

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Выполнено моделирование и анализ влияния геометрических параметров режущего инструмента на составляющие силы резания при торцовом фрезеровании. Разработанная комплексная модель позволяет учесть и проанализировать влияние геометрических, технологических и эксплуатационных параметров процесса резания на силы резания при черновом фрезеровании плоскостей с большим вылетом инструмента.

Определение оптимальных конструктивных и геометрических параметров режущих инструментов, а также режимов резания и стратегий обработки, обеспечивающих минимальный расход энергии на удаление единицы объема материала, осуществляется на основе анализа составляющих сил резания [1].

Методы модального и динамометрического анализа процессов механической обработки применяются в конкретных условиях производства для измерения сил в процессе резания [2]. Но на этапе конструирования и выбора оптимальной геометрии режущего инструмента применяется довольно редко. Наиболее эффективным является математическое моделирование процесса с учетом всех геометрических и технологических особенностей [3]. Поэтому общий случай резания требует дополнительной конкретизации с целью получения адекватной математической модели для каждого отдельного вида обработки поверхностей.

Для случая торцового фрезерования при проведении комплексного анализа влияния конструктивных параметров режущего инструмента на процесс резания, а в частности на силы резания, может быть использована механистическая модель косоугольного резания. На рисунке 1 изображена типичная схема расчета сил резания при косоугольном резании.

Схема представляет собой общий случай резания при неподвижном резце и заготовке движущейся в направлении подачи. Для определения сил резания используют основные зависимости теории сопротивления материалов с учетом особенностей процесса резания [4]:

$$F_c = \frac{t_s \cdot b \cdot h}{[\cos(q_n + y_n) \cdot \cos q_i \cdot \cos y_i + \sin q_i \cdot \sin y_i] \cdot \cos I \cdot \sin y_n}, \quad (1)$$

где t_s - предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, МПа;

b - ширина стружки, мм;

h - толщина стружки, мм;

I - угол наклона режущей кромки;

g_n - нормальный передний угол;

b_a - угол трения, зависящий от обрабатываемого материала;

q_n, q_i - углы при векторе силы резания;

y_n, y_i - углы при векторе скорости резания.

