

ПРИБОРЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

УДК 621.914.2:674

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ СБОРНОЙ ФРЕЗЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕФЛЕКТОРНЫХ* САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ ИНСТРУМЕНТОВ

А. А. ГРИШКЕВИЧ[†], С. С. МАКАРЕВИЧ, А. П. КЛУБКОВ, А. Ф. АНИКЕЕНКО

УО «Белорусский государственный технологический университет», ул. Свердлова, 13а, 220050, г. Минск, Беларусь.

В статье приводятся теоретические расчеты, обосновывающие использование силовых воздействий на элементы сборной фрезы – резцедержатели, обеспечивающие самонастраивание режущих элементов на требуемый угол резания и фиксацию в заданном положении без каких-либо дополнительных крепежных устройств.

Введение

Один из путей создания отечественного конкурентоспособного дереворежущего инструмента – его техническое совершенствование и обновление в условиях непрерывно возрастающих требований – таких, как снижение удельной металлоемкости и энергопотребления, повышение ресурса и надежности, универсальности, сокращение затрат времени на замену и настройку режущих инструментов, реализация прогрессивных технико-экономических решений на основе функционально-стоимостного анализа.

Кроме того, необходимо решить многие сложные задачи, сдерживающие создание конкурентоспособных, независимых от импорта, дереворежущих инструментов, в частности: разработка рефлекторных систем режущих инструментов, использование автоматизированных систем проектирования, разработка теории расчета режущих инструментов на прочность, жесткость, вибрации а также автоматизированных средств идентификации дереворежущих инструментов.

Конструкции дереворежущих сборных фрез отличаются большим разнообразием конструктивных элементов. При этом разработчики уделяют основное внимание надежности крепления и удобству регулирования [1]. В деревообрабатывающей промышленности для цилиндрического фрезерования древесины и древесных материалов применяют насадные цилиндрические сборные фрезы на четырехсторонних продольно-фрезерных, фрезерных, карусельно-фрезерных станках

[2]. Только по способу крепления фрезы на шпиндель станка существует пять типоразмеров. Кроме того фрезы имеют четыре типоразмера по диаметру окружности резания, четыре типоразмера по диаметру посадочного отверстия, семи типоразмеров по длине фрезы.

Из сборных фрез наиболее распространены круглые ножевые головки с центробежно-клиновым креплением тонких ножей (рис. 1). Нож 4 закрепляют в корпус 1 распорным винтом 6, через прижимный клин 5. Достоинством этого крепления является то, что с ростом частоты вращения фрезы возрастает не только сила, выбрасывающая нож, но и сила прижима ножа клином.

К недостаткам всех насадных цилиндрических сборных фрез следует отнести значительное число деталей в их конструкции, что приводит к повышенным трудозатратам при их эксплуатации (разборке, сборке, регулировке, балансировке).

Следующим основным недостатком, приведенных в [2] фрез, является то, что для каждого режима резания, обрабатываемого материала (порода древесины, ДСтП, ДВП, МДФ и др.) требуется иметь отдельную фрезу. Для установки, замены, регулировки ножей фрезу необходимо снимать со шпинделя и доставлять ее на участок подготовки инструмента.

При частом снятии и установке фрезы на шпиндель станка происходит нарушение сопрягаемых поверхностей фрезы и шпинделя, создавая зазор между внутренней поверхностью фрезы и наружной поверхностью шпинделя. В результате чего создается значительный дисбаланс.

* Рефлектор – (лат. *reflecto*) загибаю назад, поворачиваю.

† Автор, с которым следует вести переписку.

