

УДК 624.914

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ РОТАЦИОННОЙ ФРЕЗЫ

С.Д. Сметанин

Условия резания определяются кинематическими углами инструмента. В отличие от большинства традиционных, у ротационных инструментов статические углы существенно отличаются от кинематических. Предложенный способ позволяет определить направление результирующей скорости из геометрических соотношений в соответствии с расчетной схемой, отражающей кинематику ротационного фрезерования. Адекватность разработанной методики оценивалась сравнением получаемых результатов как с существующей методикой В.Ф. Боброва, так и с помощью графических построений в системе автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: ротационное фрезерование, углы инструмента, режущее лезвие.

Геометрия режущих лезвий любого инструмента определяет условия резания, качество протекания процесса и формируемой поверхности, стойкость инструмента и другие параметры. Различают углы инструмента в инструментальной, статической и кинематической системах координат (СК) [1]. Инструментальная СК ориентирована относительно поверхностей инструмента принятых за базу, статическая – относительно направления вектора скорости главного движения, а кинематическая – относительно направления вектора скорости результирующего движения. Положение базовых поверхностей и скорости главного движения известны, а потому определение углов в инструментальной и статической СК не вызывает затруднений. Но условия резания определяются не статическими, а кинематическими углами инструмента. И если у большинства традиционных инструментов статические углы практически не отличаются от кинематических (в силу того, что вектор скорости главного движения практически совпадает с вектором скорости результирующего движения), то у ротационных инструментов различие векторов весьма существенно.

При всех типах традиционного фрезерования главным движением является вращательное движение фрезы, а движение подачи сообщается заготовке. Оба движения всегда действуют в одной плоскости, совпадающей с плоскостью вращения фрезы [2]. Следовательно, результирующее движение резания точек зубьев фрез совершается по траекториям, расположенным в плоскости движения рассматриваемой точки. Траекторией движения резания точек режущей кромки фрезы является плоскостная трахоидальная

кривая, которая и определяет кинематические углы лезвий зубьев фрезы и микрогеометрический профиль обработанной поверхности.

Определение углов режущего лезвия связано с положением его поверхностей (передней и задней) относительно основной и плоскости резания. Такой способ не совсем удобен для анализа геометрии, поэтому в работе [3] нахождение кинематических углов связано с положением некоторых векторов, которые косвенно определяют положение основной и плоскости резания. Методика в этом случае заключается в последовательном проецировании векторов скоростей движений инструментов и направленных отрезков, характеризующих положение поверхностей инструмента. Однако такой способ имеет высокую трудоемкость, связанную с необходимостью нахождения проекций векторов и отрезков в различных плоскостях. Вместе с тем, подход позволяет теоретически точно определить углы инструмента. Авторы методики [4] рассчитывают кинематические углы режущего лезвия путем проецирования на координатные оси векторов, задающих нормали к передней и задней поверхностям. Положение СК находится поворотом на угол, определяемый отношением скоростей главного движения и подачи. Однако методика приведена только для режущего лезвия с плоской передней поверхностью и линейчатой задней поверхностью, расположенной наклонно к поверхности резания под одним и тем же задним углом. В статье [5] геометрические параметры ротационной фрезы используются для нахождения сил резания. Но расчетной точкой режущей кромки является не произвольная, а только работающая на максимальной глубине резания. В исследовании [6] анализируется влияние угла наклона режущего элемента ротационной фрезы на шероховатость поверхности и площадь поперечного сечения стружки. Связь с другими геометрическими параметрами не рассматривается. Кинематическая модель ротационного резания [7] использует взаимосвязь переднего угла и угла схода стружки для нахождения составляющих силы резания. В явном виде величины углов не определяются, а лишь используются в качестве коэффициентов в эмпирических формулах.

