

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

In this paper the shank milling cutter serviceability by criterion of fatigue durability is considered.

В деревообрабатывающей промышленности широко применяется обработка древесины и древесных материалов концевым фрезерным инструментом. Этот тип дереворежущего инструмента широко используется для выборки прямоугольных и фасонных пазов, профильной обработки кромок и других видов работ. Основным отличием концевых фрез от насадных является наличие хвостовика, которым фреза крепится в шпинделе станка.

Несмотря на постоянное совершенствование конструкций, концевые фрезы не всегда обладают желаемо длительным сроком эксплуатации, о чем свидетельствует производственный опыт (по данным ЗАО «Пинскдрев», ОАО «Минскпроектмебель»).

Согласно литературному источнику [1], на деревообрабатывающих предприятиях процент поломок концевых фрез может достигать до 20%. В качестве основной причины подобных аварий выделяют неправильное назначение режимов эксплуатации концевых фрез, например форсированная подача на зуб инструмента при значительной глубине резания [1]. При этом излом тела концевой фрезы носит явно выраженный усталостный характер.

В процессе работы концевой фрезерный инструмент испытывает многократное нагружение. Цикл нагружения является пульсирующим, т. е. нагрузка периодически изменяется от нуля до максимума. При этом инструмент испытывает сложное напряженное состояние, которое характеризуется совместным действием изгиба и кручения. Наибольшее значение нагрузки будет в месте крепления хвостовика (рис. 1).

Здесь максимальная величина изгибающего момента может быть найдена как

$$M_{\max} = L \cdot \sqrt{F_{k\max}^2 + F_{R\max}^2}, \quad (1)$$

где L – расстояние от равнодействующей сил резания до плоскости крепления концевой фрезы, мм; $F_{k\max}$ – максимальное значение касательной составляющей силы резания, Н; $F_{R\max}$ – максимальное значение радиальной составляющей силы резания, Н.

Величина радиальной составляющей может быть определена как [2]

$$F_{R\max} = m \cdot F_{k\max}, \quad (2)$$

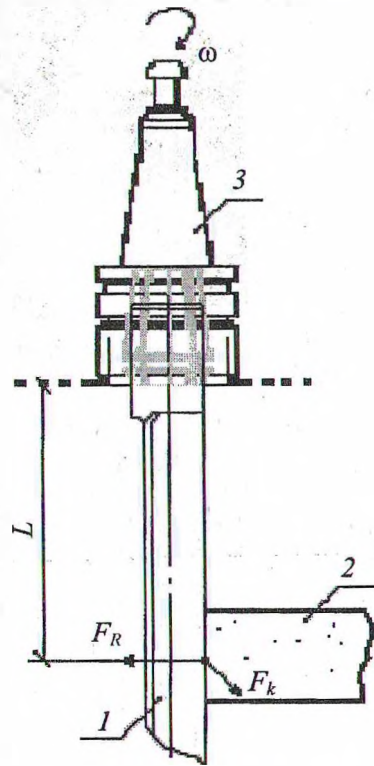


Рис. 1. Схема крепления концевой фрезы в патроне:
1 – режущий элемент концевой фрезы;
2 – обрабатываемый материал; 3 – патрон

где m – переходной множитель, значение которого зависит от величины средней толщины стружки, степени остроты инструмента и угла резания. На рис. 2 приведены графики зависимостей переходного множителя m от значений средней толщины срезаемого слоя $a_{\text{ср}}$ для различных радиусов закругления реза при угле резания $\delta = 60^\circ$ [2].

Для углов резания δ , отличных от 60° , учитываются поправки к значениям m , найденным по графикам рис. 2. Значения поправок к m для различных углов резания приведены в таблице.