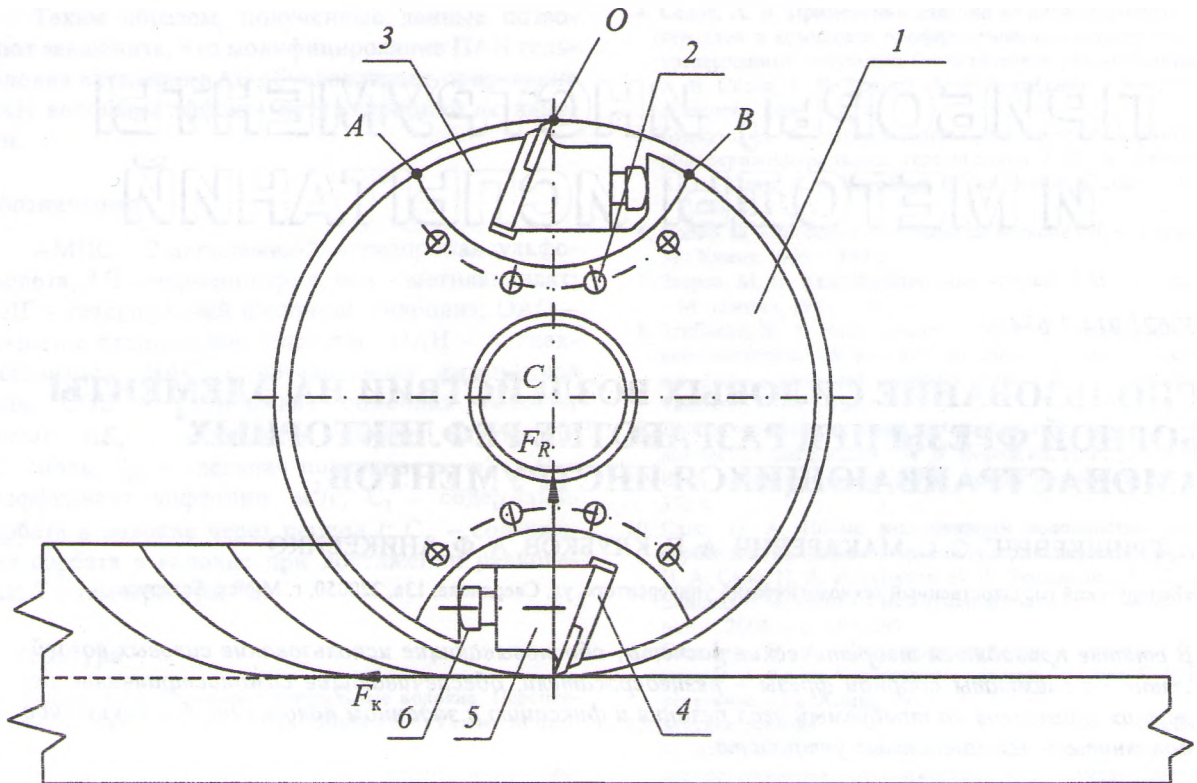


Рис. 1. Фреза сборная

Одним из важнейших параметров процесса резания древесины и древесных материалов является угол резания.

Однако все типоразмеры фрез имеют один постоянный угол резания $\delta = 60^\circ$ для ножа, изготовленного из инструментальной стали, и $\delta = 65^\circ$ для ножей с твердосплавными пластинами.

Поэтому необходимо было разработать конструкцию сборной цилиндрической фрезы с изменяемыми углами резания.

В Белорусском государственном технологическом университете разработана и защищена авторским свидетельством фреза с изменяемыми углами резания [3]. Аналогов такой конструкции фрезы в мировой практике нет [4, 5].

В работе [6] приведена сборная фреза с поворотными и быстросъемными сегментами. Данная фреза имеет в корпусе 1 дополнительные винты 2 для крепления сегментов 3 (рис. 1).

На основании теоретических и экспериментальных исследований авторы пришли к выводу, что работоспособность фрезы не ухудшится, если эти винты исключим из конструкции фрезы. Сегменты будут самонастраиваться под заданный режим фрезерования. Самонастраиванию фрезы будут способствовать касательная F_K и радиальная F_R силы резания (рис. 1), в результате чего инструмент получает эффект рефлекторности конструкции.

Объект исследования

Объектом исследования является фреза насадная цилиндрическая универсальная дереворе-

жущая сборная с изменяемыми угловыми параметрами (рис. 1).

Фреза предназначена для применения на продольно-фрезерных, фрезерных, карусельно-фрезерных станках, обрабатывающих центрах и автоматических линиях для обработки древесины и древесных материалов.

Данная фреза позволяет производить плоскостное и фасонное фрезерование древесины, кромок древесностружечных, древесноволокнистых, цементно-стружечных плит и фанеры, а также древесно-волоконистой плиты средней и высокой плотности MDF и HDF, и других материалов как на основе древесины, так и пластмасс, пенопластов и др.

