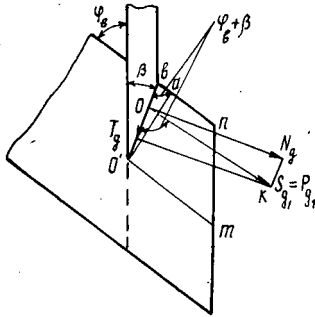


Рис. 2.

На срез $O'b$ действует сила P_{g_1} . На срезе $O'b$ волокна отгибаться не будут, так как $S_{g_1} = P_{g_1}$ и действует параллельно волокнам древесины.

Получаемая стружка является переходной от I к III типу.

Запишем зависимости (1), (2), (6), (10) для данного случая резания:

$$R_{c_1} = 0;$$

$$P_{g_1} = \tau_{в.сн} h \sqrt{\frac{K_2 E_{сж\parallel}}{G_{ra}}} \operatorname{tg} \alpha l;$$

$$S_{g_1} = P_{g_1} = O'b \sigma_{в.см} < = \frac{h}{\sin(\varphi_{в} + \beta)} \sigma_{в.см} < .$$

Так как для этого случая $\sigma_{в.см} < = \sigma_{в.сж\parallel}$, то

$$P_{g_1} = \frac{h}{\sin(\varphi_{в} + \beta)} \sigma_{в.сж\parallel};$$

$$\operatorname{th} \alpha l = \alpha l - \frac{(\alpha l)^3}{3};$$

$$P_{g_1} = \tau_{в.сн} \left(l - \frac{l^3}{3h^2} \frac{G_{ra}}{K_2 E_{сж\parallel}} \right)$$

или

$$\frac{\tau_{в.сн}}{h^2} \left(lh^2 - l^3 \frac{G_{ra}}{3K_2 E_{сж\parallel}} \right) = \frac{h}{\sin(\varphi_{в} + \beta)} \sigma_{в.сж\parallel};$$

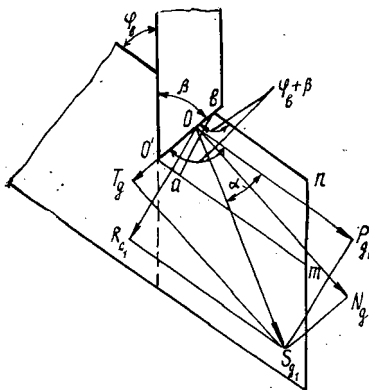
$$h^3 \sigma_{в.сж\parallel} - h^2 \tau_{в.сн} l \sin(\varphi_{в} + \beta) + \tau_{в.сн} l^3 \frac{G_{ra}}{3K_2 E_{сж\parallel}} \sin(\varphi_{в} + \beta) = 0.$$

Третий случай. Вертикальная составляющая R_{c_1} , действующая по передней грани резца, направлена вниз (рис. 3), т. е. происходит отжим резца. Под действием силы R_{c_1} стружка прижимается к неотрезанной части древесины (основанию балки), а сила P_{g_1} вызывает напряжения сдвига вдоль волокон.

В предполагаемой плоскости отделения стружки $O'm$ имеет место плоское напряженное состояние, в ней возникают напряжения сжатия поперек волокон и сдвига вдоль волокон. Срез стружки $O'b$ испытывает сжатие под углом к волокнам с одновременным отгибом волокон вниз

к основанию балки. Для данного случая резания характерна большая деформация сжатия среза стружки передней гранью резца, при этом угол встречи $\varphi_v > 50^\circ$. Получаемая стружка относится к типу прерывистой.

Рис. 3.



Зависимость между напряжениями сжатия поперек волокон и сдвига вдоль волокон в момент отделения стружки по плоскости $O'm$ не определена, также неизвестны коэффициенты пропорциональности для данного плоского напряженного состояния, поэтому третий случай продольно-торцового резания на данный период может быть рассчитан только с использованием опытных коэффициентов.

Для этого случая зависимости (7) — (9) можно записать следующим образом:

$$R_{c1}/P_{g1} = \operatorname{tg} \psi; \quad S_{g1} = P_{g1}/\cos \psi;$$

$$P_{g1} = \frac{h \cos \psi}{\cos(\varphi_v + \beta)} \sigma_{\text{в. см}} <;$$

$$\sigma_{\text{в. см}} < = \frac{\sigma_{\text{в. сж II}}}{1 + \left(\frac{\sigma_{\text{в. сж II}}}{\sigma_{\text{в. сж I}}} - 1 \right) \left(\sin^2 \psi - \frac{\sin^2 2\psi}{8} \right)}.$$

Имеется три неизвестных (R_{c1} , P_{g1} , h) и два уравнения, т. е. система не решается.

