

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ УСТОЙЧИВУЮ РАБОТУ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С АДАПТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь

Представлена расчетная модель фрезерного инструмента с адаптивными свойствами с учетом изменения углов в пространстве. На основании ранее выполненных расчетов в плоскости, в работе предлагается использование углов Эйлера с центром координат сетки, находящемся на оси вращения инструмента. Предложенная модель позволяет определять реакцию связи корпуса инструмента с подвижным сектором и изучать особенности взаимодействия адаптивного инструмента с обрабатываемым древесным материалом.

The calculated model of milling tool with adaptive properties adjusting the angles in space is presented. On the basis of earlier settlements in the plane, the the Euler angles from the grid coordinates of the center, located on the axis of the instrument is offered. The proposed model allows to determine the reaction of the body due to the movable tool sector and study the characteristics of the adaptive interaction tool with the processed wood material.

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. С этой целью была разработана 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 (рис. 1) позволяет уменьшить составляющие силы резания, повысить суммарную стойкость инструмента, устранить сколы на обработанной поверхности.

Сегментный узел 1, на котором крепится нож, является частью шара, и контактирует с корпусом 2, 6 по части сферической поверхности. Ввиду этого он 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.

Основная проблема при эксплуатации инструмента с подвижными элементами — это фиксация движущихся частей во время разгона.

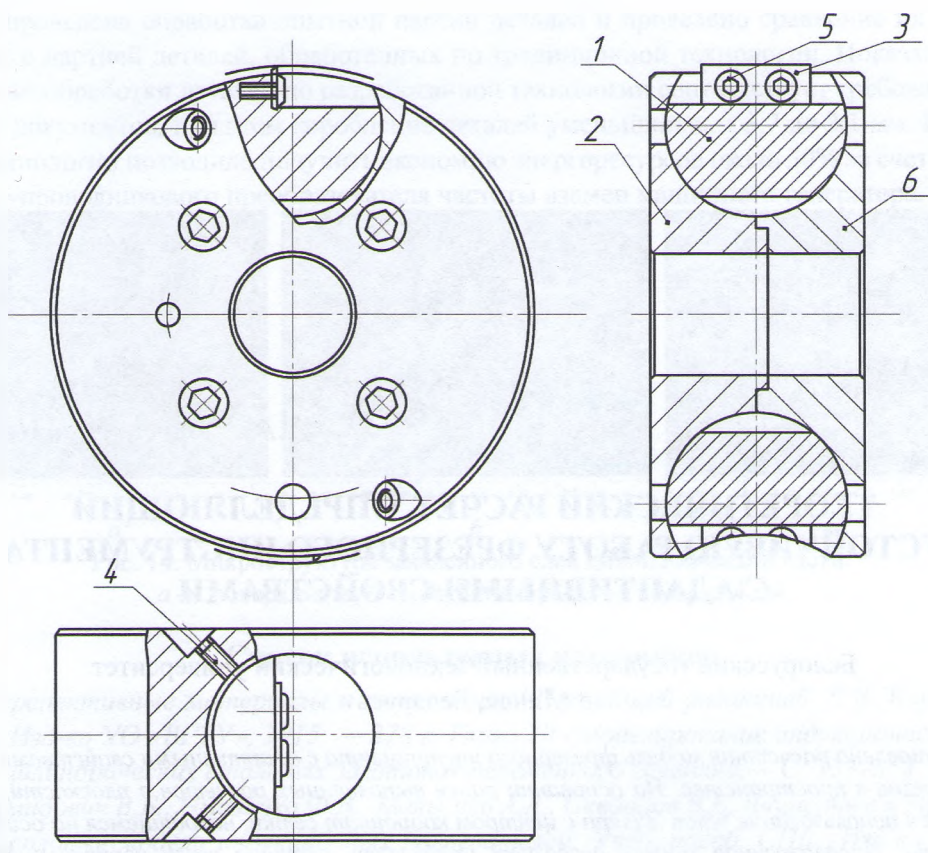


Рис. 1. Фреза сборная с изменяемыми угловыми параметрами:

1 — сегментный узел; 2, 6 — левая и правая части корпуса фрезы; 3 — нож; 4 — винт для фиксации сегмента; 5 — винт для фиксации ножа

В программе **SolidWorks** были получены координаты центра тяжести сегмента и моментов инерции:

center of mass: (millimeters)

$$X = -0.68$$

$$Y = -3.36$$

$$Z = 0.00$$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams*square millimeters).

Taken at the center of mass.