Таблица

Значения поправок к m для некоторых углов резания δ

Угол δ , град	50	55	65	70
Поправка к m	-0,16	-0,08	0,08	0,16

Таким образом, максимальный изгибающий момент может быть записан с учетом (2) как

$$M_{\max} = L \cdot F_{k\max} \cdot \sqrt{1 + m^2}. \quad (3)$$

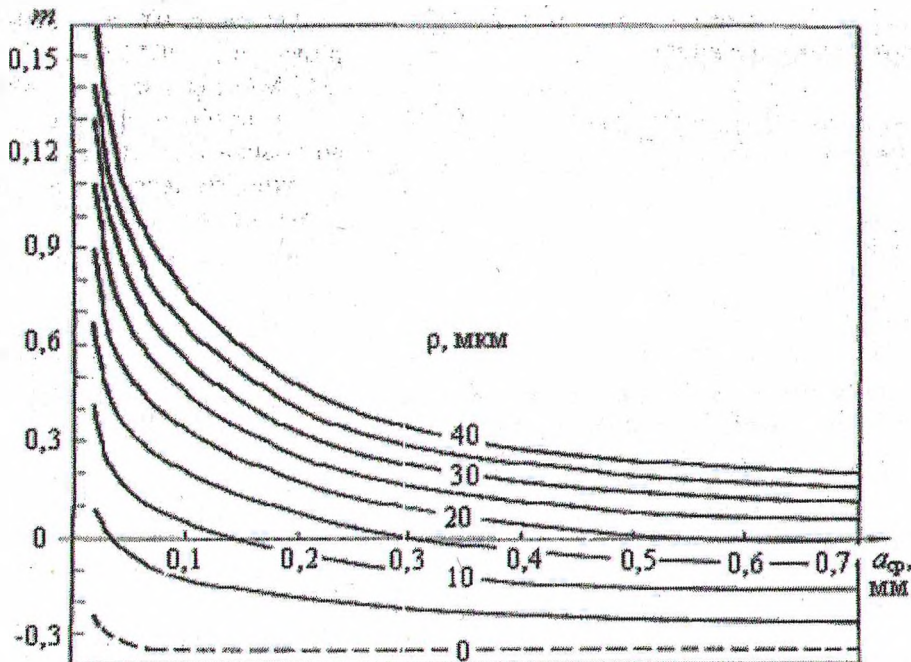


Рис. 2. Графики для определения переходного множителя m при угле резания $\delta = 60^\circ$

Максимальный крутящий момент:

$$T_{\max} = R \cdot F_{k_{\max}}, \quad (4)$$

где R – радиус резания, мм.

Запишем напряжение в рассматриваемом сечении от изгиба и кручения.

Максимальное значение напряжения изгиба

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (5)$$

где W – момент сопротивления сечения, мм^3 .

Среднее значение напряжения изгиба при пульсирующем цикле будет равно значению амплитудного напряжения:

$$\sigma_{\text{cp}} = \sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2}, \quad (6)$$

С учетом уравнения (4), можем представить уравнение (6) в виде

$$\sigma_{\text{cp}} = \sigma_a = \frac{M_{\max}}{2 \cdot W}. \quad (7)$$

Максимальное значение напряжения кручения

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_p}, \quad (8)$$

где W_p – полярный момент сопротивления, мм^3 ;

Аналогично с изгибом среднее значение напряжения кручения будет равно значению амплитудного напряжения:

$$\tau_{\text{cp}} = \tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2}. \quad (9)$$

Или, с учетом (8), можем записать:

$$\tau_{\text{cp}} = \tau_a = \frac{T_{\max}}{2 \cdot W_p}. \quad (10)$$

Для учета двухосного напряженного состояния воспользуемся формулой Гафа – Полларда [3]:

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_\sigma^2} + \frac{1}{n_\tau^2}, \quad (11)$$

где n – запас усталостной прочности; n_σ – запас усталостной прочности при чистом изгибе; n_τ – запас усталостной прочности при чистом кручении.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\varepsilon \cdot \beta \cdot k_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_{\text{cp}}}, \quad (12)$$

где σ_{-1} – предел выносливости при изгибе для симметричного цикла; k_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе; ε – масштабный фактор; β – коэффициент влияния состояния поверхности; ψ_σ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла для изгиба.

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\varepsilon \cdot \beta \cdot k_\tau \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_{\text{cp}}}, \quad (13)$$

где τ_{-1} – предел выносливости при кручении для симметричного цикла; k_τ – эффективный коэффициент концентрации напряжений при кручении; ψ_τ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла для кручения.