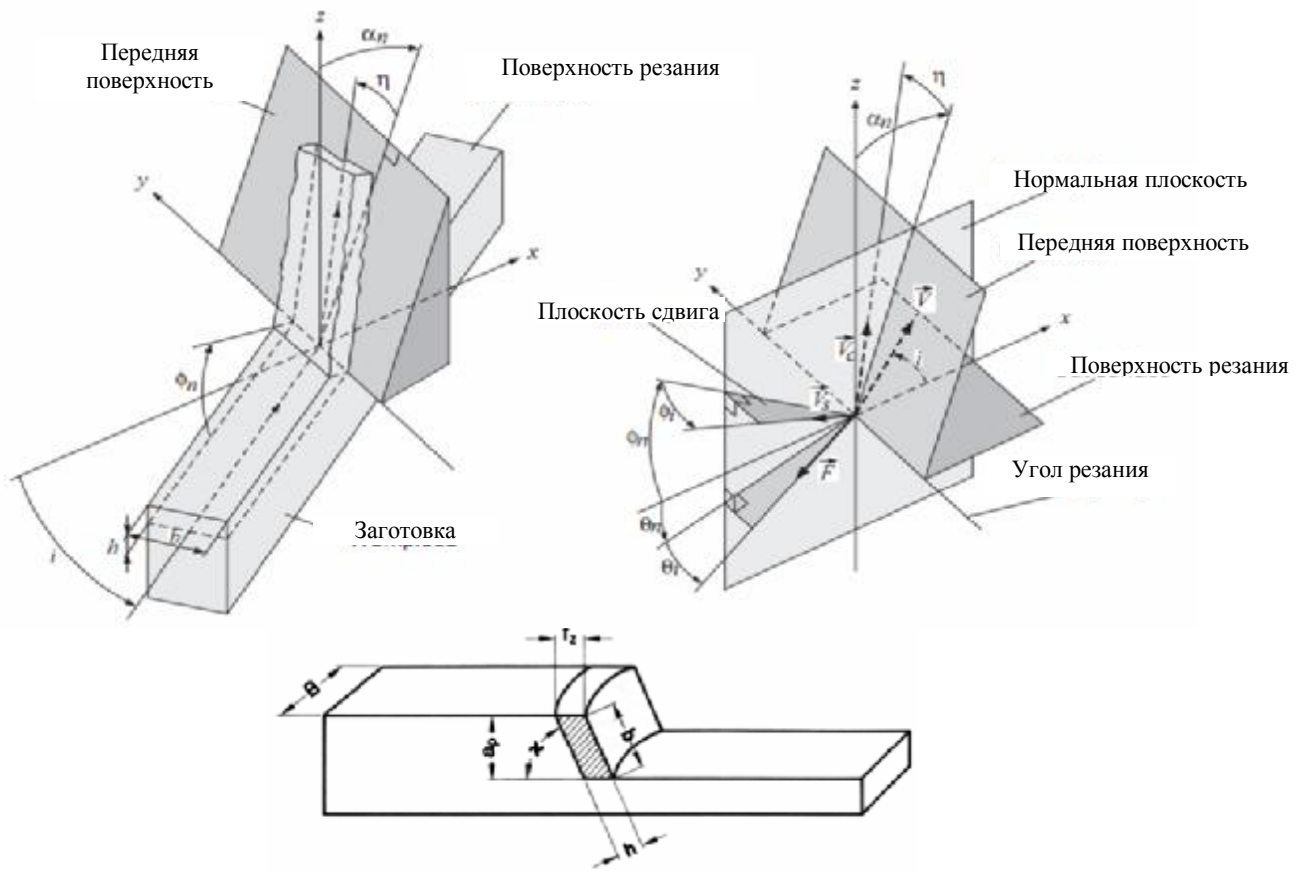


Рис. 1. Схема расчета сил резания при косоугольном резании

Для определения всех углов, показанных на рисунке 1, используется система из пяти уравнений [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin q_i = \sin b_a \cdot \sin h \\ \tan(q_n + g_n) = \tan b_a \cdot \cosh \\ \tan h = \frac{\tan l \cdot \cos(y_n - g_n) - \cos g_n \tan y_i}{\sin y_n}, \\ \sin y_i = \sqrt{2} \cdot \sin y_n \\ \cos(q_n + y_n) = \frac{\tan q_i}{\tan y_i} \end{array} \right.$$

После решения системы определяются пять неизвестных углов, необходимых для расчета силы резания F_c .

Ширина стружки b характеризует длину активной части режущей кромки инструмента.

В случае торцевого фрезерования происходит вращательное движение фрезы при неподвижной заготовке, в данном случае изменяется направление скорости резания и результирующей силы, что показано на рисунке 2.

Для определения проекций силы резания F_c , действующую на пластину с углом наклона режущей кромки l составим систему уравнений:

$$\begin{cases} F_{xi} = F_c \cdot \cos q_i \cdot \cos q_n \\ F_{yi} = F_c \cdot \sin q_n \\ F_{zi} = F_c \cdot \sin q_i \cdot \cos q_n \end{cases}, \quad (3)$$

