

ПРОДОЛЬНОЕ ПИЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПИЛОЙ С КОСОЙ ЗАТОЧКОЙ ЗУБЬЕВ

Глебов И.Т., профессор, канд. техн. наук,

Гороховский А.К., ассистент

Уральский государственный лесотехнический университет

Ключевые слова: пила, зуб пилы, подача на зуб, древесина, продольно-торцово-поперечное резание

Для продольного пиления древесины используют пилы с различными зубьями: плющеными, разведенными, оснащенными пластинками твердого сплава, с косой заточкой и т.д. Одной из задач процесса пиления является снижение энергопотребления. Для решения такой задачи зубья пилы выполняют с косой заточкой: поочередно с правой и левой заточкой.

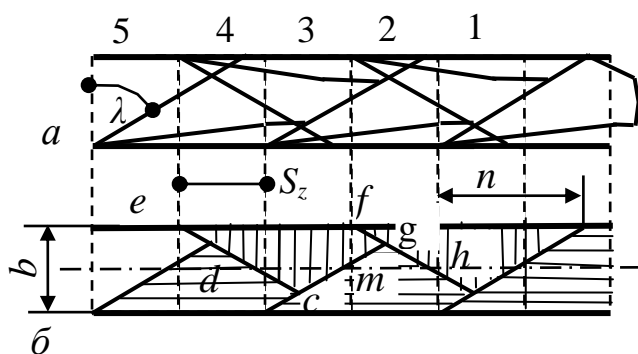


Рис.1. Поперечные сечения срезаемых слоев: a – зубчатая кромка пилы; b – сечения срезаемых слоев

На рис. 1, a показан профиль зубьев кромки пилы в пропиле, на рис. 1, b – сечения срезаемых слоев зубьями при одинаковой подаче на зуб S_z . Срезаемые слои разрезаны плоскостью параллельной вектору скорости подачи и перпендикулярной стенкам пропила. Ширина пропила равна b .

Площади поперечных сечений срезаемых слоев зубьями 3, 4, 5 и т.д. одинаковы. Найдем площадь S поперечного сечения срезаемого слоя для зуба 4. Проведя ось симметрии пропила, получим $\Delta dcm = \Delta mgh$. Сложное по форме сечение срезаемого слоя заменим параллелограммом $dhfe$. Площадь его $S = 2S_z b / 2$.

Средняя длина рабочей части режущей кромки равна $l_p = \frac{b}{2 \cos \lambda}$.

Тогда средняя толщина срезаемого слоя при пилении круглой пилой

$$a_{cp} = \frac{S}{l_p} \sin \mu = 2S_z \cos \lambda \sin \mu, \quad (1)$$

где μ – угол подачи.

Эта формула получена для случая, когда величина $n > S_z$, $n = btg\lambda$ (см. рис. 1). Если $n \leq S_z$, то

$$a_{cp} = S_z \cos \lambda \sin \mu. \quad (2)$$

Пример. Ширина пропила $b = 3,6$ мм, подача на зуб $S_z = 0,5$ мм, угол наклона режущей кромки $\lambda = 5^\circ$ и 10° . *Определить* величину n и формулу для определения толщины срезаемого слоя.

Решение. $n = btg\lambda = 3,6 \cdot tg5^\circ = 0,315$ мм. При $\lambda = 10^\circ$ $n = 0,635$ мм.

Толщину срезаемого слоя следует находить в первом случае по формуле (2), а во втором – по (1).

