

УДК 674.055:621.914.2

ФРЕЗЕРНЫЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ УГЛАМИ РЕЗАНИЯ И УСЛОВИЕ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Гришкевич А. А., канд. техн. наук, доцент; Вихренко В. С., доктор физико-математ. наук, профессор; Гаранин В. Н., канд. техн. наук, доцент; Аникеенко А. Ф., канд. техн. наук, старший преподаватель (Белорусский государственный технологический университет, г. Минск)

В статье рассмотрена новая конструкция адаптивного фрезерного инструмента, имеющая возможность изменять угол наклона кромки, передний и задний углы, а также угол наклона в радиальном направлении (переход цилиндрического на коническое фрезерование).

Сегментный узел, на котором крепится нож, имеет три степени свободы относительно корпуса фрезы. Основной проблемой при эксплуатации инструмента с подвижными элементами является фиксация движущихся частей во время разгона. С целью определения условий устойчивой его работы на этапах разгона и торможения фрезы или в процессе резания требуется исследование распределения действующих на него сил, включая силы инерции. Установлено, чем ниже угловая скорость разгона инструмента, тем больше времени требуется сдерживать сегментный узел от смещения относительно корпуса инструмента и поэтому для фиксации сегментного узла необходимо предусматривать механизм, предотвращающий в момент разгона смещение ножей относительно выставленных положений. В результате расчетов была получена зависимость минимально допустимого коэффициента трения в процессе разгона фрезы.

Обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. Получение при этом продукции установленного качества согласно нормативно-технической документации с одновременным снижением энергетических затрат является и сегодня насущным вопросом для научных исследований. В этом направлении в настоящее время ведутся работы на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов и уже разработана новая конструкция фрезы сборной, которая позволяет вести исследовательские работы благодаря возможности в конструкции инструмента изменять положение ножа относительно оси вращения (угол наклона кромки λ) и изменять передний и задние углы [1].

Рассматриваемая фреза (рисунок 1) позволяет уменьшить составляющие силы резания, повысить суммарную стойкость инструмента, устранить сколы на обработанной поверхности.

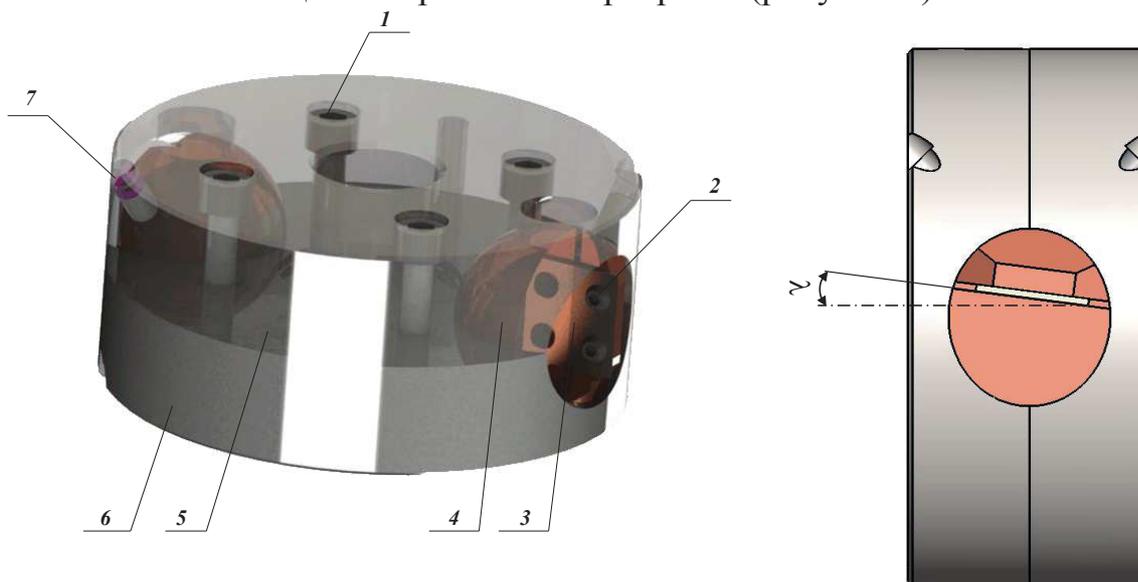
Однако, как указывалось в [1], конструкция инструмента требует доработки, что ведет к необходимости проведения дополнительных

теоретических расчетов, особенно в режимах ее разгона и торможения, которым и посвящена данная работа.