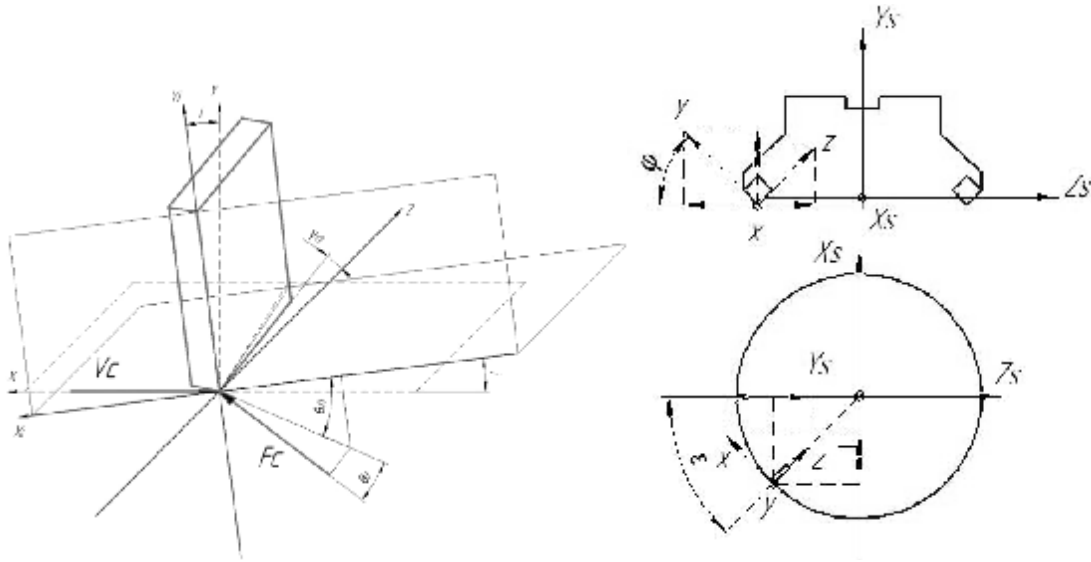


Рис. 2. – Расчетная схема сил резания при торцовом фрезеровании

Для определения проекций силы резания F_c , действующую на пластину с углом наклона режущей кромки I на оси ортогональной системы координат x, y, z , запишем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} F_x = F_{xi} \cdot \cos I + F_{yi} \cdot \sin I \\ F_y = F_{yi} \cdot \cos I + F_{xi} \cdot \sin I, \\ F_z = F_{zi} \end{cases}, \quad (4)$$

Если главный угол в плане j не равен 90 градусов, необходимо ввести еще одну систему уравнений, для определения составляющих сил резания на основные оси шпинделя

Проекция сил резания на оси шпинделя будут равны:

$$\begin{cases} F_{Xs} = F_x \\ F_{Ys} = F_y \cdot \sin j + F_z \cdot \cos j, \\ F_{Zs} = F_z \cdot \sin j + F_y \cdot \cos j, \end{cases}, \quad (5)$$

Для определения составляющих сил резания в зависимости от угла поворота зуба e , составим следующую систему:

$$\begin{cases} F_x = F_{Xs} \cdot \cos e - F_{Zs} \cdot \sin e \\ F_y = F_{Ys} \\ F_z = F_{Zs} \cdot \cos e - F_{Xs} \cdot \sin e \end{cases}, \quad (6)$$

На основании выведенных зависимостей было разработано программное обеспечение в вычислительном пакете Mathematica 5.2 для моделирования и анализа влияния геометрических параметров режущего инструмента на компоненты силы резания при торцовом фрезеровании [6]. Это комплексная модель позволяющая учесть и проанализировать влияние геометрических, технологических и эксплуатационных параметров процесса резания на силы резания при фрезеровании.

При помощи разработанного программного обеспечения были построены графики зависимостей проекций силы резания F_c на основные оси шпинделя. Расположение осей XYZ показано на рисунке 2. На рисунке 3 представлена зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от переднего нормального угла γ .

