

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПОЛУЗАКРЫТОГО И ЗАКРЫТОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### CALCULATION OF MODES THE HALF-CLOSED AND CLOSED MILLING OF WOOD

В производстве деревянных изделий широко применяются детали с четвертью, пазом, гребнем, прямыми шипами. Указанные элементы выполняются методом полузакрытого или закрытого фрезерования.

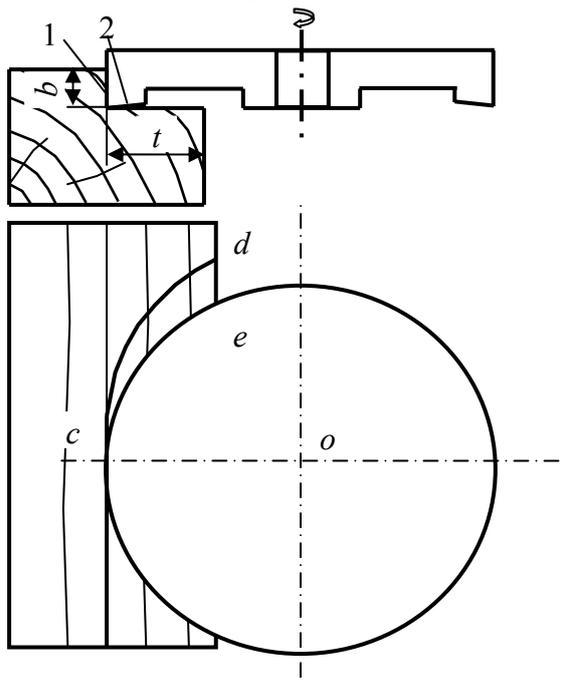


Схема выборки четверти

При полузакрытом фрезеровании в работе по срезанию припуска участвуют две режущие кромки лезвия фрезы (см. рисунок): главная и боковая режущие кромки. При закрытом фрезеровании, например при выборке паза, в работе участвуют три режущих кромки: главная и две боковых.

Исследование процесса закрытого и полузакрытого продольного фрезерования представлены в работах А.П. Шаповала [1] и А.И. Санковича [2].

Общую окружную силу резания предложено рассчитывать по формулам:

для полузакрытого резания

$$F_{хпз} = F_x + F_{xб} + F_{хтр};$$

для закрытого резания

$$F_{хз} = F_x + 2(F_{xб} + F_{хтр}),$$

где  $F_x$  – окружная касательная сила резания открытого резания, Н;

$F_{xб}$  – окружная касательная сила резания по боковой режущей кромке, Н;

$F_{хтр}$  – окружная касательная сила трения боковой режущей кромки, возникающая в результате упругого восстановления древесины, Н;

Значением  $F_{xб}$  в расчетах пренебрегают в виду его малости. Значение  $F_{хтр}$  составляет 5...8% от  $F_x$  и для его определения предложены эмпирические формулы, например для продольного фрезерования по данным А.И. Санковича

$$F_{хтр} = 0,147\mu - 0,54,$$

где  $\mu$  – угол подачи.

Таким образом, по данным А.И. Санковича, касательная сила резания по боковой режущей кромке зависит только от угла подачи. Никакие другие факторы процесса резания на величину этой силы не влияют. Такой вывод кажется сомнительным.

В предлагаемой статье дается другой подход к определению общей силы резания.

При обработке четверти (см. рисунок) обработанная поверхность формируется главной режущей кромкой 1, параллельной оси вращения фрезы, и боковой режущей кромкой 2, перпендикулярной к оси вращения фрезы. Угловые параметры зубьев назначаются так:

при главной режущей кромке – угол резания  $55^\circ \dots 70^\circ$ , задний угол  $10^\circ \dots 15^\circ$ ;

при боковой режущей кромке – угол резания  $90^\circ$ , задний угол  $5^\circ \dots 10^\circ$ , угол поднутрения  $2^\circ \dots 5^\circ$ .