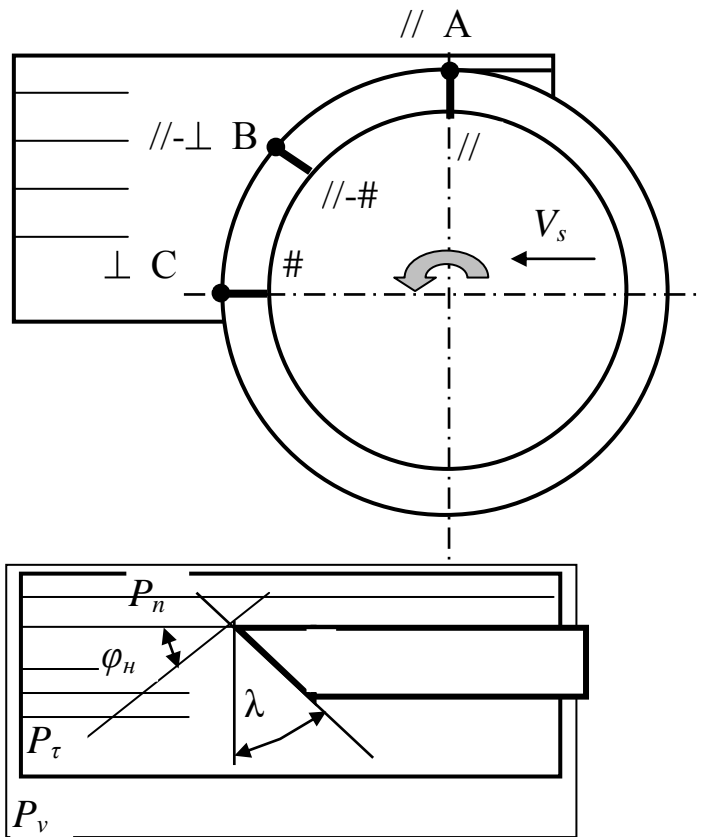


Рис.2. Схема продольного пиления круглой пилой

На рис. 2 приведена схема пиления круглой пилой со скошенными зубьями.

Если угол наклона режущей кромки $\lambda = 0^\circ$, то режущая кромка расположена перпендикулярно стенкам пропила (показана точкой). Угол встречи φ_n при пилении изменяется от нуля в точке А до 90° в точке С ($90^\circ \geq \varphi_n \geq 0$).

Процесс резания изменяется от продольного // до торцового \perp . В произвольной точке В дуги контакта имеет место продольно-торцовое резание.

Если угол наклона режущей кромки $\lambda = 90^\circ$, то режущая кромка

расположена параллельно стенкам пропила (показана прямой линией). Угол скоса φ_c при пилении изменяется от нуля в точке А до 90° в точке С ($90^\circ \geq \varphi_c \geq 0$). Процесс резания изменяется от продольного // до

поперечного $\#$. В произвольной точке B дуги контакта имеет место продольно-поперечное резание, а угол скоса равен углу встречи, $\varphi_c = \varphi_\delta$.

Если угол наклона режущей кромки $90^\circ > \lambda > 0$, то в произвольной точке B дуги контакта резание переходит от продольно-торцового к продольно-поперечному и получается продольно-торцово-поперечное резание, которое характеризуется углом наклона φ_n . Угол наклона измеряется в основной плоскости P_v между направлением волокон, направленных в массив, и главной секущей плоскостью P_τ . Из рис. 2 следует, $\varphi_n = \lambda$.

Для определения сил и мощности резания необходимо знать значения фиктивной силы резания и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба пилы. Для продольно-торцово-поперечного резания можно записать:

– фиктивная сила резания

$$p_{//-\perp-\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{//-\#}) \frac{\varphi_n}{90}; \quad (3)$$

– касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба

$$k_{//-\perp-\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{//-\#}) \frac{\varphi_n}{90}, \quad (4)$$

где $p_{//-\perp} = 1,57 + 0,0359 \varphi_\delta$ [1];

$p_{//-\#} = 1,57 - 0,0065 \varphi_c$;

$k_{//-\perp} = (0,196 + 0,0039 \varphi_\delta) \delta + (0,069 + 0,0014 \varphi_\delta) V' - (5,4 + 0,158 \varphi_\delta)$;

$k_{//-\#} = (0,196 - 0,00184 \varphi_c) \delta + [0,069 - (0,069 - B) 0,011 \varphi_c] V' - (5,4 - 0,053 \varphi_c)$;

$B_\# = 0,059 \dots 0,069$, меньшее значение $B_\#$ при $\delta < 55^\circ$, большее – при $\delta > 55^\circ$;

δ – угол резания, 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.