Новая конструкция фрезы (рисунок 1) состоит из крепежных винтов 1, винтов для фиксации ножа 2, ножа 3, сегментного узла 4, на котором крепится нож, являющегося частью шара, и контактирует с корпусом 5,6 по части сферической поверхности. Сегментный узел фиксируется винтами 7. Сегментный узел имеет три вращательных степени свободы относительно корпуса фрезы, что обеспечивает широкие возможности по установке ориентации ножа как для целей научных исследований, так и при использовании в производстве с целью оптимизации процессов обработки заготовок.

С целью определения условий устойчивой работы сегмента на этапах разгона - торможения фрезы или в процессе резания необходимо исследовать распределение действующих на него сил, включая силы инерции. Для этого определим координаты центра тяжести и компоненты тензора моментов инерции сегментного узла в сборе с ножом.

Так как сегментный узел симметричен относительно плоскости деления двух частей корпуса фрезы, делаем разрез по оси симметрии и разбиваем на простейшие фигуры, что позволяет рассчитать положение центра тяжести без использования специализированных программ (рисунок 2).



1 – крепежный винт; 2 – винт для фиксации ножа; 3 – нож; 4 – сегментный узел; 5,6 – левая и правая части корпуса фрезы; 7 – винт для фиксации сегмента; λ – угол наклона кромки.