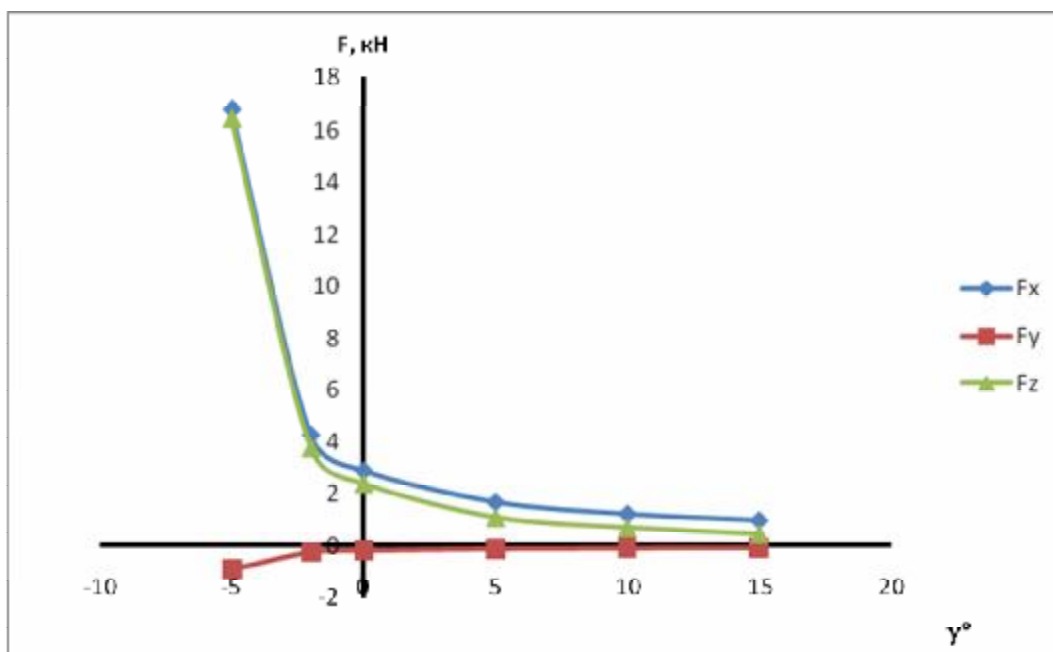


Рис. 3. - Зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от переднего нормального угла γ

Анализ влияния угла γ на силы резания показал, что увеличение переднего угла ведет к уменьшению всех составляющих сил резания. Отрицательный угол не желателен, так как ведет к резкому увеличению сил резания. Следовательно, передний угол следует увеличивать до максимально возможной величины, в зависимости от обрабатываемого материала.

На рисунке 4 представлена зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от угла наклона режущей кромки I .

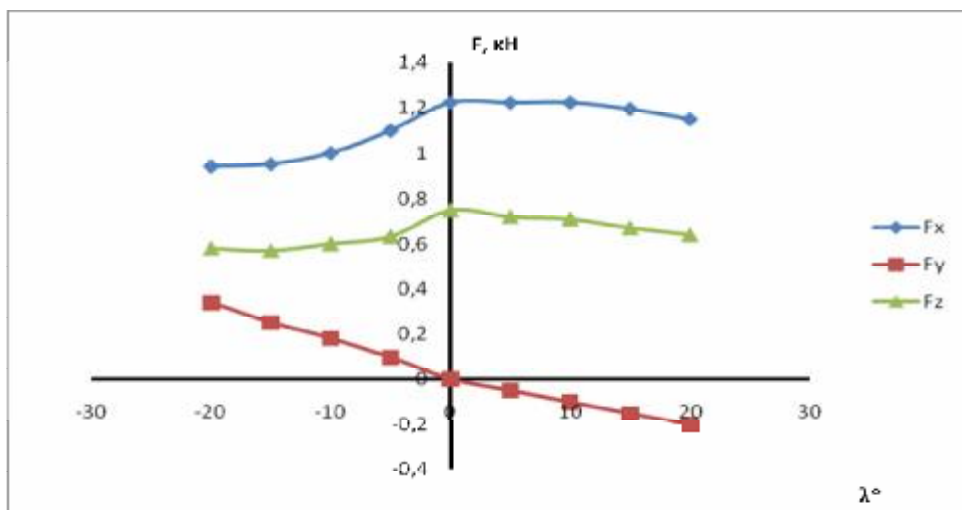


Рис. 4 - Зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от угла наклона режущей кромки λ

Не линейная зависимость сил резания от угла наклона режущей кромки обусловлена сложной геометрией косоугольного резания. Как видно из графика при $\lambda = 0$ осевая составляющая F_y силы резания равна нулю, однако достигают своего максимального значения.

Увеличение угла наклона режущей кромки в положительную либо отрицательную сторону ведет к уменьшению сил резания, поэтому в соответствии с условиями обработки и обрабатываемым материалом для чернового фрезерования угол следует увеличивать, для чистового торцевого фрезерования целесообразно выбирать $\lambda = 0$.