Если $\varphi_n = 90^\circ$, то из (3) и (4) получаем данные для продольно-поперечного резания. Если $\varphi_n = 0^\circ$, то из (3) и (4) получаем данные для продольно-торцового резания. Все это соответствует рис. 2.

Порядок расчета поясним на примере.

Пример. На однопильном круглопильном станке распиливаются сосновые брусья на доски. Диаметр пилы $D = 650$ мм, число зубьев $z = 36$, толщина диска пилы $S = 4,4$ мм, уширение зубьев на сторону $S' = 1,2$ мм, ширина пропила $b = 6,8$ мм, зубья оснащены пластинами твердого сплава ВК15, угол резания $\delta = 70^\circ$, скорость подачи $V_s = 10$ м/мин, частота

вращения пильного вала $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$. Зубья пилы имеют косую заточку с углом наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$.

Определить мощность механизма главного движения в сравнении с пилением пилой с зубьями прямой заточки.

Решение. 1 Величина смещения режущей кромки зуба с косой заточкой

$$n = btg\lambda = 6,8 \cdot tg10^\circ = 1,2 \text{ мм.}$$

2. Окружной шаг зубьев

$$t_z = \pi D/z = 3,14 \cdot 650/36 = 56,7 \text{ мм.}$$

3. Углы (результаты расчетов сведены в табл. 1):

$$\text{– входа } \varphi_{\text{вх}} = \arccos \frac{h+t}{R} = \arccos \frac{2(105+100)}{650} = 0,888 \text{ рад;}$$

$$\text{– выхода } \varphi_{\text{вых}} = \arccos \frac{h}{R} = \arccos \frac{2 \cdot 105}{650} = 1,24 \text{ рад;}$$

$$\text{– контакта } \varphi_k = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}} = 1,24 - 0,888 = 0,354 \text{ рад;}$$

$$\text{– среднее значение } \varphi_{\text{ср}} = \varphi_{\text{в}} = \mu = (\varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{вых}})/2 = (0,888 + 1,24)/2 = 1,065 \text{ рад} = 61^\circ.$$

4. Длина дуги контакта пилы с брусом

$$l = \varphi_k D / 2 = 0,354 \cdot 650 / 2 = 114,9 \text{ мм.}$$

5. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 650 \cdot 1500 / 60000 = 51,1 \text{ м/с.}$$

6. Фиктивная сила резания древесины сосны:

$$\text{– } p_{//\perp} = 1,57 + 0,0359 \varphi_{\text{в}} = 1,57 + 0,0359 \cdot 61 = 3,76 \text{ Н/мм;}$$

$$\text{– } p_{//\#} = 1,57 - 0,0065 \varphi_{\text{с}} = 1,57 - 0,0065 \cdot 61 = 1,17 \text{ Н/мм;}$$

$$\text{– } p_{//\perp\#} = p_{//\perp} - (p_{//\perp} - p_{//\#}) \frac{\varphi_{\text{н}}}{90} = 3,76 - (3,76 - 1,17) \cdot 10/90 = 3,47 \text{ Н/мм.}$$

7. Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба:

$$\text{– } k_{//\perp} = (0,196 + 0,0039 \cdot 61) 70 + (0,069 + 0,0014 \cdot 61) \cdot 51,1 - (5,4 + 0,158 \cdot 61) = 23,2 \text{ МПа;}$$

$$\text{– } k_{//\#} = 7,2 \text{ МПа;}$$

$$\text{– } k_{//\perp\#} = k_{//\perp\#} = k_{//\perp} - (k_{//\perp} - k_{//\#}) \varphi_{\text{н}}/90 = 23,2 - (23,2 - 7,2) \cdot 10/90 = 21,4 \text{ МПа.}$$

8. Величина затупления режущей кромки зуба

$$\Delta \rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000 = 0,0001 \cdot 114,9 \cdot 1500 \cdot 480 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 6,7 \text{ мкм.}$$