Рис. 1. Фреза адаптивная сборная с изменяемыми угловыми параметрами

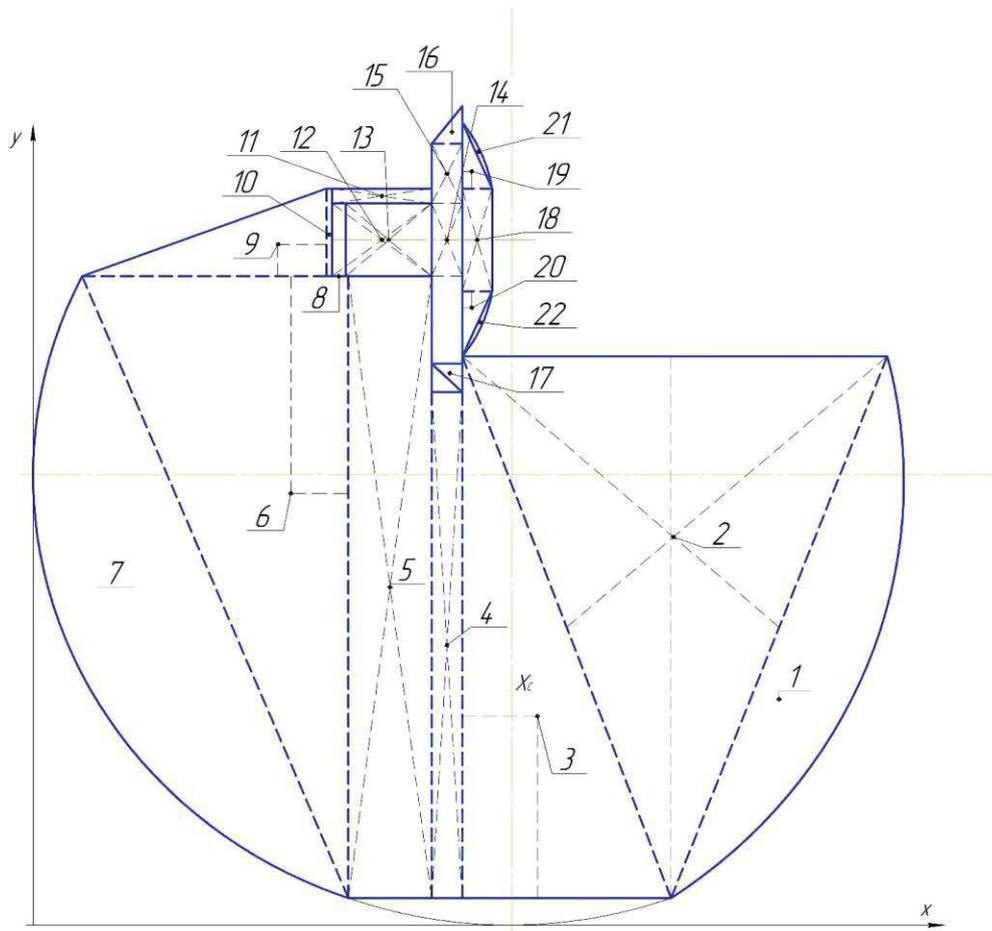


Рис.2. Схема для расчета центра масс системы

Однако более точные результаты можно получить, если воспользоваться одной из таких программ как SolidWorks. Для этого была построена 3D модель сегментного узла и выполнены соответствующие вычисления. Результаты вычислений приведены ниже (рисунок 3). Отметим, что на рисунках расстояния указаны в миллиметрах, тогда как в формулах и в результатах вычислений используются основные единицы системы СИ (кг, м, с).

Основная проблема при эксплуатации инструмента с подвижными элементами – это фиксация движущихся частей во время разгона. При установившейся работе инструмента такая проблема отсутствует, поскольку на сегментный узел действуют большие центробежные (нормальные) силы инерции, обеспечивающие силы трения, достаточные для стабилизации позиционирования всех элементов фрезы.

Центр масс: (мм)

$$X = -0.68$$

$$Y = -3.36$$

$$Z = 0.00$$

Главные оси инерции и главные моменты инерции:

Относительно центра масс.

$$I_x = (0.98, -0.21, 0.00) \quad P_x = 26112.07$$

$$I_y = (0.00, 0.00, -1.00) \quad P_y = 26956.43$$

$$I_z = (0.21, 0.98, 0.00) \quad P_z = 34689.64$$

Момент инерции:

Взято относительно центра масс с привязкой к системе координат тела.

$$\begin{array}{lll} L_{xx} = 26496.34 & L_{xy} = -1774.37 & L_{xz} = 0.11 \\ L_{yx} = -1774.37 & L_{yy} = 34305.38 & L_{yz} = -0.01 \\ L_{zx} = 0.11 & L_{zy} = -0.01 & L_{zz} = 26956.43 \end{array}$$

Момент инерции:

Взято относительно центра масс с привязкой к общей системе координат.

$$\begin{array}{lll} I_{xx} = 28468.77 & I_{xy} = -1303.12 & I_{xz} = 0.11 \\ I_{yx} = -1303.12 & I_{yy} = 34417.97 & I_{yz} = 0.00 \\ I_{zx} = 0.11 & I_{zy} = 0.00 & I_{zz} = 29041.46 \end{array}$$

Рис. 3. Результаты расчетов по программе SolidWorks

Составим расчетную схему сегментного узла (рисунок 4) и зададимся следующими параметрами:

$\omega = 800 \text{ с}^{-1}$ – угловая скорость вращения инструмента;

$\varepsilon = 800 \text{ с}^{-2}$ – угловое ускорения инструмента в режиме разгона;

$m = 0,2 \text{ кг}$ – масса подвижной части.

Во время разгона момент центробежной силы инерции, действующей на сегментный узел, в соответствии с расположением центра масс, стремится повернуть его по ходу часовой стрелки. Поэтому силы трения, предотвращающие этот поворот, должны быть направлены, как указано на рисунке 4.

Предположим, что нормальное давление распределено пропорционально углу, составляемому направлением нормального усилия с горизонтальной осью. Задачу сведем к плоской, а направление результирующего нормального усилия определим интегрированием распределенной нагрузки по углу. Для упрощения расчетов пренебрегаем некоторой асимметрией распределения нормальных реакций в правой и левой частях рисунка 4. Будем полагать, что нормальные реакции N_1 и N_2 составляют с горизонтальной осью одинаковый угол φ в обеих частях рисунка. Вычисления показывают, что $\varphi \cong 10^\circ$. Нормальная Φ_n , касательная Φ_τ силы инерции и момент сил инерции относительно центра масс M_C^Φ определяются по известным соотношениям ($R = 0,05 \text{ м}$ – расстояние центра масс сегментного узла до оси вращения фрезы) [2]:

$$\Phi_n = m a_n = m \omega^2 R, \quad \Phi_\tau = m a_\tau = m \varepsilon R, \quad M_C^\Phi = I_{Czz} \varepsilon. \quad (1)$$