Рассмотрим пример.

Исходные данные: порода — ель, $\omega = 60\%$, температура $t = +18^\circ\text{C}$, $\varphi_v = 41^\circ$, $\beta = 35^\circ$, скорость резания $v = 0,5$ м/с, $l = 22,9$ мм, $f_g = 0,205$.

Определим направление вертикальной составляющей R_{c1} , действующей по передней грани резца, для чего найдем значение критического угла $\delta_{\text{кр}}$:

$$\operatorname{tg} \sigma_{\text{кр}} = 1/f_d = 1/0,205 = 4,878;$$

$$\delta_{\text{кр}} = 78^\circ 25'.$$

Для нашего случая $\delta = \varphi_v + \beta = 41 + 35 = 76^\circ < 78^\circ 25'$, следовательно, R_{c1} направлена вверх, т. е. имеет место первый случай продольно-торцового резания древесины.

Толщину стружки определим по уравнению (10), вычислив предварительно входящие в него коэффициенты.

Расчетная толщина стружки равна 4,5 мм, экспериментальная — 4,2 мм (по данным автора) и 4,0 мм (по данным Ю. А. Калашникова [4]). Силы $P_{g_1} = 125,6 \cdot 10^3$ Н/м и $R_{c_1} = 5,7 \cdot 10^3$ Н/м, отклонения от данных эксперимента составляют около 6 %.

Таким образом, предложенный метод расчета позволяет определить параметры получаемой стружки в зависимости от угла резания, влажности древесины и ее механических свойств, а также максимальные силы, возникающие в процессе резания. При дальнейшем совершенствовании теории стружкообразования продольно-торцового резания древесины необходимо учесть влияние радиуса затупления реза, переменного угла встречи с волокнами, скорости резания (инерционные силы), а также сил, действующих по задней грани реза.

Выводы

1. Полученные зависимости позволяют с достаточной точностью рассчитать параметры стружки и максимальные силы по передней грани реза для первого и второго случаев попутного продольно-торцового резания древесины с большими подачами на резец.

2. Предложенный метод расчета позволяет теоретически (без эмпирических коэффициентов) определить параметры процесса, что значительно расширяет возможности метода и позволяет управлять процессом данного вида резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Боярский М. В. К математическому описанию влияния наклона волокон на прочность древесины // Сб. по обмену произв. и науч. опытом.— Йошкар-Ола: Марийское областное НТО лесн. пром-сти, 1974.— Вып. 7.— 6 с. [2]. Воскресенский С. А. Резание древесины.— М.: Гослесбумиздат, 1955.— С. 40—50; 113—143. [3]. Калашников Ю. А. Исследование процесса затягивания древесины режущими ножами в дисковых рубильных машинах: Дис. ... канд. техн. наук.— М., 1971.— 158 с. [4]. Кузьмин С. И. Теория стружкообразования при прямолинейном резании древесины вдоль волокон: Дис. ... канд. техн. наук.— Харьков, 1952.— 205 с. [5]. Рушнов Н. П. Исследование процесса элементообразования при резании древесины в рубильных машинах // Тр. ЦНИИМЭ.— 1969.— Вып. 98.— С. 70—85. [6]. Franz H. C. An Analysis of the Wood-Cutting Process: Ph. D. Thesis, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1958. [7]. Haritler N., Stade J. Chipper operation for improved chip quality // Svensk Pappersfiding.— 1977.— V. 80, N 14.— P. 447—457.

Поступила 26 ноября 1991 г.

УДК 674.815-41

АКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОКОРОБЛЕННОСТИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

С. М. ПЛОТНИКОВ

Сибирский технологический институт

Распространенным и трудноустраняемым дефектом древесностружечных плит является покоробленность, которая может быть обусловлена внешними и внутренними причинами. К внешним относят изменение влажности окружающей среды, механические деформации плиты в процессе ее эксплуатации, складирования на неровной поверхности и т. д. Вызванную подобными причинами покоробленность снижают так называемыми пассивными способами: нанесением на поверхность плиты водостойких покрытий, выдержкой плиты в штабеле, деформированием плиты при одновременном температурно-влажностном воздействии [5]. Нами ранее [3] предложено регулировать начальную покоробленность