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

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

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

Moments of inertia: (grams*square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$$L_{xx} = 26496.34 \quad L_{xy} = -1774.37 \quad L_{xz} = 0.11$$

$$L_{yx} = -1774.37 \quad L_{yy} = 34305.38 \quad L_{yz} = -0.01$$

$$L_{zx} = 0.11 \quad L_{zy} = -0.01 \quad L_{zz} = 26956.43$$

Moments of inertia: (grams*square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$$I_{xx} = 28468.77 \quad I_{xy} = -1303.12 \quad I_{xz} = 0.11$$

$$I_{yx} = -1303.12 \quad I_{yy} = 34417.97 \quad I_{yz} = 0.00$$

$$I_{zx} = 0.11 \quad I_{zy} = 0.00 \quad I_{zz} = 29041.46$$

Также была составлена расчетная схема сегментного узла (рис. 2):

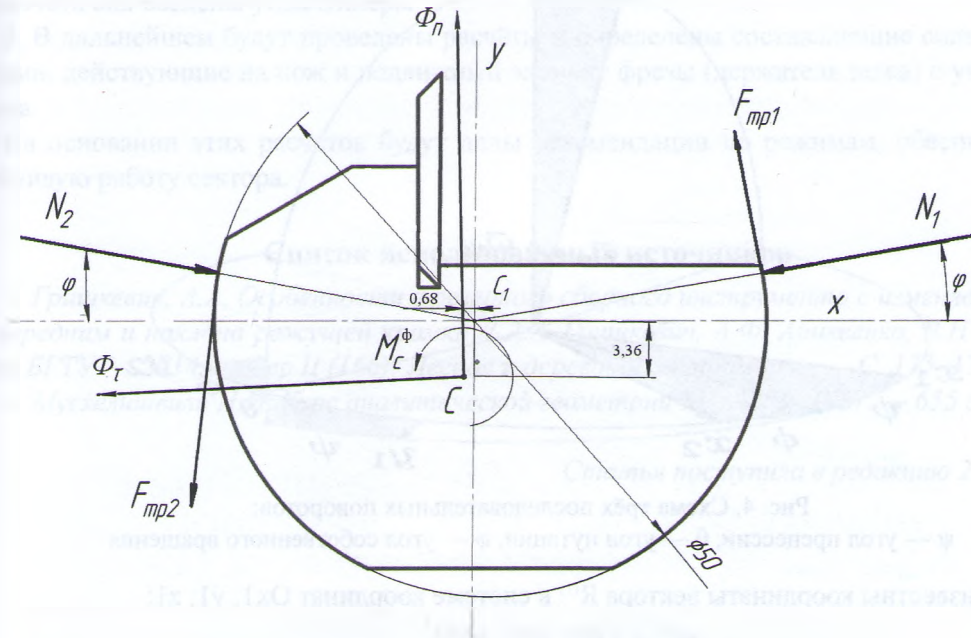


Рис. 2. Схема распределения сил, действующих на сегмент во время разгона фрезы

На рис. 2 представлена расчётная схема в плоской системе координат, но при осевом повороте сектора задача усложняется и появляется необходимость расчёта 3D модели. С этой целью разработана пространственная схема распределения сил (рис. 3).

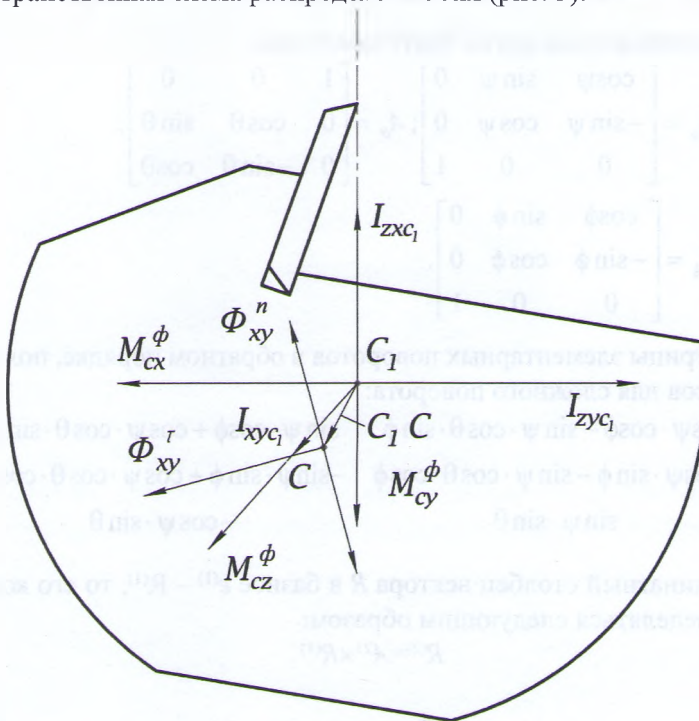


Рис. 3. Схема сил, действующих на подвижный элемент в режиме разгона (торможения)

Для определения этих сил были введены в расчёт углы Эйлера [2]. На рис. 4 приведена схема выполнения трех последовательных поворотов.