Составим в рамках принципа Даламбера [2] три уравнения динамического равновесия сегментного узла: суммы проекций сил на оси x , y и сумму моментов сил относительно центра сферы, соответственно

$$-\Phi_n \sin \psi - \Phi_\tau \cos \psi - F_{\text{тр}1} \sin \varphi - F_{\text{тр}2} \sin \varphi + N_2 \cos \varphi - N_1 \cos \varphi = 0 \quad (2)$$

где $F_{\text{тр}1}$ и $F_{\text{тр}2}$ – результирующие силы трения, действующие на сегментный узел со стороны опорных поверхностей 5 и 6 корпуса фрезы, Н;

ψ – угол между линией, проходящей через центр тяжести сегментного узла и осью вращения фрезы, и вертикальной осью на рисунке 4;

$$\Phi_n \cos \psi - \Phi_\tau \sin \psi + F_{\text{тр}1} \cos \varphi - F_{\text{тр}2} \cos \varphi - N_2 \sin \varphi - N_1 \sin \varphi = 0 \quad (3)$$

$$-x\Phi_n - y\Phi_\tau + (2/\pi)r(F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2}) + M_C^\Phi = 0, \quad (4)$$

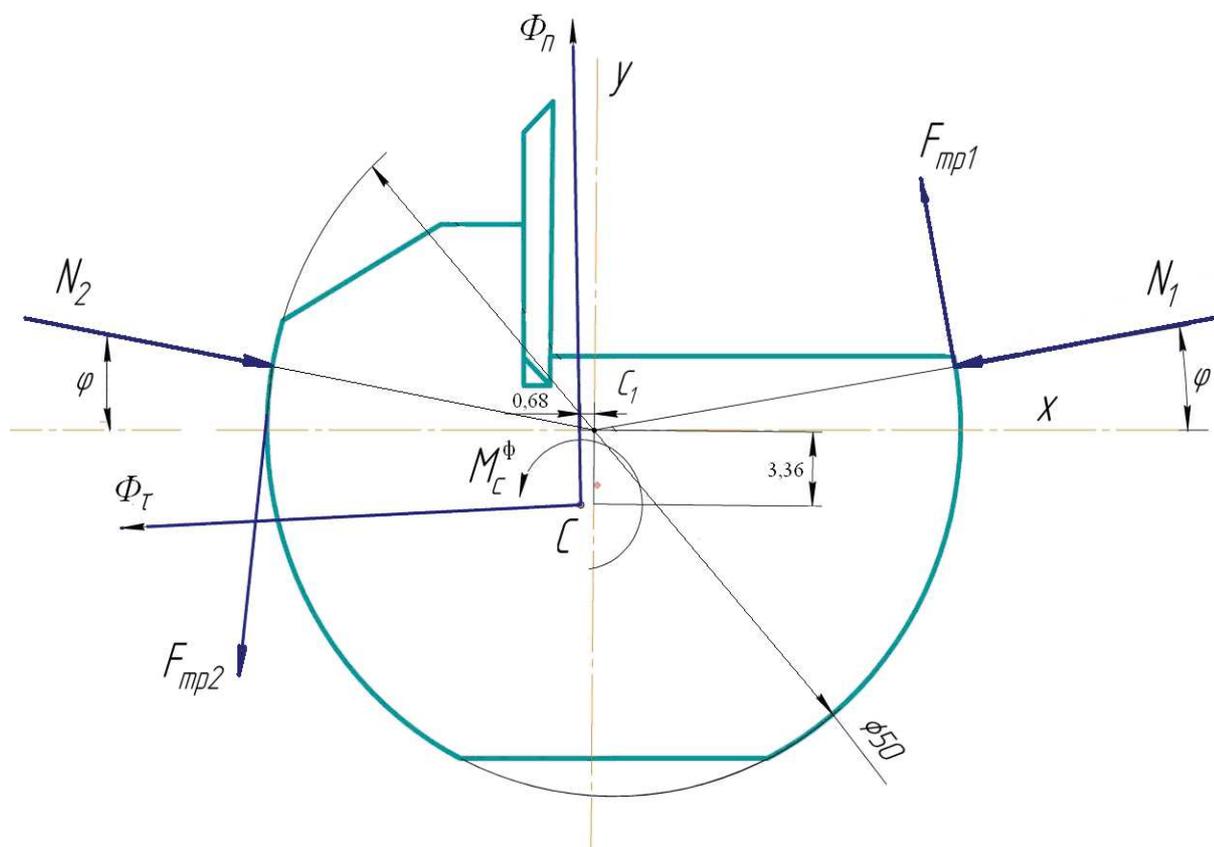


Рис. 4. Схема распределения сил, действующих на сегмент во время разгона фрезы

$R = 0,05$ м – расстояние от оси вращения фрезы до центра тяжести сегментного узла;

$r = 0,025$ м – радиус сферической поверхности сегментного узла;

$x = 0,00068$ м и $y = 0,00336$ м – плечи сил инерции относительно центра масс.

Отметим, что при переходе к плоской модели плечи сил трения относительно оси сферы изменяются от r до нуля, и интегрирование по угловой переменной приводит к появлению множителя $(2/\pi)$ в уравнении (4).

Решая задачу по методу предельного равновесия [2], т. е. полагая, что силы трения достигли своих предельных значений, определим минимальное значение коэффициента трения \bar{f} (для сокращения обозначений в последующих уравнениях фигурирует приведенный коэффициент трения f , отличающийся от действительного множителем $\pi/2$ согласно уравнению (5)), достаточное для обеспечения относительного равновесия сегментного узла в корпусе фрезы:

