

РАСЧЕТ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ БРУСА НА ФРЕЗЕРНОПИЛЬНОМ СТАНКЕ

Глебов И.Т.

Для получения брусьев из тонкомерных бревен часто используют фрезерно-пильные станки, на которых боковая плоть бруса формируется пилой, а отпад (горбыль) измельчается фрезами в технологическую щепу. Пила и фрезы закреплены на одном шпинделе.

Целью выполненной работы было разработка метода расчета режимов резания при получении брусьев с заданной шероховатостью и технологической щепы необходимых размеров из тонкомерных бревен. Технологическая щепка, применяемая для производства древесно-стружечных плит должна иметь длину по волокнам древесины 5...40 мм и толщину 5...30 мм.

Если брус квадратного поперечного сечения имеет основание с размером b_0 , см, то высота пропила t (рисунок 1) равна [1], мм

$$t = 10 \sqrt{(d + 0,5L_b C_b)^2 - b_0^2},$$

где d – диаметр бревна в вершинной части, см;

L_b – длина бревна, м;

C_b – сбеги бревна; для тонкомерных бревен диаметром до 26 см $C_b = 1,0$ см/м.

При выпиливании из бревна бруса по краям образуются горбыли сечением формы сегмента ABC (рисунок 2). Высота сегмента изменяется от $t = AB$ до нуля в точке C . Для упрощения расчетов заменим сегмент равновеликим по площади прямоугольником (на рисунке 2 заштрихован). Для этого найдем площадь сегмента S_c :

$$S_c = 0,5R^2(2\alpha - \sin 2\alpha),$$

где R – радиус поперечного сечения на середине длины бревна, мм;

$$R = 5(d + 0,5L_b C_b).$$

Угол α равен, рад.:

$$\alpha = \arcsin \frac{t}{2R} = \arcsin \frac{t}{10(d + 0,5L_b C_b)}.$$

Ширина сегмента PC , равная ширине фрезерования b_ϕ , равна мм:

$$b_\phi = 5(d + 0,5L_b C_b - b_0).$$

Высоту фрезерования найдем через площадь сегмента $S_c = b_\phi t_\phi$:

$$t_\phi = \frac{S_c}{b_\phi}.$$

Для расчета режимов пиления необходимо знать угол контакта пилы с заготовкой, длину дуги контакта, среднее значение толщины срезаемого слоя и угол встречи, т.е. острый угол между вектором скорости главного движения и направлением волокон древесины. Эти параметры процесса пиления находятся следующим образом (рис. 1).

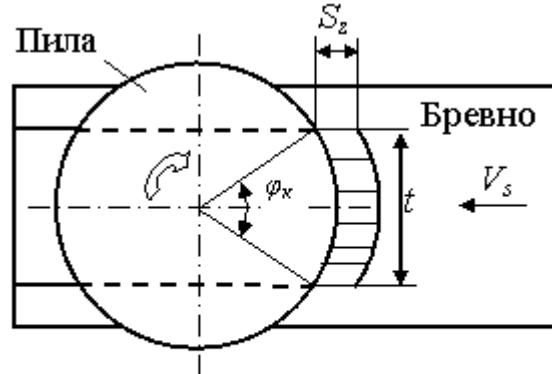


Рис. 1. Размеры срезаемого слоя при пилении

Угол контакта, рад

$$\varphi_k = 2 \arcsin \frac{t}{D},$$

где t – высота пропила, толщина бруса, мм;

D – диаметр пилы, мм.

Длина дуги контакта, мм

$$l = 0,5D\varphi_k.$$

Боковая площадь срезаемого слоя

$$S = a_{cp}l = S_z t,$$

где a_{cp} – средняя толщина срезаемого слоя, мм;

S_z – подача на один зуб, мм.

Отсюда находим среднее значение толщины срезаемого слоя

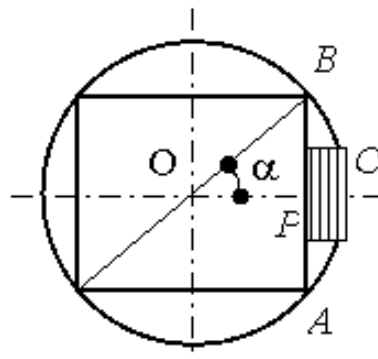


Рис. 2. Схема к расчету ширины и высоты фрезерования

$$\alpha_{\varphi} = \frac{S_z t}{D \arcsin(t/D)}.$$

Обычно $\alpha_{\varphi} = S_z \sin \theta$. При продольном пилении древесины кинематический угол встречи θ равен углу встречи зуба пилы с волокнами древесины φ_e . Тогда угол встречи

$$\varphi_e = \arcsin\left(\frac{t}{D \arcsin(t/D)}\right).$$

Для пояснения метода расчета режимов обработки бруса на фрезерно-пильном станке воспользуемся примером.