9. Коэффициент затупления при $\rho_o = 10 \text{ мкм}$ [2]

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{22,04}{3,57}) \frac{6,7}{10 + 50} = 1,18.$$

10. Значение подачи на зуб

$$S_z = 1000V_s / zn = 1000 \cdot 10 / (36 \cdot 1500) = 0,19 \text{ мм.}$$

Таблица 1

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Пила комбинированная	Пила с прямой заточкой
Окружной шаг зубьев	t_z	мм	$\approx 56,7$	56,7
Углы:				
входа	$\varphi_{вх}$	рад	0,888	0,888
выхода	$\varphi_{вых}$	рад	1,242	1,242
контакта	φ_k	рад	0,354	0,354
среднее	$\varphi_{ср}$	град	61	61
Длина дуги контакта пилы с брусом	l	мм	114,9	114,9
Скорость главного движения	V	м/с	51,1	51,1
Фиктивная сила резания древесины сосны:				
$p_{//-\perp}$	$p_{//-\perp}$	Н/мм	3,76	3,76
$p_{//-\#}$	$p_{//-\#}$	Н/мм	1,17	-
$p_{//-\perp-\#}$	$p_{//-\perp-\#}$	Н/мм	3,47	-
Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба				
$k_{//-\perp}$	$k_{//-\perp}$	МПа	23,22	23,22
$k_{//-\#}$	$k_{//-\#}$	МПа	7,22	-
$k_{//-\perp-\#}$	$k_{//-\perp-\#}$	МПа	21,44	-
Величина затупления	$\Delta\rho$	мкм	6,7	6,7
Коэффициент затупления	α_ρ		1,18	1,18
Значение подачи на зуб	S_z	мм	0,19	0,19
Толщина срезаемого слоя	a	мм	0,32	0,16
Удельная сила резания	$F_{уд}$	МПа	37,98	52,52
Мощность механизма главного движения	P	кВт	4,30	5,95

11. Толщина срезаемого слоя зубом пилы

$$a_{ср} = 2S_z \cos \lambda \sin \mu = 2 \cdot 0,19 \cdot \cos 10^\circ \sin 61^\circ = 0,32 \text{ мм.}$$

12. Удельная сила резания

$$F_{уд} = a_n a_w a_\rho \left(k + \frac{\alpha_\rho P}{a} + \frac{\alpha_\Delta t}{b} \right) = 1 \cdot 0,89 \cdot 1 \left(21,44 + \frac{1,18 \cdot 3,47}{0,32} + \frac{0,57 \cdot 100}{6,8} \right) = 37,98 \text{ МПа.}$$

13. Мощность механизма главного движения при работе пилой с комбинированными зубьями

$$P_k = \frac{F_{y\partial} b t V_s}{60 \cdot 1000} = \frac{50,49 \cdot 6,8 \cdot 100 \cdot 10}{60 \cdot 1000} = 4,30 \text{ кВт.}$$

При использовании пилы с прямыми зубьями мощность равна $P_n = 5,95$ кВт. При формировании зубьев только с косой заточкой $P_k = 4,30$ кВт. С увеличением угла наклона режущих кромок мощность на пиление можно уменьшить. Так при $\lambda = 20^\circ$ $P_k = 4,08$ кВт, при $\lambda = 30^\circ$ $P_k = 3,88$ кВт.

Таким образом, формирование у круглых пил зубьев с косой заточкой по сравнению с прямыми зубьями позволяет снизить мощность на пиление соответственно на 28%, 31% и 35%.

Литература

1. **Глебов И.Т.** Резание древесины: Учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТА, 2001.– 151 с.
2. **Глебов И.Т.** Резание древесины: Избранные лекции. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005.– 99 с.

18.04.2007 г.

Елена Александровна!

Электронный вариант статьи Глебова И.Т., Гороховского А.К.
“Продольное пиление древесины пилой с косой заточкой зубьев”
направлен Вам по электронной почте 18.04.2007 г.

И.Т. Глебов