$$F_{\tau j} = fN_j, \quad f = (2/\pi)\bar{f} \quad j=1,2, \quad (5)$$

где N_j – результирующая нормальная реакция опорной поверхности j , Н.

Используя уравнение (5) в уравнениях равновесия (2) и (3), перепишем последние в виде:

$$(N_2 - N_1) \cos \varphi - f(N_2 + N_1) \sin \varphi = \Phi_n \sin \psi + \Phi_\tau \cos \psi, \quad (6)$$

$$(N_2 + N_1) \sin \varphi + f(N_2 - N_1) \cos \varphi = \Phi_n \cos \psi - \Phi_\tau \sin \psi, \quad (7)$$

решение которых позволяет определить сумму нормальных реакций

$$N_1 + N_2 = \frac{\Phi_n (\cos \psi - f \sin \psi) - \Phi_\tau (\sin \psi + f \cos \psi)}{(1 + f^2) \sin \varphi}. \quad (8)$$

Подставляя полученный результат в уравнение (4) с использованием (5), приходим к уравнению

$$\frac{f}{1 + f^2} \frac{\Phi_n (\cos \psi - f \sin \psi) - \Phi_\tau (\sin \psi + f \cos \psi)}{\sin \varphi} r = x\Phi_n + y\Phi_\tau - M_C^\Phi, \quad (9)$$

которое сводится к квадратному уравнению относительно искомого минимально допустимого значения коэффициента трения

$$f^2 - 2bf + c = 0, \quad (10)$$

где b и c находим по следующим зависимостям:

$$b = \frac{1}{2B} (\varepsilon t^2 \cos \psi - \sin \psi), \quad c = \frac{1}{B} \left(\frac{x}{r} \varepsilon t^2 + \frac{y}{r} - \frac{J_C}{mrR} \right) \sin \varphi, \quad (11)$$

где J_C – момент инерции сегментного узла относительно точки C , кг·м²;

B – коэффициент, который находим по следующей зависимости:

$$B = \left(\frac{x}{r} \sin \varphi + \sin \psi \right) \varepsilon t^2 + \left(\frac{y}{r} - \frac{J_C}{mrR} \right) \sin \varphi + \cos \psi \quad (12)$$

При получении записанных соотношений предполагалось, что разгон фрезы происходит равноускоренно $\omega = \varepsilon t$, $\varepsilon = \omega_{\text{ном}}/\tau$, τ – время разгона, $\omega_{\text{ном}}$ – номинальная угловая скорость вращения фрезы в установившемся режиме.

