

А. Л. Бершадский

ЕДИНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНО-ТОРЦЕВОМ РЕЗАНИИ

Продольное фрезерование и пиление объединяется в общее понятие «продольно-торцевое резание». Наша обобщенная формула для пиления имеет следующий вид:

$$P_{зуб} = (\bar{k} + \frac{ah}{b})e + \bar{p}. \quad (1)$$

Так как толщина стружки $e = U_z \sin \theta$, где U_z — подача на зуб, то понятно, что при $\angle \theta = \text{const}$ будут неизменными $\bar{k}$, e и $\bar{p}$, а $\frac{ah}{b}$ будет расти с увеличением h . $P_{зуб}$ и соответственно K будут увеличиваться.

Если же $\angle \theta$ с увеличением h уменьшается при неподъемном столе, то в формуле $\bar{k}$, $e = U_z \cdot \sin \theta$ и $\bar{p}$ уменьшаются, а $\frac{ah}{b}$ увеличивается.

В результате в зависимости от соотношения факторов мы можем получить или $K = \text{const}$, или падение K , или рост K .

Практически для расчетов станков нам надо знать не K , а силу резания P и мощность $N = Pv : 102$. В этой статье мы и приведем метод непосредственного определения P , минуя промежуточные значения K . Это упростит расчеты.

Приводимые ниже в статье обозначения, формулы, справочные материалы находятся в полном соответствии с данными нашей работы [1], а также целого ряда других исследований [2—5]. Поэтому мы, избегая повторения, направляем читателя к этим работам, так как данная статья есть развитие всего ранее изложенного.

Не приводя простейших преобразований, даю конечную формулу для P при $e > 0,1$ мм и для P_{μ} при $e_{\mu} < 0,1$ мм.

$$P_3 = (a_p - 0,8) \bar{p}_{b_{\lambda}} \frac{l}{t}, \quad (2)$$

где $b_{\lambda} = s$ — при разведенных зубьях;

$b_{\lambda} = b$ — при плоских зубьях и при открытом фрезеровании.

Фактическая сила, действующая от передней грани реза на поперечное сечение стружки:

$$P_n = [0,8 \bar{p} b_n + U_z \sin \theta_{cp} (\bar{k} b + \alpha h)] \frac{l}{t}. \quad (3)$$

Касательная сила резания:

$$P = P_3 + P_n = [a_p \bar{p} b_n + U_z \cdot \sin \theta_{cp} (\bar{k} b + \alpha h)] \frac{l}{t}. \quad (4)$$

При прямых задачах правая часть равенства (4) известна вплоть до $U_z = \frac{1000 U}{z \cdot n}$. Определяя P , находим $N = \frac{Pv}{102}$.

При обратных задачах известно $P = \frac{102 N}{v}$, тогда определяется U_z из уравнения (4) и $U = \frac{U_z \cdot z \cdot n}{1000}$.

При $e_\mu < 0,1$ мм формулы (2, 3, 4) имеют следующие значения:

$$P_3 = (a_p - 0,8) \bar{p} b_n \frac{l}{t},$$

$$P_n = [(8 \bar{p} + \bar{k}) b + \alpha h] U_z \sin \theta \frac{l}{t},$$

$$P_\mu = [(a_p - 0,8) \bar{p} b_n + [(8 \bar{p} + \bar{k}) b + \alpha h] U_z \sin \theta] \frac{l}{t}.$$

При ленточных пилах вместо $\frac{l}{t}$ надо брать $\frac{h}{t}$ и $\sin \theta = 1$.

При лесорамах вместо $\frac{l}{t}$ надо брать $\frac{h}{2t}$ и $\sin \theta = 1$.

Определив P_3 и P_n , находим радиальную силу нормальную к v .

$$R = 0,5 P_3 a^2_\varphi - P_n \operatorname{tg} (90 - \delta - \varphi), \quad (5)$$

где $\varphi = 15^\circ - 20^\circ$ — угол трения.

Затем определяем усилие подачи

$$Q = P \cos \theta + R \sin \theta \quad (6)$$

и силу $S \perp Q$

$$S = P \sin \theta - R \cos \theta. \quad (7)$$

Порядок расчетов при решении прямых и обратных задач следующий (приводим все формулы и справочные данные для аналитических решений; в работах [1—4] даны также методы расчетов по номограммам).

Определяем $\angle \theta$ по $\sin \theta$:

$$\sin \theta = \frac{57 h}{R(\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R})} \quad (8)$$

$$\text{При фрезеровании } \sin \theta = \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (9)$$

При лесорамах и ленточных пилах $\sin \theta = 1$, $\angle \theta = 90^\circ$.

Зная $\angle \theta$, v и δ , определяем $\bar{p}$ и $\bar{k}$.