Пример. На фрезерно-пильном станке из сосновых бревен длиной $L = 6,5$ м, диаметром $d = 18$ см и влажностью $W = 50\%$ выпиливаются брусья сечением $12,5 \times 12,5$ см. Пила: $D = 250$ мм, число зубьев $Z = 36$ шт., толщина $S = 3$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 0,7$ мм. Фреза коническая: $D_{\varphi} = 200$ мм, угол наклона режущей кромки $\varphi_n = 30^\circ$, количество зубьев $z = 1$, длина режущей кромки $b_{\varphi} = 15$ мм, частота вращения $n = 2900$ мин⁻¹, длина получаемой щепы $l_{щ} = 15$ мм.

Определить шероховатость пласти бруса, мощность механизма главного движения и скорость подачи.

Решение

1. Находим окружной шаг зубьев пилы

$$t_z = \pi D / Z = 3,14 \cdot 250 / 36 = 21,8 \text{ мм.}$$

2. Высота пропила при формировании пласти бруса

$$t = 10 \sqrt{(d + 0,5 L_s C_s)^2 - b_s^2} = 10 \sqrt{(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1)^2 - 12,5^2} = 171,8 \text{ мм.}$$

3. Угол контакта пилы с бревном

$$\varphi_x = 2 \arcsin \frac{t}{D} = 2 \arcsin \frac{171,8}{250} = 1,516 \text{ рад.}$$

4. Угол встречи зубьев пилы с волокнами древесины

$$\varphi_e = \arcsin\left(\frac{t}{D \arcsin(t/D)}\right) = \arcsin\left(\frac{171,8}{250 \arcsin(171,8/250)}\right) = 65^\circ.$$

5. Длина дуги контакта пилы с заготовкой

$$l = 0,5 D \varphi_x = 0,5 \cdot 250 \cdot 1,516 = 189,5 \text{ мм.}$$

6. Ширина пропила

$$b = S + 2S' = 3 + 2 \cdot 0,7 = 4,4 \text{ мм.}$$

7. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 250 \cdot 2900 / 60000 = 38,0 \text{ м/с.}$$

8. Фиктивная сила резания для древесины сосны

$$p = 3,924 + 0,0353 j_s = 3,924 + 0,0353 \cdot 65 = 6,22 \text{ Н/мм.}$$

9. Удельное сопротивление резанию при пилении

$$k = (0,196 + 0,00392j_6)d + (0,0686 + 0,00147j_6)V' - (5,39 + 0,147j_6),$$

где d – угол резания зуба, град;

V' – условная скорость резания, м/с,

причем если $V < 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$, где V – скорость главного движения.

$$k = (0,196 + 0,00392 \cdot 65)55 + (0,0686 + 0,00147 \cdot 65)(90 - 38) - (5,39 + 0,147 \cdot 65) = 18,4 \text{ МПа.}$$

10. Величина затупления режущей кромки зуба

$$Dr = g_D \ln TK_n K_u / 1000 = 0,0001 \times 189,5 \times 2900 \times 480 \times 0,9 \times 0,9 / 1000 = 21,4 \text{ мкм.}$$

11. Коэффициент затупления зуба пилы при $r_o = 10$ мкм

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_p}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{18,4}{6,22}) \frac{21,4}{10 + 50} = 1,46.$$

12. При подаче на зуб фрезы $S_{zf} = l_{uz} = 15$ мм найдем скорость подачи бревна

$$V_s = S_{zf} z n / 1000 = 15 \cdot 1 \cdot 2900 / 1000 = 43,5 \text{ м/мин.}$$

13. Подача на зуб пилы

$$S_x = 1000 V_s / (Z n) = 1000 \cdot 43,5 / (36 \cdot 2900) = 0,42 \text{ мм.}$$

По значению подачи на зуб и $\varphi_6 = 65^\circ$ по таблице [2] находится шероховатость поверхности $R_{m\max} = 320$ мкм.

14. Толщина срезаемого слоя

$$\alpha_{\varphi} = S_x \sin \varphi_6 = 0,42 \cdot \sin 65^\circ = 0,32 \text{ мм.}$$

15. Удельная сила резания при продольном пилении

$$F_{y0} = \alpha_n \alpha_w \alpha_s \left[\frac{\alpha_{\rho} p}{\alpha_c} + k + \frac{\alpha f}{b} \right] = 1 \cdot 0,89 \cdot \left[\frac{1,46 \cdot 6,22}{0,32} + 18,4 + \frac{0,7 \cdot 171,8}{4,4} \right] = 65,87 \text{ МПа.}$$

Мощность пиления

$$P = F_{y0} b t V_s / 60000 = 65,87 \cdot 4,4 \cdot 171,8 \cdot 43,5 / 60000 = 33,63 \text{ кВт}$$

16. Находим размеры фрезеруемого сегмента.