При положительных значениях коэффициентов b и c в качестве решения уравнения (10) следует принять

$$f = b - \sqrt{b^2 - c} \quad (13)$$

На рисунке 5 показана зависимость от времени минимально допустимого значения коэффициента трения \bar{f} , найденная по уравнению (13) (с учетом (5)), при различных угловых ускорениях на этапе разгона фрезы. Результаты расчетов показывают, что по мере увеличения угловой скорости (пропорционально времени) минимально допустимое значение коэффициента трения асимптотически стремится к пределу 0,0075, что значительно меньше коэффициента трения стали по стали (около 0,1).

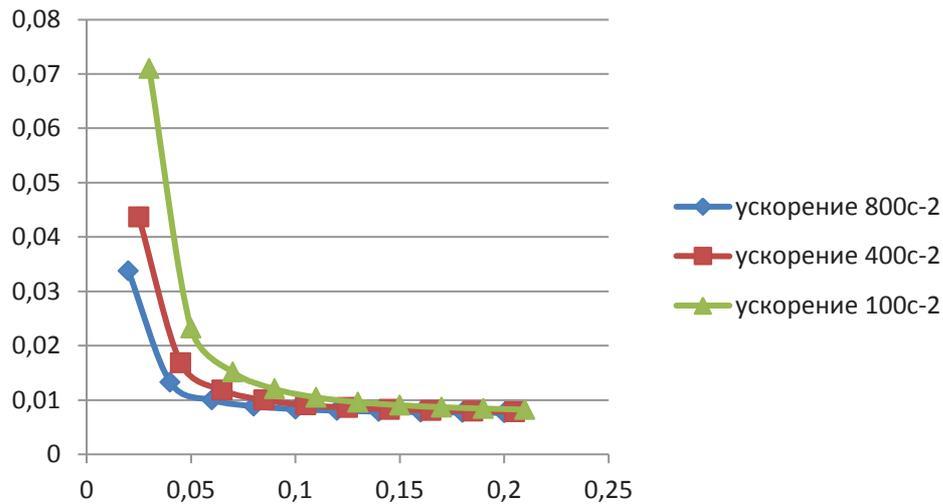


Рис. 5. График зависимости коэффициента трения \bar{f} от времени t

При $b^2 < c$ действительные решения уравнения (13) отсутствуют и при $b^2 - c < 0$ (рисунок 6) в предположении малости коэффициента трения его следует искать согласно выражению

$$f = \frac{c}{2b} = \frac{(x/r)\epsilon t^2 + (y/r) - (J_C / mrR)}{|\epsilon t^2 \cos \psi - \sin \psi|} \quad (14)$$

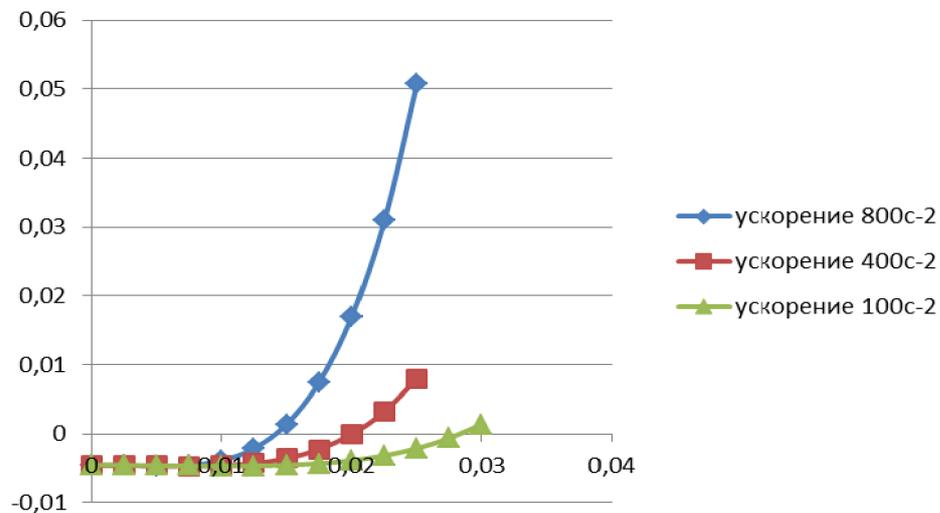


Рис. 6. График зависимости $b^2 - c$ от времени t

Отметим, что условие $b > 0$ выполняется для моментов времени

$$t > \sqrt{\operatorname{tg}\psi / \varepsilon}, \quad (15)$$

При меньших временах после начала разгона фрезы вследствие действия момента сил инерции M_c^Φ силы трения будут действовать противоположно указанным на рисунке 4 направлениям.