На рисунке 5 представлена зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от переднего нормального угла j .

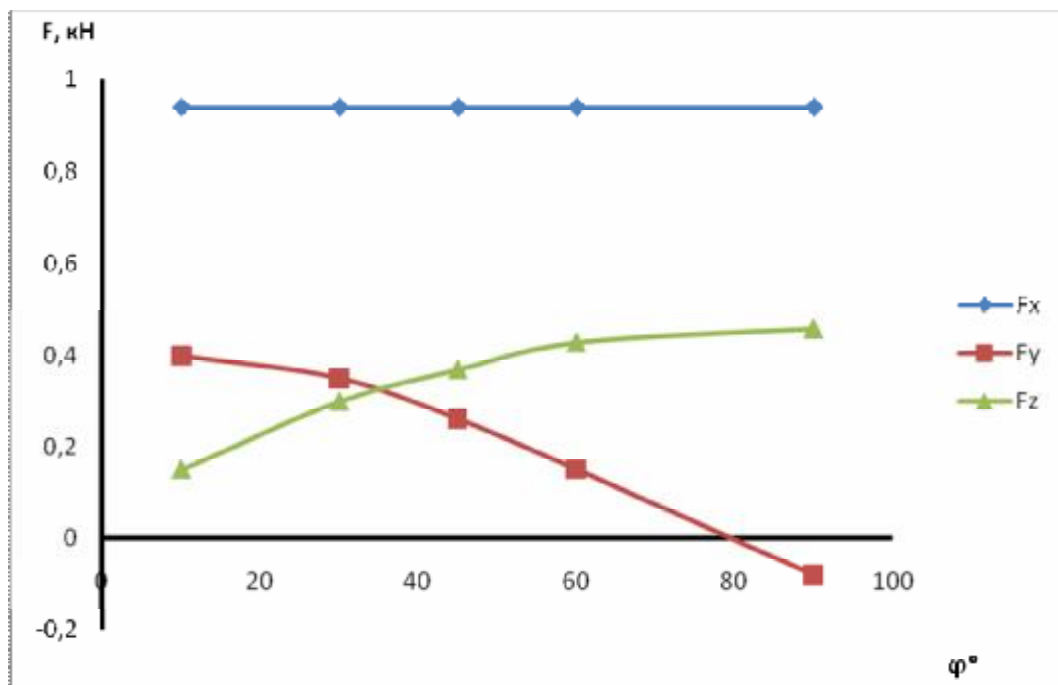


Рис. 5. - Зависимость составляющих силы резания F_x, F_y, F_z от угла в плане j

Из графика видно, что уменьшение угла в плане ведет к перенаправлению составляющих сил резания F_y, F_z , что подтверждает опыт мировых производителей инструмента.

Вывод: Увеличение осевой силы резания F_y и уменьшение F_z за счет уменьшения угла в плане позволяет увеличить максимальную подачу при фрезерной обработке, и соответственно является эффективным решением для черновой обработки или для фрезерования плоскостей с большим вылетом шпинделя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manufacturing automation. Y. Altintas. – Cambridge University Press, 2011. – 476p.
2. Modeling and Prediction of Cutting Forces using a Dynamic Register Cutting Forces in Face Milling Process. A. Rosalez, A. Vizan // European Journal of Scientific Research. – 2012.- Vol.67 No.2. – p.237-246.
3. Modeling and optimization of milling process. M. Yazdi , A.Khoram // International Journal of Engineering and Technology.-2010. - Vol.3,No.5 – p.124-137.
4. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. – М.: Машиностроение, 2009. – 640с.
5. Баранчиков В.И., Жариков А.В. Прогрессивный режущий инструмент и режимы резания металлов. – М.: Машиностроение, 1990. – 427с.
6. Голубева Л.Л., Малевич А.Э., Щеглова Н.Л. Компьютерная математика. Символьный пакет Mathematica: курс лекций. – Минск: БГУ, 2005. – 103с.