При работе главная режущая кромка удаляет серповидный срезаемый слой сечением в основании  $cde$  и высотой  $b$ . Угол контакта главной режущей кромки с древесиной в градусах определяется по выражению:

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}},$$

где  $t$  – глубина фрезерования, мм;

$D$  – диаметр фрезы, мм.

Средняя толщина срезаемого слоя, мм

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}},$$

где  $S_z$  – подача на зуб фрезы, мм;  $S_z = de$ .

Главная режущая кромка выполняет продольно-торцовое резание с углом встречи  $\varphi_b = \varphi_k/2$ .

Боковая режущая кромка выполняет продольно-поперечное резание с углом скола  $\varphi_c = \varphi_k/2$ . Для боковой режущей кромки значение  $a_{cp}$  выступает в роли средней ширины срезаемого слоя. За толщину срезаемого слоя предлагается принять значение слоя, подвергнутое упруго-пластическому деформированию боковой режущей кромкой. В первом приближении можно принять  $a_{\delta} = a_{cp}$ .

Тогда можно принять, что общая касательная сила резания равна

$$F_x = F_{x2} + F_{x\delta},$$

где  $F_{x2}$  – сила резания по главной режущей кромке, Н;

$F_{x\delta}$  – сила резания по боковой режущей кромке, Н.

Порядок выполнения расчета показан на примере.

**Дано.** На фрезерном станке обрабатываются сосновые заготовки с выборкой четверти. Ширина фрезерования  $b = 20$  мм, глубина фрезерования  $t = 40$  мм (см. рис.). Диаметр фрезы  $D = 160$  мм, число зубьев  $z = 4$ , частота вращения  $n = 4000$  мин<sup>-1</sup>, материал фрезы – легированная сталь Х6ВФ, период стойкости  $T = 3$  ч. Угол резания главной режущей кромки  $\delta = 55^\circ$ , боковой режущей кромки  $\delta = 90^\circ$ . Скорость подачи  $V_s = 18$  м/мин. Начальный радиус закругления режущих кромок  $\rho_o = 5$  мкм.

**Определить** мощность электродвигателя механизма главного движения.

**Решение.** Обозначим пункты решения, относящиеся к главной режущей кромке, символами ГРК, к боковой режущей кромке – БРК, а общие пункты – без указания символов.

1. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 4000}{60000} = 33,5 \text{ м/с.}$$

2. Определим величину подачи на один зуб

$$S_z = \frac{1000V_s}{zn} = \frac{1000 \cdot 18}{4 \cdot 4000} = 1,125 \text{ мм.}$$

3. Угол контакта зуба фрезы с заготовкой

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}} = 115 \sqrt{\frac{40}{160}} = 57,5 \text{ град.}$$

Угол встречи главной режущей кромки с волокнами древесины равен углу скоса боковой режущей кромки

$$\varphi_6 = \varphi_c = \varphi_k/2 = 57,5/2 = 28,75.$$

4. Средняя толщина срезаемого слоя главной режущей кромкой

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 1,125 \sqrt{\frac{40}{160}} = 0,56 \text{ мм.}$$

5. Длина дуги контакта зуба фрезы с заготовкой

$$l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{40 \cdot 160} = 80 \text{ мм.}$$

6. Прирост радиуса закругления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000,$$

где  $\gamma_{\Delta}$  – величина затупления лезвий на 1 м пути, для лезвий из легированной инструментальной стали  $\gamma_{\Delta} = 0,0008$  мкм/м;

$K_n, K_u$  – коэффициенты соответственно производительности и использования станка, в примере можно принять  $K_n = K_u = 0,9$ .

$$\Delta\rho = 0,0008 \cdot 80 \cdot 4000 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 37,3 \text{ мкм.}$$

7. Определим значение фиктивной силы резания [3]

$$\text{ГРК} - p_{//\perp} = 1,57 + 0,0359\varphi_6 = 1,57 + 0,0359 \cdot 28,75 = 2,6 \text{ Н/мм;}$$

$$\text{БРК} - p_{//\perp} = 1,57 - 0,0065\varphi_c = 1,57 - 0,0065 \cdot 28,75 = 1,38 \text{ Н/мм.}$$