Методику [3] можно видоизменить, чтобы находить углы не косвенно, а прямо, как они определяются в действующем стандарте [8], т. е. кинематический главный передний угол γ_k – это угол в кинематической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью; кинематический главный задний угол α_k – это угол в кинематической главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и кинематической плоскостью резания; кинематический угол наклона кромки λ_k – это угол в кинематической плоскости резания между режущей кромкой и кинематической основной плоскостью.

Рассмотрим методику определения кинематических углов на примере ротационного фрезерования по первой геометрической схеме резания [9]. Исходная расчётная схема представлена на рис. 1.

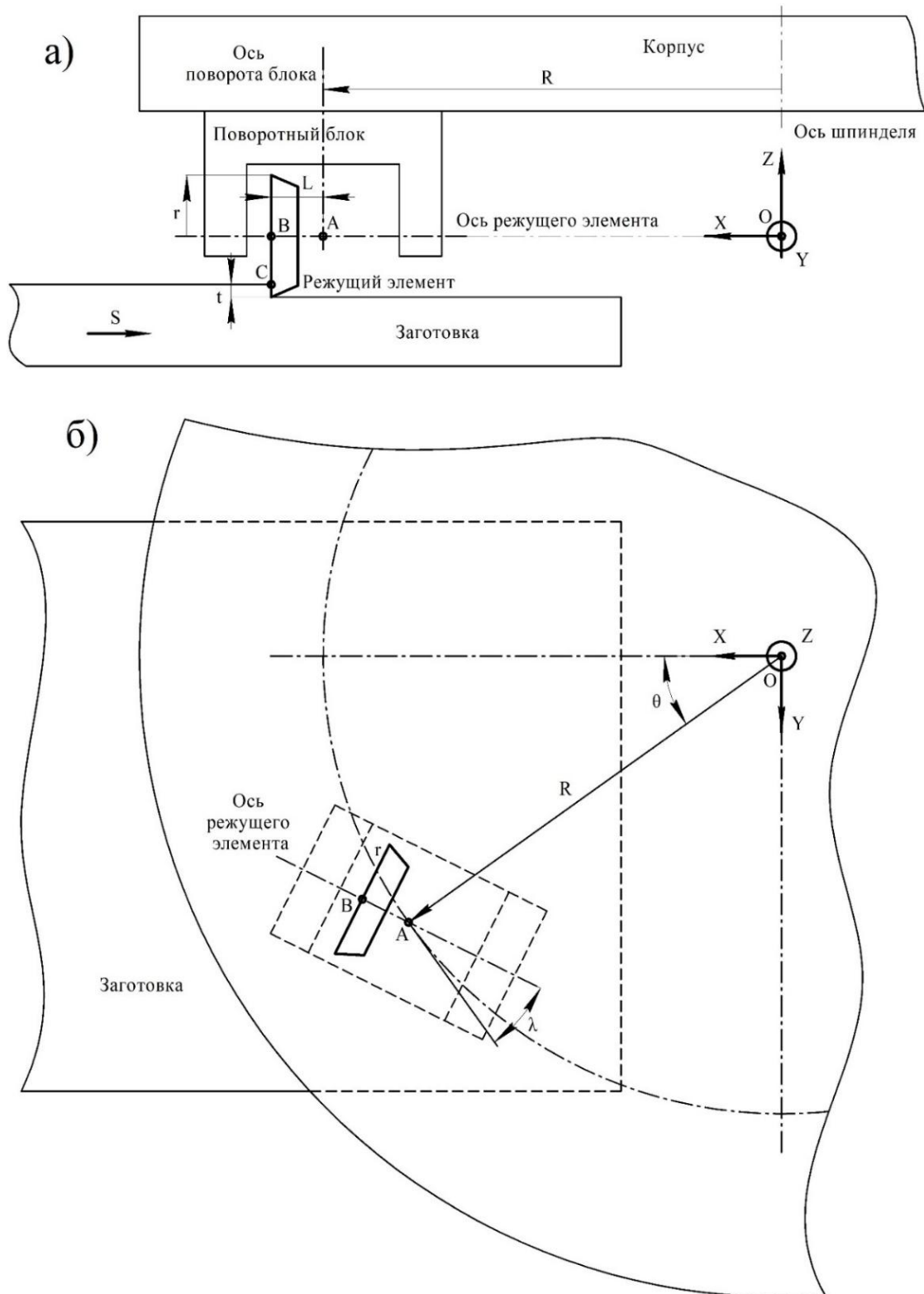


Рис. 1. Схема установки поворотного блока ротационной фрезы

Принципиально ротационная фреза состоит из корпуса и поворотного блока с режущим элементом. Корпус фрезы соосен оси шпинделя станка. Поворотный блок расположен в корпусе на расстоянии R от оси шпинделя и может быть развернут вокруг оси поворота блока на угол λ (рис 1, б). Ось поворота блока (точка A) находится на дуге, эквидистантной дуге контакта. Угловое положение блока относительно направления подачи характеризуется углом θ . Режущий элемент радиуса r в виде усеченного конуса может вращаться вокруг своей оси в поворотном блоке. Торце режущего элемента смещен вдоль оси поворота блока на расстояние L (рис. 1, а). Глубина резания составляет t и определяет расчетную точку C режущего лезвия.

Введем правую декартову СК XYZ , направив ось Z по оси шпинделя вверх, а ось X против направления подачи S . Начало СК – точку O – расположим на пересечении оси шпинделя и оси режущего элемента.