Предлагаемая конструкция фрезы обеспечивает возможность за 20–30 с устанавливать и снимать только сегмент-ножедержатель, в то время, когда корпус фрезы постоянно закреплен на шпинделе станка и не снимается при замене сегментов-ножедержателей. Замена подлежат только сегменты-ножедержатели. Конструкция позволяет вести замену только ножа (так называемую пластину одноразового использования). Особенностью фрезы является еще то, что при повороте сегмента-ножедержателя на определенный угол резания радиус окружности резания остается постоянным.

Фреза состоит из корпуса 1, в котором расточены два (три или четыре) диаметрально расположенных паза типа «ласточкин хвост». В пазы корпуса устанавливают поворотные быстросъемные сегменты-ножедержатели.

Постановка и решение задачи

Рассмотрим клин с толщиной b , переходящий в диск той же толщины (рис. 2).

На некотором расстоянии a на клин под углом β действует нагрузка F , распределенная по толщине клина b , которая дает равнодействующую $F = qb$. Определим напряжения в цилиндрическом сечении AB клина на границе с диском.

Покажем напряжения, действующие на элемент клина, выделенный радиальными и цилиндрическими сечениями (рис. 2, б). В общем случае эти напряжения будем считать положительными. В качестве функции напряжения примем функцию

$$\varphi = Ar\theta\sin\theta + Br\theta\cos\theta + C\theta + D\sin 2\theta, \quad (1)$$

которая удовлетворяет бигармоническому уравнению в полярной системе координат. Напряжения через функцию (1) определяются следующим образом [7]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}, \\ \sigma_\theta &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}, \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Подставив (1) в (2), получим:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{2}{r} (A \cos\theta - B \sin\theta) - \frac{4D}{r^2} \sin 2\theta, \\ \sigma_\theta &= 0, \\ \tau_{r\theta} &= \frac{1}{r^2} (C + 2D \cos 2\theta). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для определения постоянных используем краевое условие $\tau_{r\theta}(\theta = \pm\alpha) = 0$ и уравнения равновесия:

$$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0; \Sigma m_0 = 0.$$

Краевое условие $\tau_{r\theta}(\theta = \pm\alpha) = 0$ дает

$$C + 2D \cos 2\alpha = 0. \quad (4)$$

Запишем уравнения равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= -b \int_{-\alpha}^{\alpha} r \sigma_r \sin\theta d\theta - b \int_{-\alpha}^{\alpha} r \tau_{r\theta} \cos\theta d\theta - F \cos\beta = 0, \\ \Sigma Y &= b \int_{-\alpha}^{\alpha} r \sigma_r \cos\theta d\theta - b \int_{-\alpha}^{\alpha} r \tau_{r\theta} \sin\theta d\theta + F \sin\beta = 0, \\ \Sigma m_0 &= b \int_{-\alpha}^{\alpha} r^2 \tau_{r\theta} d\theta + F a \cos\beta = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из уравнений (4) и (5) найдем