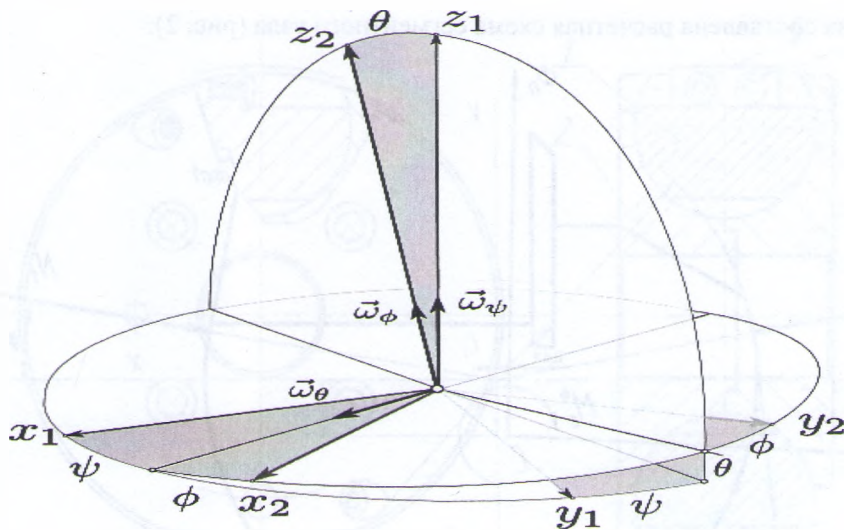


Рис. 4. Схема трёх последовательных поворотов:
 ψ — угол прецессии, θ — угол нутации, ϕ — угол собственного вращения

Пусть известны координаты вектора $R^{(1)}$ в системе координат $Ox_1; y_1; z_1$:

$$R^{(1)} = \{R_x^{(1)}, R_y^{(1)}, R_z^{(1)}\}^T$$

Найдем координаты этого вектора в системе $Ox_1; y_1; z_1$, зная углы Эйлера. Для этого построим матрицы трех поворотов, последовательно преобразующих координаты вектора:

$$R^{(1)} \rightarrow R' = A_\psi \cdot R^{(1)} \rightarrow R'' = A_\theta \cdot R' \rightarrow R^{(2)} = A_\phi \cdot R''$$

Матрицы элементарных поворотов будут иметь вид:

$$A_\psi = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix};$$

$$A_\phi = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Перемножая матрицы элементарных поворотов в обратном порядке, получим матрицу направляющих косинусов для сложного поворота:

$$A^{21} = A_\phi \cdot A_\theta \cdot A_\psi \cdot \begin{bmatrix} \cos\psi \cdot \cos\phi - \sin\psi \cdot \cos\theta \cdot \sin\phi & \sin\psi \cdot \cos\phi + \cos\psi \cdot \cos\theta \cdot \sin\phi & \sin\theta \cdot \sin\phi \\ -\cos\psi \cdot \sin\phi - \sin\psi \cdot \cos\theta \cdot \cos\phi & -\sin\psi \cdot \sin\phi + \cos\psi \cdot \cos\theta \cdot \cos\phi & \sin\theta \cdot \cos\phi \\ \sin\psi \cdot \sin\theta & -\cos\psi \cdot \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Если известны координатный столбец вектора R в базисе $e^{(1)} - R^{(1)}$, то его координаты в базисе $e^{(2)} - R^{(2)}$ будут определяться следующим образом:

$$R^{(2)} = A^{21} \times R^{(1)}$$

Выводы:

1. С целью более достоверного решения задачи по устойчивой работе ножа, жестко зафиксированного на подвижном держателе, следует рассматривать пространственную схему распределения сил.

2. Для определения сил, действующих на сегмент инструмента, разработана 3D модель и для расчёта сил введены углы Эйлера.

3. В дальнейшем будут проведены расчёты и определены составляющие силы резания и инерции, действующие на нож и подвижный элемент фрезы (держатель ножа) с учётом углов Эйлера.

На основании этих расчетов будут даны рекомендации по режимам, обеспечивающим устойчивую работу сектора.

Список использованных источников

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

2. Мухелишвили Н.И. Курс аналитической геометрии М. : МГУ, 1967. — 655 с.

Статья поступила в редакцию 21.04.2016 г.