Кинематические углы в рассматриваемой точке C режущего лезвия определяются статическими углами и ее расположением относительно вектора результирующей скорости, находящегося в плоскости резания. Для нахождения кинематических углов удобно определить положение основной плоскости (плоскость резания отстоит от неё на 90°). Основной плоскостью является координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости результирующего движения резания в этой точке (плоскость резания касательна к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярна основной плоскости [8]). Направление результирующей скорости находим из геометрических соотношений в соответствии с расчетной схемой, отражающей кинематику ротационного фрезерования (рис. 2).

Результирующая скорость V_{res} расчетной точки C режущего элемента складывается из трех скоростей: скорости V_n , (вращение корпуса фрезы с частотой n), скорости подачи V_S и скорости вращения режущего элемента V_r . Величины скоростей V_n и V_S примем известными. Тогда в соответствии с исследованиями [3]:

$$V_r = V_n \cdot \sin \lambda / k,$$

где k – коэффициент относительного проскальзывания режущего элемента по заготовке при его самовращении.

Результирующая скорость является векторной величиной, поэтому помимо величины необходимо знать ее направление, которое определяется направлением составляющих скоростей. Зная направляющие вектора составляющих скоростей можно найти уравнение плоскости резания, т. е. плоскости CFH . В соответствии с определением кинематического угла наклона кромки [3] и его положения на расчетной схеме (рис. 2, а), угол λ_k

можно записать как угол между прямой \overline{CF} и плоскостью, перпендикулярной прямой CH . Используя уравнение плоскости резания, запишем:

$$\lambda_k = 90 - \arccos \left(\frac{x_{CF}x_{CH} + y_{CF}y_{CH} + z_{CF}z_{CH}}{V_r^2 \sqrt{x_{CH}^2 + y_{CH}^2 + z_{CH}^2}} \right).$$