8. Находим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия:

$$\text{ГРК} - k_{//\perp} = (0,196 + 0,0039\varphi_6)\delta + (0,069 + 0,0014\varphi_6)V' - (5,4 + 0,158\varphi_6) = (0,196 + 0,0039 \cdot 28,75)55 + (0,069 + 0,0014 \cdot 28,75)(90 - 33,5) - (5,4 + 0,158 \cdot 28,75) = 13,2 \text{ Мпа;}$$

$$\text{БРК} - k_{\#//} = (0,196 - 0,00184\varphi_c)\delta + [0,069 - (0,069 - B)0,011\varphi_c]V' - (5,4 - 0,053\varphi_c) = (0,196 - 0,00184 \cdot 28,75)90 + [0,069 - (0,069 - 0,069)0,011 \cdot 28,75](90 - 33,5) - (5,4 - 0,053 \cdot 28,75) = 12,9 \text{ Мпа.}$$

**Примечания.** 1. В приведенных формулах  $V'$  – условная скорость резания, м/с, причем, если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения.

2.  $B$  – коэффициент: значение  $B = 0,059$  при  $\delta \leq 55$  и  $B = 0,069$  при  $\delta > 55$ ;

3.  $\delta$  – угол резания, град;

9. Находим коэффициент затупления по формуле

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_0 + 50}.$$

$$\text{ГРК} - \alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{13,2}{2,6}) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,02;$$

$$\text{БРК} - \alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{12,9}{1,38}) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,3.$$

10. Рассчитываем значение касательной силы резания на дуге контакта при резании одной режущей кромкой

$$F_{xзуб} = a_n a_w (\alpha_\rho p + ka) b,$$

где  $a$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$a_n$  – коэффициент на породу древесины, для древесины сосны  $a_n = 1$ ;

$a_w$  – коэффициент на влажность древесины, при  $W=12\%$   $a_w = 1$ ;

$b$  – ширина срезаемого слоя, мм.

$$\text{ГРК} - F_{xзуб1} = 1 \cdot 1(2,02 \cdot 2,6 + 13,2 \cdot 0,56) 20 = 252,9 \text{ Н};$$

$$\text{БРК} - F_{xзуб1} = 1 \cdot 1(2,3 \cdot 1,38 + 12,9 \cdot 0,56) 0,56 = 5,8 \text{ Н}.$$

11. Полная касательная сила резания на дуге контакта при работе одним зубом

$$F_{xзуб} = F_{xзуб1} + F_{xзуб2} = 252,9 + 5,8 = 258,7 \text{ Н}.$$

12. Находим окружную касательную силу резания

$$F_x = F_{xзуб} \frac{z l_\kappa}{\pi D} = 258,7 \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 160} = 164,8 \text{ Н}.$$

13. Рассчитаем значение мощности электродвигателя механизма главного движения

$$P = \frac{F_x V}{1000 \eta},$$

где  $\eta$  – КПД передачи, при  $\eta = 0,94$

$$P = \frac{164,8 \cdot 33,5}{1000 \cdot 0,94} = 5,87 \text{ кВт}.$$

**Заключение.** Расчеты показывают, что при выборке четверти основную работу выполняют главные режущие кромки фрезы. Так на главной режущей кромке сила резания равна 252,9 Н, а на боковой – 5,8 Н, что для данного примера составляет только 2,2% от общей силы резания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповал А.П. Исследование процесса продольного профильного фрезерования. Автореферат диссертации на соискание уч. степ. канд. техн. Наук. – М.: МЛТИ, 1965. – 26 с.
2. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. – Минск: Высшая шк., 1975. – 304 с.
3. Глебов И.Т. Расчет режимов резания древесины. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 156 с.

## ФРЕЗЕРОВАНИЕ РАДИУСНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), [GIT5@yandex.ru](mailto:GIT5@yandex.ru)

### *Milling radius surfaces*

Радиусными поверхностями называют криволинейные поверхности галтелей, полугалтелей, штапов, полустапов, скруглений кромок (рисунок 1), которые являются элементами деревянных деталей мебели, столярно-строительных изделий. Обрабатываются они радиусными фрезами.