Формула (11) с учетом (7), (10), (12), (13) может быть записана в виде

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1}}{\sqrt{k_{\sigma_{\text{ад}}}^2 \cdot \sigma_a^2 \cdot \tau_{-1}^2 + k_{\tau_{\text{ад}}}^2 \cdot \tau_a^2 \cdot \sigma_{-1}^2}}, \quad (14)$$

где $k_{\sigma_{\text{ад}}} = \frac{k_{\sigma}}{\varepsilon\beta} + \psi_{\sigma}$,

$$k_{\tau_{\text{ад}}} = \frac{k_{\tau}}{\varepsilon\beta} + \psi_{\tau}. \quad (15)$$

Поскольку поперечное сечение хвостовиков концевых фрез – круг, то можно записать:

$$W \approx 0,1 \cdot d^3; W_p \approx 0,2 \cdot d^3. \quad (16)$$

Введем обозначение:

$$A = 25 \cdot k_{\sigma_{\text{ад}}}^2 \cdot \tau_{-1}^2, \\ B = 6,25 \cdot k_{\tau_{\text{ад}}}^2 \cdot \sigma_{-1}^2. \quad (17)$$

Тогда уравнение (13) примет вид

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1} \cdot d^3}{\sqrt{A \cdot M_{\text{max}}^2 + B \cdot T_{\text{max}}^2}}. \quad (18)$$

С учетом полученных соотношений (3) и (4), из (18) выразим максимальную касательную силу резания:

$$F_{k_{\text{max}}} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1} \cdot d^3}{n \cdot \sqrt{A \cdot L^2 \cdot (1+m^2) + B \cdot R^2}}. \quad (19)$$

Причем следует отметить, что древесина и древесные материалы обычно характеризуются анизотропией свойств, а затрачиваемая мощность на резание может колебаться для натуральной древесины в пределах $\pm 25-30\%$ [4] для одинаковых условий обработки.

Поэтому коэффициент запаса, согласно рекомендациям [5], следует принимать равным $n = 1,7-3,0$.

В качестве примера определим максимальную касательную силу резания при обработке сборной концевой фрезой для следующих условий: материал тела фрезы – сталь 40X [1]; переходной множитель $m = 1$; расстояние от точки приложения равнодействующей сил резания до плоскости крепления хвостовика концевой фрезы $L = 100$ мм; радиус резания $R = 10$ мм; коэффициент запаса $n = 2$.

Для стали 40X: $\sigma_{-1} = 320-480$ МПа, в расчетах примем $\sigma_{-1} = 400$ МПа; $\tau_{-1} = 210-260$ МПа, $\tau_{-1} = 240$ МПа; $\psi_{\sigma} = 0,1$; $\psi_{\tau} = 0,05$.

Масштабный фактор $\varepsilon = 0,9$ для диаметра хвостовика $d = 20$ мм [3]. Для шлифованной поверхности хвостовика коэффициент влияния состояния поверхности $\beta = 0,9$ [3].

При отсутствии концентраторов напряжений примем $k_{\sigma} = k_{\tau} = 1$.

Тогда по формулам (15) имеем:

$$k_{\sigma_{\text{ад}}} = \frac{1}{0,9 \cdot 0,9} + 0,1 = 1,33;$$

$$k_{\tau_{\text{ад}}} = \frac{1}{0,9 \cdot 0,9} + 0,05 = 1,28.$$

Подставим соответствующие значения в выражения (17):

$$A = 25 \cdot 1,33^2 \cdot 240^2 = 2547216,$$

$$B = 6,25 \cdot 1,28^2 \cdot 400^2 = 1638400.$$

Из уравнения (19) получим величину максимально допустимой касательной силы резания при коэффициенте запаса $n = 2$:

$$F_{k_{\text{max}}} = \frac{400 \cdot 240 \cdot 20^3}{2 \cdot \sqrt{2547216 \cdot 100^2 \cdot (1+1^2) + 1638400 \cdot 10^2}} \approx \\ \approx 1700 \text{ Н.}$$

Значение $F_{k_{\text{max}}}$ должно учитываться как ограничивающий фактор при назначении режимов резания и проектировании концевого фрезерного инструмента.

Литература

1. Кряжев Н. А. Фрезерование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 200 с.
2. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 296 с.
3. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Навук. думка, 1988. – 736 с.
4. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 304 с.
5. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. – М.: Физматгиз, 1963. – 540 с.