

Касательная и радиальная силы резания определяются следующим образом:

$$F_{\tau} = |F| \cos \varphi; \quad F_r = |F| \sin \varphi; \quad (10)$$

### Особенность предложенного устройства:

– получение более точных значений измеряемых величин по сравнению с показаниями других средств измерения;

– полученные данные позволяют выбрать наиболее оптимальные параметры и конструкции инструмента для обработки древесины либо древесных материалов.

Это, в свою очередь, позволит добиться более высокого качества обработки одновременно с повышением производительности и снижением энергозатрат процесса.

### Библиографический список

1. Руководство по эксплуатации устройства ТТ4010 для регистрации сил резания на фрезерном станке с нижним расположением шпинделя.

2. Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие / Под ред. Р. А. Макарова. М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

Рудак П.В., Гриневич С.А. (БГТУ, г. Минск, РБ) [rudn@tut.by](mailto:rudn@tut.by)

## ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

### *A CUTTING EDGE CONDITION INFLUENCE OF THE ROUTING MILLING TOOL ON FACTOR OF FATIGUE DURABILITY*

На деревообрабатывающих предприятиях для криволинейного раскроя плитных материалов, обработки кромок, выборки пазов применяют концевой фрезерный инструмент.

Несмотря на постоянное совершенствование конструкций, концевые фрезы не всегда обладают желаемо длительным сроком эксплуатации, о чем свидетельствует производственный опыт.

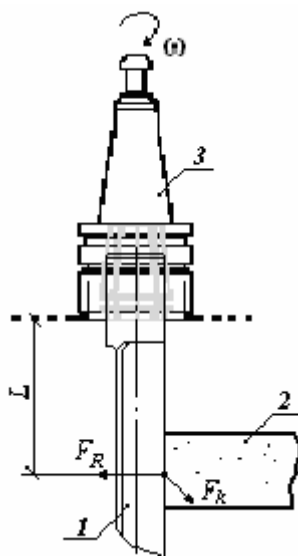
Основной причиной аварийного выхода из строя концевых фрез являются необоснованно подобранные режимы их эксплуатации при отсутствии четких рекомендаций от производителя. Назначаемые в условиях производства параметры обработки, которые должны удовлетворять требованиям высокой производительности, стойкости резцов и необходимого качества продукции не всегда гарантируют долговечность самого корпуса инструмента.

Наиболее часто происходит усталостное разрушение тела сборной концевой фрезы (рис. 1).



Рисунок 1 – Усталостное разрушение тела концевой фрезы

Это объясняется тем, что 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 фрезы, но разрушение происходит в наиболее ослабленном сечении инструмента (рис. 2).



1 – режущий элемент концевой фрезы; 2 – обрабатываемый материал; 3 – патрон

Рисунок 2 – Схема обработки концевой фрезой

Изгибающие моменты от касательной и радиальной составляющих силы резания определяются, как:

$$M_k = F_k \cdot L, \quad M_R = F_R \cdot L, \quad (1)$$

где  $F_k$  – величина касательной составляющей силы резания, Н;  $F_R$  – величина радиальной составляющей силы резания, Н;  $L$  – расстояние от равнодействующей сил резания до плоскости опасного сечения, мм.

Величина радиальной составляющей силы резания может быть определена по формуле [1]:

$$F_R = m \cdot F_k, \quad (2)$$

где  $m$  – переходной множитель, значение которого зависит от величины средней толщины стружки, степени остроты инструмента и угла резания [1].

Крутящий момент определяется по формуле:

$$T = F_k \cdot R, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус резания, мм.

Запишем напряжения от изгиба и кручения в опасном сечении.

Значения напряжений изгиба:

$$\sigma_x = \frac{M_k \cdot y_{ц}}{I_x}, \quad \sigma_y = \frac{M_R \cdot x_{ц}}{I_y}, \quad (4)$$

где  $x_{ц}$ ,  $y_{ц}$  – расстояние от точки зарождения трещины до центра тяжести опасного сечения, мм;  $I_x$ ,  $I_y$  – моменты инерции опасного сечения, мм<sup>4</sup>.

Амплитудные значения напряжений соответственно изгиба и кручения при пульсирующем цикле:

$$\sigma_a = \sigma_{cp} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}, \quad \tau_a = \tau_{cp} = \frac{T}{2 \cdot W_p}, \quad (5)$$

где  $W_p$  – полярный момент сопротивления, мм<sup>3</sup>.