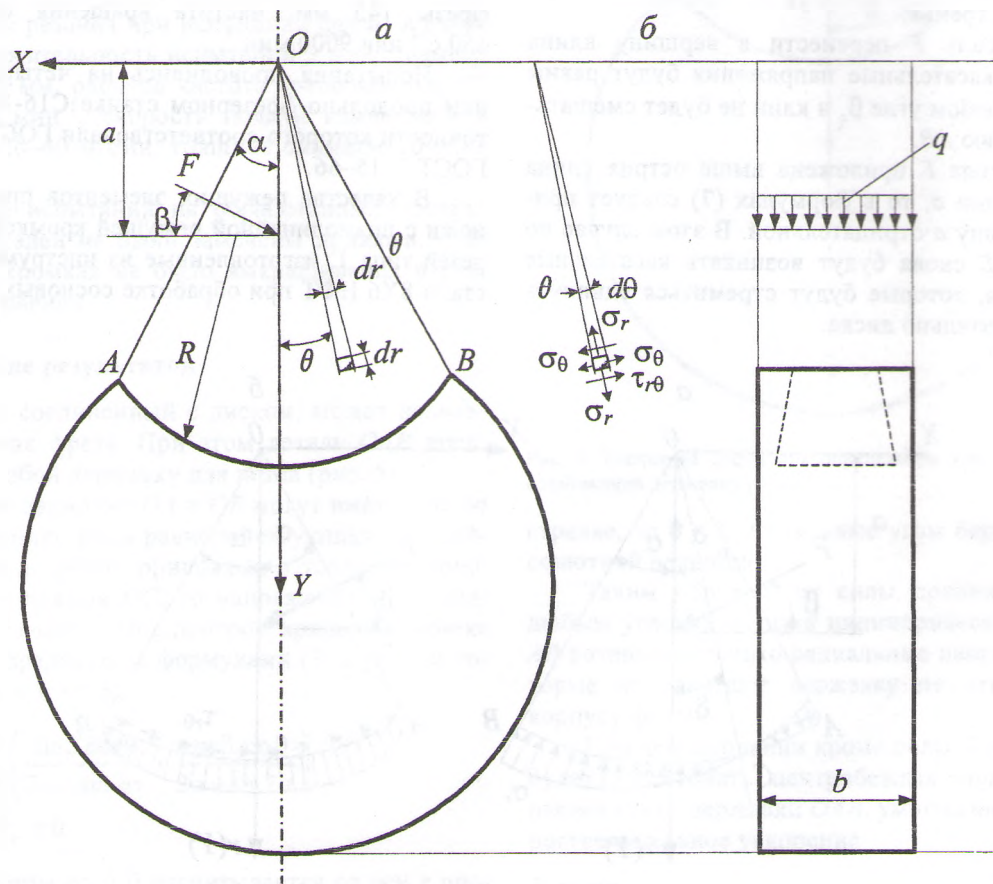


Рис. 2. Расчетная схема

$$\left. \begin{aligned} A &= -\frac{F \sin \beta}{b(2\alpha + \sin 2\alpha)}; \\ B &= \frac{F \cos \beta}{b(2\alpha - \sin 2\alpha)}; \\ C &= -\frac{F a \cos \beta \cos 2\alpha}{b(2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}; \\ D &= \frac{F a \cos \beta}{2b(2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}. \end{aligned} \right\} (6)$$

Подставив (6) в (3), получим:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{2F}{br} \left(\frac{\sin \beta \cos \theta}{2\alpha + \sin 2\alpha} + \frac{\cos \beta \sin \theta}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right) - \\ &\quad - \frac{2Fa \cos \beta}{br^2} \frac{\sin 2\theta}{2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha}; \\ \tau_{r\theta} &= \frac{Fa \cos \beta}{br^2} \frac{\cos 2\theta - \cos 2\alpha}{2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha}; \quad \sigma_\theta = 0. \end{aligned} \right\} (7)$$

При $r = R$ формулы (7) дают напряжения в цилиндрическом сечении AB клина на границе с диском. Сделав разрез по линии AB в виде «ласточкина хвоста», клин можно отделять от диска. Так как при положении силы F , показанном на рис. 2, в сечении AB возникают касательные напряжения, то клин будет смещаться по отношению к диску, если касательные напряжения будут больше сил трения.

Если силу F перенести в вершину клина ($a = 0$), то касательные напряжения будут равны нулю при любом угле β , и клин не будет смещаться по сечению AB .

Если сила F приложена выше острия клина на расстоянии a , то в формулах (7) следует принять величину a отрицательной. В этом случае по сечению AB снова будут возникать касательные напряжения, которые будут стремиться сдвинуть клин относительно диска.

Для случая, показанного на рис. 2 ($a > 0$, $\beta < 90^\circ$), нормальные радиальные напряжения σ_r и касательные напряжения $\tau_{r\theta}$ будут распределены по цилиндрическому сечению клина так, как это показано на рис. 3.

На участке AC нормальные радиальные напряжения воспринимаются боковыми наклонными гранями «ласточкина хвоста».

Если сила F приложена к вершине клина, то

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -\frac{2F}{br} \left(\frac{\sin \beta \cos \theta}{2\alpha + \sin 2\alpha} + \frac{\cos \beta \sin \theta}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right); \\ \tau_{r\theta} &= 0; \quad \sigma_\theta = 0. \end{aligned} \right\} (8)$$

Для этого случая эпюра нормальных радиальных напряжений показана на рис. 3, а. При $a = 0$ и $\beta = 90^\circ$ эпюра σ_r показана на рис. 4, б.

Таким образом, сила, приложенная к вершине клина под любым углом β , сдвига по цилиндрическому сечению AB не вызывает.