Поскольку решение уравнения (10) приводит к значениям коэффициента трения, значительно меньшим единицы, то можно пренебречь слагаемым f^2 в этом уравнении, и для любых моментов времени определять коэффициент трения по соотношению (14).

Таким образом, для фиксации сегментного узла необходимо предусматривать механизм, предотвращающий в момент разгона смещение ножей относительно выставленных положений. Причем, как видно из графика на рисунке 6, чем ниже угловая скорость разгона инструмента, тем больше времени требуется сдерживать сегментный узел от смещения относительно корпуса инструмента.

Выводы: В результате расчетов была получена зависимость минимально допустимого коэффициента трения в процессе разгона фрезы. Полученные результаты показали, что при не слишком малых временах с начала разгона коэффициент трения порядка 0,1, характерный для сопрягаемых стальных деталей, надежно обеспечивает фиксацию сегментного узла относительно корпуса фрезы. При малых временах возникающие силы инерции не велики, и для обеспечения фиксации узла достаточно использовать одно из простейших фиксирующих приспособлений, например, один или два винта небольшого сечения.

Список литературы

1. Гришкевич, А.А. Особенности фрезерного сборного инструмента с изменяемыми углами: передним и наклона режущей кромки // А.А. Гришкевич, А.Ф. Аникеенко, В.Н. Гаранин // Труды БГТУ. – 2014. – Сер II (166): Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 175-177.

2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для вузов. – 12-е изд., стер – М.: Высш. Шк., 1998. – 416 с.

Аннотация

ФРЕЗЕРНЫЙ ДЕРЕВОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ УГЛАМИ РЕЗАНИЯ И УСЛОВИЕ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Гришкевич А. А., Вихренко В. С., Гаранин В. Н., Аникеенко А. Ф.

В статье рассмотрена новая конструкция адаптивного фрезерного инструмента, имеющая возможность изменять угол наклона кромки, передний и задний углы, а также угол наклона в радиальном направлении (переход цилиндрического на коническое фрезерование). Сегментный узел, на котором

крепится нож, имеет три степени свободы относительно корпуса фрезы. Основной проблемой при эксплуатации инструмента с подвижными элементами является фиксация движущихся частей во время разгона. С целью определения условий устойчивой его работы на этапах разгона и торможения фрезы или в процессе резания требуется исследование распределения действующих на него сил, включая силы инерции. В результате расчетов была получена зависимость минимально допустимого коэффициента трения в процессе разгона фрезы.

Abstract

THE MILLING WOODCUTTING TOOL WITH CHANGEABLE ANGLES OF CUTTING AND THE CONDITION OF ITS WORKING CAPACITY

Grishkevich A. A., Vikhrenko V. S., Garanin V. N.

The article deals with a new design of the adaptive milling tool having the ability to change the edge inclination, the cutting and back angles, and the edge inclination in the radial direction (transition from cylindrical to conic milling). Segment assembly on which the blade is fixed has three degrees of freedom relative to the mill body. The main problem when operating the instrument with moving parts is to fix the moving parts during acceleration. For the purpose of determining the conditions of its stable operation during acceleration and deceleration of the mill or cutting process the study of the distribution of acting forces, including inertia forces is required. The dependence of the minimum coefficient of friction during acceleration of the mill was obtained on the basis of calculations.

УДК 629.1.01

ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ НАПІВПРИЧЕПУ

Калінін Є.І., к.т.н., доцент, Шуляк М.Л., к.т.н., доцент,
Поляшенко С.О., к.т.н., доцент

*Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка*

В роботі розглядається питання про вплив наявності підвіски напівпричепу на характер його коливань. Проведений порівняльний аналіз схем з урахуванням підвіски та без неї.

Вступ. Опис процесу кочення еластичного колеса за допомогою рівнянь статички і витрат потужності не дозволяють отримати повного уявлення про