Для определения коэффициента запаса  $n$  по критерию усталостной прочности при двухосном напряженном состоянии воспользуемся формулой Гафа-Полларда [2]

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_\sigma^2} + \frac{1}{n_\tau^2}, \quad (6)$$

где  $n$  – запас усталостной прочности;  $n_\sigma$  – запас усталостной прочности при чистом изгибе;  $n_\tau$  – запас усталостной прочности при чистом кручении.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon \cdot \beta} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_{cp}}, \quad n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon \cdot \beta} \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_{cp}}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1}$  – предел выносливости соответственно при изгибе и кручении для симметричного цикла;  $k_\sigma$ ,  $k_\tau$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений соответственно при изгибе и кручении;  $\varepsilon$  – масштабный фактор;  $\beta$  – коэффициент влияния состояния поверхности;  $\psi_\sigma$ ,  $\psi_\tau$  – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла соответственно для изгиба и кручения.

Формула (6) с учетом формул (5), (7) может быть записана в виде:

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1}}{\sqrt{k_{\sigma d}^2 \cdot \sigma_a^2 \cdot \tau_{-1}^2 + k_{\tau d}^2 \cdot \tau_a^2 \cdot \sigma_{-1}^2}}, \quad (8)$$

$$\text{где } k_{\sigma_d} = \frac{k_{\sigma}}{\varepsilon\beta} + \psi_{\sigma}, \quad k_{\tau_d} = \frac{k_{\tau}}{\varepsilon\beta} + \psi_{\tau}. \quad (9)$$

Обработку кромок и криволинейный раскрой плитных материалов часто осуществляют сборным концевым фрезерным инструментом, который оснащают твердосплавными режущими элементами. В теле инструмента для крепления резцов выбирают пазы, которые являются концентраторами напряжений и ослабляют сечение.

В процессе работы происходит затупление режущего инструмента, что приводит к росту сил резания и действующих напряжений.

Так, на рис.3 показана сборная концевая фреза одной из распространенных конструкций. Анализ разрушившихся образцов показывает, что усталостная трещина зарождается в точке В.

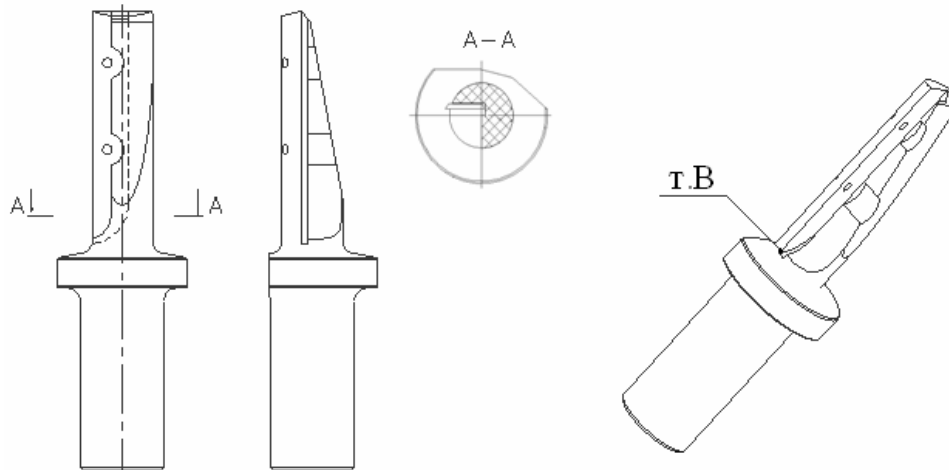


Рисунок 3 – Сборная концевая фреза

По уравнению (8) выполнен расчет коэффициента запаса для опасного сечения, ослабленного пазом (рис. 3) при следующих условиях: материал корпуса фрезы – сталь 40Х ( $\sigma_{-1}=400$  МПа;  $\tau_{-1}=240$  МПа;  $\psi_{\sigma}=0,1$ ;  $\psi_{\tau}=0,05$ );  $L=40$  мм;  $R=10$  мм;  $\varepsilon=0,7$ ;  $\beta=0,9$ ;  $k_{\sigma}=1,5$ ,  $k_{\tau}=1,1$ ;  $x_{ц}=2,4$  мм,  $y_{ц}=1,4$  мм,  $I_x=5770,5$  мм<sup>4</sup>,  $I_y=4041,5$  мм<sup>4</sup>,  $W_p=829,5$  мм<sup>3</sup>. При этом в расчете принят режим эксплуатации концевой фрезы, которая реально применяется на предприятии ЗАО «Пинскдрев» для криволинейного раскроя одновременно трех плит ДСтП: частота вращения 12000 мин<sup>-1</sup>, скорость подачи 4 м/мин.