Значения $\bar{p}$

Фрезерование:

сосна $\bar{p} = 0,16 + 0,0036 \theta$

береза $\bar{p} = 0,19 + 0,0040 \theta$

дуб $\bar{p} = 0,21 + 0,0046 \theta$

Пиление:

$\bar{p} = 0,4 + 0,0036 \theta$

$\bar{p} = 0,45 + 0,0040 \theta$

$\bar{p} = 0,5 + 0,0046 \theta$

(10)

Значение $\bar{k}$

Сосна $\bar{k} = (0,02 + 0,0004 \theta) \delta + (0,007 + 0,00015 \theta) v - (0,55 + 0,015 \theta)$.

Береза $\bar{k} = (0,025 + 0,0005 \theta) \delta + (0,008 + 0,00018 \theta) v - (0,7 + 0,018 \theta)$.

Дуб $\bar{k} = (0,028 + 0,0006 \theta) \delta + (0,009 + 0,0002 \theta) v - (0,76 + 0,02 \theta)$. (11)

Примечание. При $v < 50$ м/сек вместо v надо брать $90 - v$.

Далее определяется дуга контакта:

$$l = \frac{h}{\sin \theta} = \frac{R}{57} [\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R}] \quad (12)$$

$$\text{При фрезеровании } l = \sqrt{h \cdot D} \quad (13)$$

$$\text{Затем определяется } a_p = 1 + \frac{0,2 \Delta_p}{\rho_0} \quad (14)$$

где $\rho_0 = 4-5$ мкм для фрезерования и 10 мкм для пиления,
 Δ_p — прирост ρ_0 на пути контакта L_m за время резания.

$$L = \frac{l \cdot n \cdot T}{1000} \quad (15)$$

$$\Delta_p = \varepsilon L, \quad (16)$$

где ε — коэффициент прироста ρ на 1 м пути контакта.

Для стали 85 ХФ и ХВГ значения ε приведены в табл. 1.

Все приведенные значения обеспечивают решение прямых и обратных задач с помощью только данных этой статьи.

Пример 1. Фрезерование.

Дано: $D = 125$ мм, $h = 4$ мм, $b = 100$ мм, $\alpha_p = 1$, угол перерезания $\psi = \alpha = 15^\circ$, $\delta = 55^\circ$, $U_z = 1,05$ мм; $v = 40$ м/сек, сосна, $z = 1$. Определить F .

Решение:

$$1) \sin \theta = \sqrt{\frac{4}{125}} = 0,19.$$

$$2) \bar{p} = 0,16 + 0,0035 \cdot 15 = 0,21.$$

$$3) \bar{k} = (0,02 + 0,0004 \cdot 15) \cdot 55 + (0,007 + 0,00015 \cdot 15) \times 50 - (0,55 + 0,015 \cdot 15) = 1,118.$$

$$4) l = \sqrt{h \cdot D} = \sqrt{4 \cdot 125} = 22 \text{ мм.}$$

$$5) P = (0,21 \cdot 100 + 1,05 \cdot 0,19 \cdot 1,118 \cdot 100) \cdot \frac{22}{t},$$

где при $z=1$, $t = \pi D = 392$ мм.

Пример взят применительно к опытам Н. А. Кряжева, где $P=2,5$ кг.

Таблица 1

Значения ϵ

Порода	Фрезерование	Пиление ленточными и круглыми пилами	Пиление рамными пилами
Хвойные	0,0008	0,0010	0,0020
Лиственные	0,0010	0,0013	0,0026

Примечание. Для углеродистых сталей брать 2 ϵ , для 9ХС — 0,75 ϵ , для Х12Ф — 0,6 ϵ , для Р18 — 0,5 ϵ .

Для круглых пил $\alpha_\lambda = 0,072$, $\alpha_\Delta = 0,056$, для лесорам — 0,025 и 0,02 соответственно.

$$P = 1,86 \text{ кг.}$$

Пример 2. Продольное пиление круглыми пилами.

Дано: $D=500$ мм, $S=2,4$ мм, $b=3,6$ мм, $h=50$ мм, $\delta=60^\circ$, $\theta=61^\circ$, $U_z=0,5$; $a_p=1$, $\alpha_\lambda=0,072$, $t=26$ мм. Определить P .

Решение:

$$1) \sin 61 = 0,67 \text{ и } l = \frac{h}{\sin \theta} (-) = \frac{50}{0,67} = 57,2 \text{ мм.}$$

$$2) \text{ (по формуле 10) } \bar{p} = 0,62.$$

$$3) \text{ (по формуле 11) } \bar{k} = 1,94.$$

$$4) P = (0,62 \cdot 2,4 + 0,67 \cdot 0,5) (1,94 \cdot 3,6 + 3,6) \frac{57,2}{26} = 13,42 \text{ кг.}$$

Так же решаются все примеры по продольно-торцевому резанию.

Литература

[1] А. Л. Бершадский. Расчет режимов резания древесины. М., 1967. [2] А. Л. Бершадский, З. Д. Читидзе. Методическое пособие по расчету режимов резания. Тбилиси, 1967. [3] П. С. Афанасьев. Станки и инструменты деревообрабатывающих производств. (См. раздел резания.) М., 1968. [4] А. Л. Бершадский. Основы резания древесины. В кн.: Библиотечка деревообработчика. М., 1969.