16.1. Радиус поперечного сечения на середине длины бревна

$$R = 5(d + 0,5 L_{\varphi} C_{\varphi}) = 5(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1) = 106,2 \text{ мм.}$$

16.2. Угол α :

$$\alpha = \arcsin \frac{t}{2R} = \arcsin \frac{171,8}{2 \cdot 106,2} = 0,94 \text{ рад.}$$

16.3. Площадь сегмента

$$S_c = 0,5 R^2 (2\alpha - \sin 2\alpha) = 0,5 \cdot 106,2^2 (2 \cdot 0,94 - \sin 2 \cdot 0,94) = 5263,2 \text{ мм}^2.$$

16.4. Ширина сегмента, равная средней ширине фрезерования

$$b_{\phi} = 5(d + 0,5L_{\phi}C_{\phi} - b_{\phi}) = 5(18 + 0,5 \cdot 6,5 \cdot 1 - 12,5) = 43,7 \text{ мм}$$

16.5. Средняя высота срезаемого слоя

$$t_{\phi} = \frac{S_c}{b_{\phi}} = \frac{5263,2}{43,7} = 120,3 \text{ мм.}$$

17. Скорость главного движения при фрезеровании

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 200 \cdot 2900 / 60000 = 30,4 \text{ м/с.}$$

18. Угол встречи зубьев фрезы с волокнами древесины

$$\varphi_{\phi} = \arcsin\left(\frac{t_{\phi}}{D_{\phi} \arcsin(t_{\phi} / D_{\phi})}\right) = \arcsin\left(\frac{120,3}{200 \arcsin(120,3 / 200)}\right) = 68,75^{\circ}.$$

19. Угол контакта зуба фрезы с древесиной

$$\varphi_{\kappa} = 2 \arcsin \frac{t_{\phi}}{D_{\phi}} = 2 \arcsin \frac{120,3}{200} = 1,29 \text{ рад.}$$

20. Длина дуги контакта фрезы с заготовкой

$$l = 0,5 D_{\phi} \varphi_{\kappa} = 0,5 \cdot 200 \cdot 1,29 = 129,1 \text{ мм.}$$

21. Режущая кромка конической фрезы выполняет продольно-поперечно-торцовое резание с углами $\varphi_n = 60^{\circ}$ (острый угол между режущей кромкой и волокнами древесины), $\varphi_{\phi} = 68,75^{\circ}$.

21.1. Фиктивная сила резания [2]

$$p_{//, \wedge, \#} = 0,98 + (0,017 - 0,0004 \varphi_{\kappa}) \varphi_{\kappa} = 0,98 + (0,017 - 0,0004 \cdot 68,75) 60 = 3 \text{ Н/мм}$$

21.2. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба фрезы при продольно-поперечно-торцовом резании

$$\begin{aligned} k_{//, \wedge, \#} &= 0,029 \delta + 0,069 V^{1-0,59} + 0,011 \varphi_{\kappa} [(0,167 + 0,0039 \varphi_{\phi}) \delta + \\ &+ 0,0014 \varphi_{\phi} V^{1-(4,81 + 0,158 \varphi_{\phi})}] = \\ &= 0,029 \cdot 70 + 0,069 (90 - 30,4)^{-0,59} + 0,011 \cdot 60 [(0,167 + 0,0039 \cdot 68,75) 70 + \\ &+ 0,0014 \cdot 68,75 (90 - 30,4) - (4,81 + 0,158 \cdot 68,75)] = 19,1 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

22. Величина затупления режущей кромки зуба

$$Dr = g_D \ln TK_n K_u / 1000 = 0,0001 \times 129,1 \times 2900 \times 480 \times 0,9 \times 0,9 / 1000 = 14,6$$

мкм.

23. Коэффициент затупления зуба пилы при $r_o = 6$ мкм

$$\alpha_p = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_p}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{19,1}{3}) \frac{14,6}{6 + 50} = 1,43.$$

24. Толщина срезаемого слоя при фрезеровании

$$\alpha_c = S_x \sin \varphi_{\phi} \sin \varphi_{\kappa} = 15 \cdot \sin 68,75^{\circ} \sin 60^{\circ} = 12,1 \text{ мм.}$$

25. Удельная сила резания при фрезеровании

$$F_{\text{уб}} = a_x a_w \left[\frac{\alpha_{\text{р}} P}{a_{\text{т}}} + k \right] = 1 \cdot 0,89 \left[\frac{1,43 \cdot 3}{12,1} + 19,1 \right] = 17,3 \text{ МПа.}$$

26. Мощность фрезерования при длине режущей кромки зуба $b_{\text{зф}} = 15$ мм

$$P = F_{\text{уб}} b_{\text{зф}} t_{\text{ф}} V_{\text{ф}} / 60000 = 17,3 \cdot 15 \cdot 120,3 \cdot 43,5 / 60000 = 22,7 \text{ кВт.}$$

27. Общая мощность на пильно фрезерном шпинделе равна

$$P_o = P + P_{\text{ф}} = 33,63 + 22,7 = 56,33 \text{ кВт.}$$

Предложенная методика расчета может быть использована при расчете и анализе режимов резания при обработке брусьев из бревен с получением технологической щепы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления на лесопильных рамах. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. – 82 с.
 2. Глебов И.Т. Резание древесины. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2001. – 150 с.
-