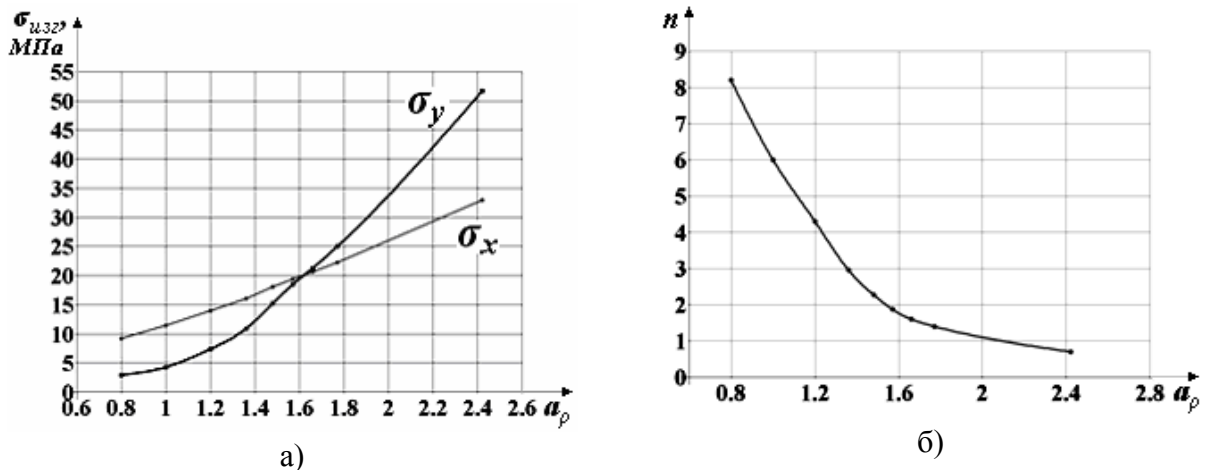


Рисунок 4 – Графики зависимостей напряжений изгиба (а) и коэффициента запаса (б) от коэффициента затупления реза

Результаты расчета показывают, что по мере затупления инструмента напряжения изгиба от радиальной силы начинают значительно превышать значения напряжений изгиба от касательной силы (рис. 4, а.), а рассчитанный для опасного сечения коэффициент запаса по критерию усталостной прочности при этом значительно падает (рис. 4, б.).

Таким образом, обязательным условием высокой долговечности концевой фрезерного инструмента, помимо назначения рациональных режимов обработки, является своевременная переточка и замена режущих элементов, благодаря чему ограничивается рост радиальной составляющей силы резания по мере эксплуатации инструмента и предотвращается усталостное разрушение корпуса концевой фрезы.

### Библиографический список

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1986.– 296 с.
2. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов.– Киев: Навук. думка, 1988.- 736 с.

**Вершина А.К., Бурносов Н.В.** (БГТУ, г. Минск, РБ) [dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

## **УПРОЧНЕНИЕ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

### ***HARDENING MILLING BLADES TOOLS WITH USE OF HIGH-ENERGY PLASMA TECHNOLOGIES***

Эффективное использование основных производственных фондов в лесном комплексе определяется внедрением современных видов оборудования и совершенствованием серийно выпускаемого. При этом особые требования предъявляются к дереворезающему инструменту в связи с интенсификацией режимов обработки, в частности режимов пиления круглыми пилами, сверления, фрезерования, а также точности обработки из-за изменения системы допусков и посадок.

Применение традиционных известных методов повышения режущих свойств деревообрабатывающего инструмента путем его сложного легирования в настоящее время ограничено из-за дефицита ряда химических элементов. Кроме того, в ряде случаев этот путь не дает требуемых результатов. Поэтому в последнее время в мировой практике все большее применение находят методы повышения работоспособности инструмента путем нанесения соответствующих функциональных покрытий. Эти методы обладают высокой производительностью, универсальностью, экономичностью. Появляется возможность управления условиями формирования и свойствами покрытий, а также свойствами композиции покрытие – инструментальный материал.