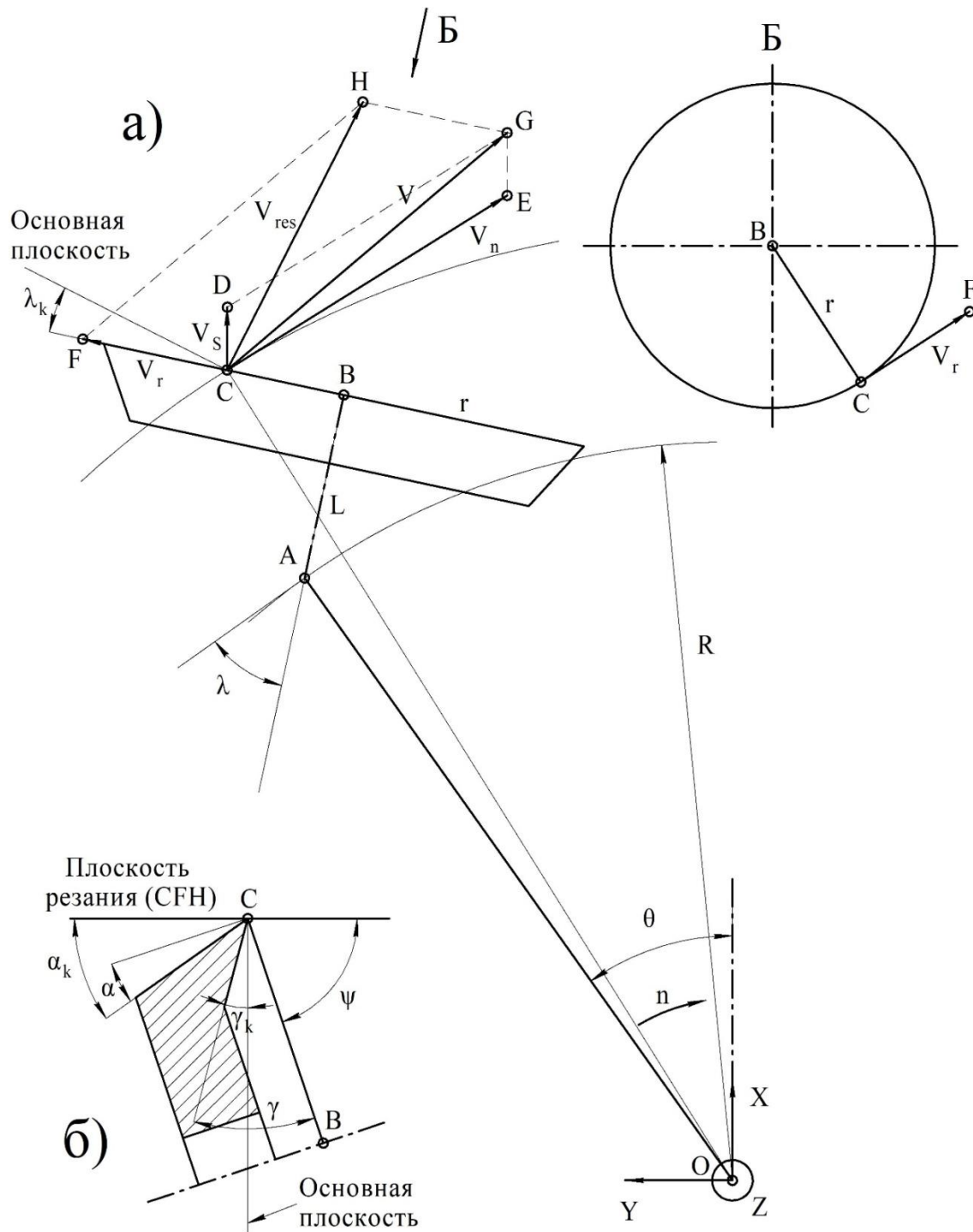


Рис. 2. Расчетная схема определения геометрических параметров

Для вычисления кинематических переднего и заднего углов необходимо знать положение режущего клина относительно плоскости резания, которое можно определить прямой СВ (рис. 2, б), перпендикулярной к оси режущего элемента. Тогда можно найти угол ψ как угол между плоскостью резания CFH и прямой СВ. Кинематические передний и задний углы в расчетной точке С с учетом угла ψ равны соответственно:

$$\gamma_k = \psi + \gamma - 90;$$

$$\alpha_k = 90 + \alpha - \psi,$$

где γ – статический передний угол; α – статический задний угол.