Метод испытаний фрезы

Испытание фрезы в промышленных условиях проведены в соответствии с ГОСТ 13932-80 «Фрезы насадные цилиндрические дереворежущие сборные», технические требования.

Фреза была испытана на прочность при вращении в течение 5 мин: при наружном диаметре фрезы 145 мм; частота вращения составляла 150 с^{-1} или 9000 мин^{-1} .

Испытания проводились на четырехстороннем продольно-фрезерном станке С16-1А, нормы точности которого соответствовали ГОСТ 69-67 и ГОСТ 7315-66.

В качестве режущих элементов применялись ножи с прямолинейной режущей кромкой без прорезей типа 1, изготовленные из инструментальной стали 8Х6 НФТ при обработке сосновых заготовок

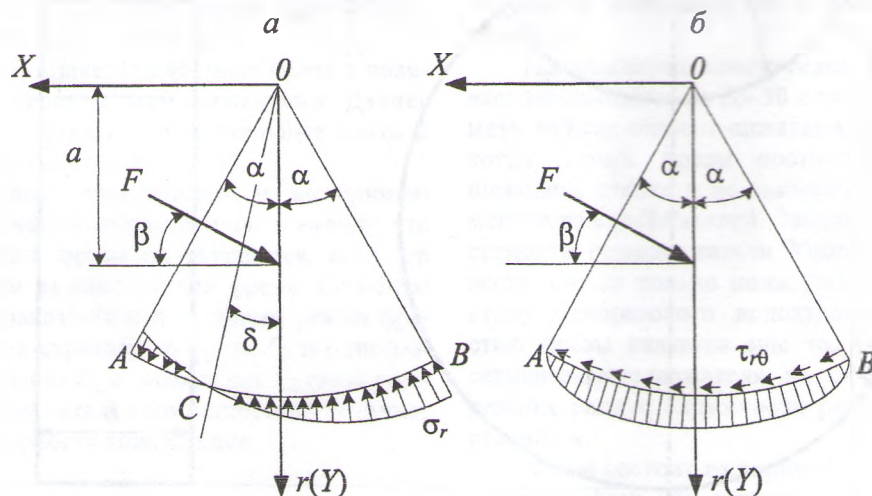


Рис. 3. Распределение напряжений по цилиндрическому сечению клина: а — эпюра нормальных радиальных напряжений; б — эпюра касательных напряжений

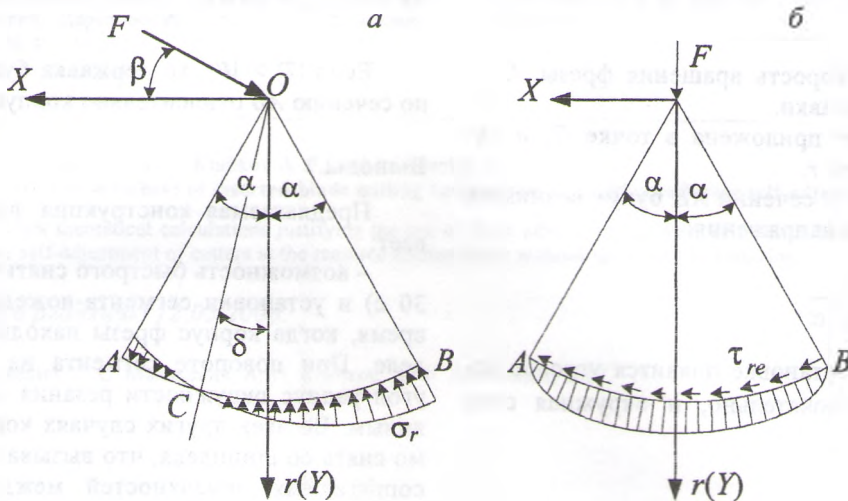


Рис. 4. Распределение напряжений σ , по цилиндрическому сечению при силе, приложенной в вершине клина при:
 $a - \beta < 90^\circ$, $b - \beta = 90^\circ$

влажностью 10–12%. Так же применялись ножи, оснащенные твердосплавными пластинами ГОСТ 14956–79. Материал режущей части ножа – твердый сплав марки ВК15, материал корпуса – конструкционная легированная сталь 40Х.

Эти ножи испытывались при обработке древесно-стружечных плит марки Р-А по ГОСТ 10632–89.