Для оценки адекватности разработанной методики сравним получаемые результаты с расчетом по методике [3]. Исходные данные: $r = 20$ мм; $R = 150$ мм; $L = 0$; $S = 0,4$ мм/об; $\beta = 0$; $\theta = 30^\circ$; $k = 1$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $t = 3$ мм; $\lambda = 15; 30; 45; 60; 75^\circ$. Результаты расчётов приведены в таблице.

Таблица

Сравнение методик определения величины кинематических углов

λ	По разработанной методике			По методике В.Ф. Боброва [3]			Расхождение, %		
	α_p	γ_p	λ_p	α_p	γ_p	λ_p	α_p	γ_p	λ_p
75	67,89	-42,89	15,2	67,83	-43,52	14,92	0,09	1,45	1,88
60	48,66	-23,66	12,5	48,88	-24,52	12,06	0,45	3,5	3,65
45	35,6	-10,6	9,36	35,78	-11,12	8,9	0,49	4,68	5,17
30	25,71	-0,71	6,2	25,87	-0,98	5,95	0,61	27,3	4,2
15	17,5	7,5	3,09	17,6	7,53	2,87	0,59	0,34	7,66

Как видим, относительное расхождение для всех значений кроме одного не превышает 10 %. При этом наибольшее расхождение по абсолютной величине менее 0,3 градуса. Такие результаты вполне допустимы в технике и говорят о высокой сходимости обоих методов. Следовательно, разработанная методика адекватна и обеспечивает достаточную степень точности определения рабочих углов.

Другим способом оценки результата может быть сравнение его с результатами, полученными с помощью прямого графического моделирования в системе автоматизированного проектирования Creo Parametric. В настоящее время точность графических методов определяется настройками программы (точности отображения) и является очень высокой. Определим графическим методом рабочие углы инструмента при следующих параметрах: $r = 20$ мм; $R = 150$ мм; $L = 0$; $S = 0,4$ мм/об; $\beta = 0$; $\theta = 30^\circ$; $k = 1$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $t = 3$ мм; $\lambda = 15^\circ$. Получили $\lambda_p = 3,09^\circ$; $\alpha_p = 17,496^\circ$;

$\gamma_p = 7,504^\circ$, что также очень близко к результатам, полученным по разработанной методике (см. табл.).

Таким образом, разработанная методика является универсальной для любого пространственного положения расчетной точки режущей кромки инструмента, не требует выполнения косвенных расчетов и проецирования векторов и отрезков поверхностей, даёт адекватные результаты.

Библиографический список

1. Резание металлов. Режущий инструмент: учебное пособие / В.М. Кишуров, Н.К. Криони, В.В. Постнов, П.П. Черников. – М.: Машиностроение, 2009. – 492 с.
2. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
3. Бобров, В.Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В.Ф. Бобров, Д.Е. Иерусалимский. – М.: Машиностроение, 1972. – 112 с.
4. Петрушин, С.И. Оптимальное проектирование формы режущей части лезвийных инструментов: учебное пособие / С.И. Петрушин, И.М. Бобрович, М.А. Корчуганова. – Томск: ТПУ, 1999. – 91 с.
5. Baro, P.K. Modeling of cutting forces in a face-milling operation with self-propelled round insert milling cutter / P.K. Baro, S.S. Joshi, S.G. Kapoor // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2005. – Vol. 45. – Pp. 831–839.
6. Dabade, U.A. Analysis of surface roughness and chip cross-sectional area while machining with self-propelled round inserts milling cutter / U.A. Dabade, S.S. Joshi, N. Ramakrishnan // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 132. – Pp. 305–312.
7. Force prediction in cutting operations with self-propelled rotary tools considering bearing friction / N. Suzuki, T. Suzuki, R. An, K. Ukai, E. Shamoto, Y. Hasegawa, N. Horiike // Procedia CIRP. – 2014. – Vol. 14. – Pp. 125–129.
8. ГОСТ 25751–83 Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 25 с.
9. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь. – Мн.: Наука и техника, 1972. – 272 с.

[К содержанию](#)