Режим резания при испытании фрезы в работе: продолжительность испытаний 3 мин, диаметр фрезы 145 мм, рабочая частота вращения 100 с^{-1} или 6000 мин^{-1} , скорость подачи изменялась в пределах 20–40 м/мин, толщина снимаемого слоя 4–6 мм.

После испытаний на обработанных поверхностях деталей не были замечены прижоги, а на режущих кромках не было выкрашивания и следов притупления.

Обсуждение результатов

Клин, соединенный с диском, может использоваться как фреза. При этом деталь OAB представляет собой державку для резца (рис. 5).

Грани державки OA и OB могут иметь любую конфигурацию. Если равнодействующая сил, действующих на резец, приложена в точке, расположенной на прямой OC , то напряжения в цилиндрическом сечении AB с центром кривизны в точке O будут определяться формулами (7) с учетом того, что $a = 0$ и $r = R$, т. е.:

$$\sigma_r = -\frac{2F}{bR} \left(\frac{\sin\beta \cos\theta}{2\alpha + \sin 2\alpha} + \frac{\cos\beta \sin\theta}{2\alpha - \sin 2\alpha} \right);$$

$$\tau_{r\theta} = 0; \quad \sigma_\theta = 0.$$

При этом если θ отсчитывается от оси r против часовой стрелки, то $\theta > 0$; если по часовой

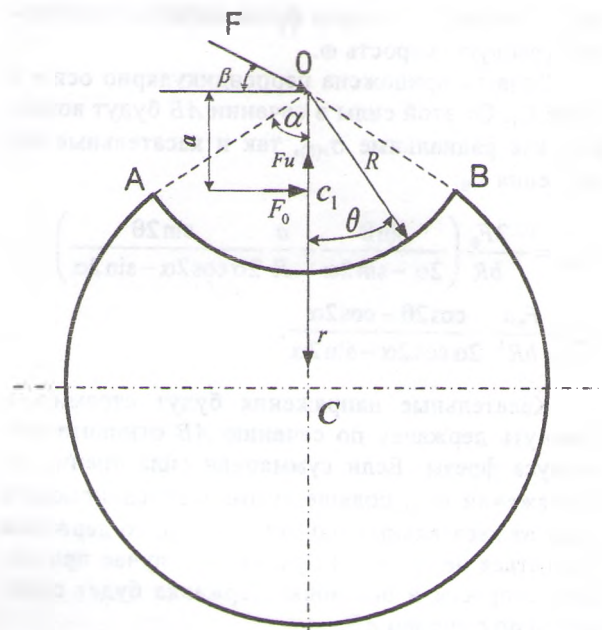


Рис. 5. Расчетная схема для определения критической силы сдвигающей державку резца

стрелке, то $\theta < 0$. Остальные углы берутся по абсолютной величине.

Таким образом, от силы приложенной под любым углом к резцу в цилиндрическом сечении AB возникают только радиальные напряжения, которые не сдвигают державку по отношению к корпусу фрезы.

При фрезеровании кроме силы F на державку будет действовать центробежная сила инерции, равная массе державки OAB , умноженной на центростремительное ускорение

$$F_u = ma_n.$$

Центростремительное ускорение будет равно
 $a_n = \omega^2 \cdot CC_1$,

где ω – угловая скорость вращения фрезы; C_1 – центр тяжести державки.

Сила F_u будет приложена в точке C_1 и направлена против оси r .

От этой силы в сечении AB будут возникать только радиальные напряжения:

$$\sigma_{r(r)} = \frac{2F_u \cos \theta}{bR 2\alpha + \sin 2\alpha}.$$

При пуске и остановке появится угловое ускорение ε , а, следовательно, и окружная сила инерции F_0 :

$$F_0 = ma_t,$$

где a_t – окружное ускорение.

Если фреза набирает скорость равномерно, то

$$\varepsilon = \omega/t_0; a_t = \varepsilon \cdot CC_1,$$

где t_0 – время, за которое фреза набирает постоянную угловую скорость ω .

Сила F_0 приложена перпендикулярно оси r в точке C_1 . От этой силы в сечении AB будут возникать как радиальные $\sigma_{r(0)}$, так и касательные напряжения $\tau_{r\theta}$:

$$\sigma_{r(0)} = -\frac{2F_0}{bR} \left(\frac{\sin \theta}{2\alpha - \sin 2\alpha} + \frac{a}{R} \frac{\sin 2\theta}{2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha} \right);$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{F_0 a}{bR^2} \frac{\cos 2\theta - \cos 2\alpha}{2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha}.$$

Касательные напряжения будут стремиться сдвинуть державку по сечению AB относительно корпуса фрезы. Если суммарная сила трения от напряжений $\sigma_{r(0)}$ больше суммарной сдвигающей силы от касательных напряжений $\tau_{r\theta}$, то державка сместиться не будет. В противном случае при наборе скорости и остановке державка будет сдвигаться по сечению AB .

Определим суммарную силу трения по сечению AB :

$$|P| = 2f \int_0^\alpha \sigma_{r(0)} b R d\theta,$$

где f – коэффициент трения.

Подставив значение $\sigma_{r(0)}$ и произведя интегрирование, получим:

$$|P| = 4F_0 f \left(\frac{1 - \cos \alpha}{2\alpha - \sin 2\alpha} + \frac{a \sin^2 \alpha}{R(2\alpha \cos 2\alpha - \sin 2\alpha)} \right).$$

Определим суммарную сдвигающую силу по сечению AB :

$$|T| = 2 \int_0^\alpha \tau_{r\theta} b R d\theta = \frac{F_0 a}{R}.$$

Если $|T| > |P|$, то державка будет сдвигаться по сечению AB относительно корпуса фрезы.

Выводы

Предлагаемая конструкция фрезы обеспечивает:

- возможность быстрого снятия (в течение до 30 с) и установки сегмента-ножедержателя, в то время, когда корпус фрезы находится на шпинделе. При повороте сегмента на определенный угол радиус окружности резания остается постоянным. Во всех других случаях корпус необходимо снять со шпинделя, что вызывает повреждение сопрягаемых поверхностей между посадочным отверстием фрезы и валом;

- применение одного корпуса фрезы для различных видов обрабатываемых материалов;

- отсутствие необходимости крепления сегмента-ножедержателя в корпусе фрезы;

- возможность самонастраивания инструмента на необходимый угол резания в начале процесса и изменение его в результате потери режущей способности;

- возможные технические характеристики фрезерного инструмента

Диаметр фрезы, мм	80–200 и более
Диаметр посадочного отверстия, мм	22, 27, 32, 40, 50
Ширины фрезы, мм	40–130
Число резцов	2, 3, 4
Предельная частота вращения, с ⁻¹	400

Обозначения

δ – угол резания; b – толщина сегмента-ножедержателя; a – расстояние от центра вращения сегмента-ножедержателя до точки приложения силы; F – сила, действующая на сегмент-ножедержатель; β – угол наклона действия силы; α – секторный угол; Θ – тянущий угол; r – тянущий радиус; σ_θ – касательное напряжения; σ_r – радиальное напряжения; R – радиус сопрягаемых поверхностей сегмента-ножедержателя и корпуса фрезы; τ – касательные напряжения.

Литература

1. Морозов, В. Г. Дереворежущий инструмент: справочник / В. Г. Морозов. – М.: Лесн. промышленность, 1988, – 344 с.
2. ГОСТ 14956–79, фрезы деревообрабатывающие насадные цилиндрические сборные.
3. А. С. № 666080 (СССР). Цилиндрическая фреза / БТИ; Авт. изобрет. А. П. Клубков и др. – БИ, 1979, № 21.
4. Каталог фирм: Leitz, Leuco, Guhtho, Stehle, Freud, 2005–2006.
5. Все об инструменте // Информационный материал фирмы «Вайнинг», 2005.

6. Клубков, А. П. Гришкевич, А. А. Сборная фреза с поворотными и быстросъемными сегментами / А. П. Клубков, А. А. Гришкевич. Деревообрабатывающая промышленность, 1994. – № 4. – 17 с.

7. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и прочности / Н. И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.

Grishkevich A., Makarevich S. S., Klubkov A. P., and Anikeenko A. F.

Use of force effects on members of inserted-blade milling cutter when developing reflector self-adjusting tools.

The paper presents theoretical calculations justifying the use of force effects on members of inserted-blade milling cutter or tool carriers providing the self-adjustment of cutters at the required cutting angle without applying any fixturing.

Поступила в редакцию 12.05.2006.

© А. А. Гришкевич, С. С. Макаревич, А. П. Клубков, А. Ф. Аникеенко, 2007.