# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ РЕЗЦОВ С ПЛАСТИНАМИ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

**Проволоцкий А. Е., Лещенко А. И.** (*ДМА, г. Днепропетровск, ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)*

*In work the definition of effective length cutting edge of cutters with plate of the round form is considered, at which the forward and back corners are formed by an inclination of a basic surface of a jack under a plate. The formulas for account of limiting meanings of corners of a cutter dynamically varied are received during cutting.*

В настоящее время мировой рынок предлагает широкий спектр режущих пластин отличающихся по форме и физико-механическим свойствам. В таблицах основных характеристик пластин приводятся данные обрабатываемых материалов, статическая геометрия пластины, ее период стойкости при оптимальных режимах резания. Вместе с тем недостаточно информации в отношении применяемости пластин указанной формы для обработки поверхностей с геометрией определенной кривизны. Можно сказать, что не указываются предельные угловые параметры резца, динамически изменяющиеся в процессе резания, когда режущая кромка пластины и поверхность резания находятся в состоянии перемещения по траектории результирующего движения, в соответствии с принятой кинематической схемой резания.

Целью данной работы, является определение эффективной длины режущей кромки резцов с пластинками круглой формы, у которых передний и задний углы образуются наклоном опорной поверхности гнезда под пластину. Впервые пластины этого типа, с углом заострения 90° ввела в ассортимент фирма Sandvik Coromant - признанный лидер в развитии высокопроизводительных режущих пластин. Стандарт ISO 242:1975 определяет понятие допустимой эффективной длины режущей кромки пластины в зависимости от формы и размеров режущей пластины, а также типа инструмента, в котором она установлена. При этом не указываются пределы возможных изменений кинематических углов резца вдоль режущей кромки.

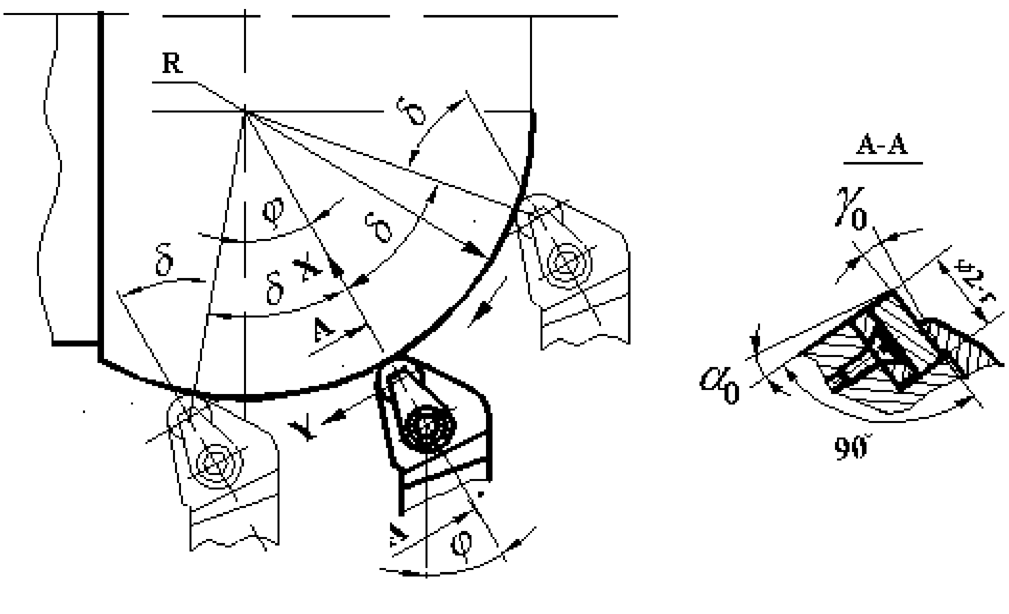


Рис. 1. Обработка фасонной поверхности резцом с круглой пластиной, отогнутым на угол $\varphi$

Схемы образования кинематических углов, переднего и заднего, для резцов с прямолинейной режущей кромкой хорошо изучены [1] и рассматриваются в прямоугольной системе координат как результат относительного перемещения заготовки и инструмента с момента, когда лезвие инструмента вступает в контакт с металлом заготовки до момента, когда этот контакт прекращается.

Теория проектирования призматических и круглых резцов [3], работающих с радиальной подачей, дает детальный анализ кинематических углов при обработке фасонных поверхностей, с точки зрения погрешности формообразования.

Рассмотрим обработку тороидальной поверхности (рис. 1) радиуса $R$ резцом отогнутым на угол $\varphi$, с круглой пластинкой для которого передний и задний углы резца в статике равны $\alpha_0 = \gamma_0$. В радиальном сечении А-А, плоскость которого построена под углом $\varphi$ и совпадает с осевой плоскостью резца, динамические и статические углы равны. В процессе формообразования режущая кромка пластины контактирует по дуге с центральным углом $\delta$ разными точками с образующей радиуса *R*. В данном случае понятие «эффективная длина режущей кромки» соотносится к участку дуги с центральным углом $\delta$, границы которого определяют значения углов резца, динамически изменяющихся в процессе резания. Изменение рабочих углов резца происходит вследствие изменения координат точек линии режущей кромки относительно горизонтальной плоскости проходящей через ось центров заготовки [2].

Дальнейший аналитический расчет ставит целью определение граничных значений центрального угла $\delta$ при заданных предельных динамических значениях переднего угла $\gamma$ и равного ему по модулю заднего угла резца $\alpha$.

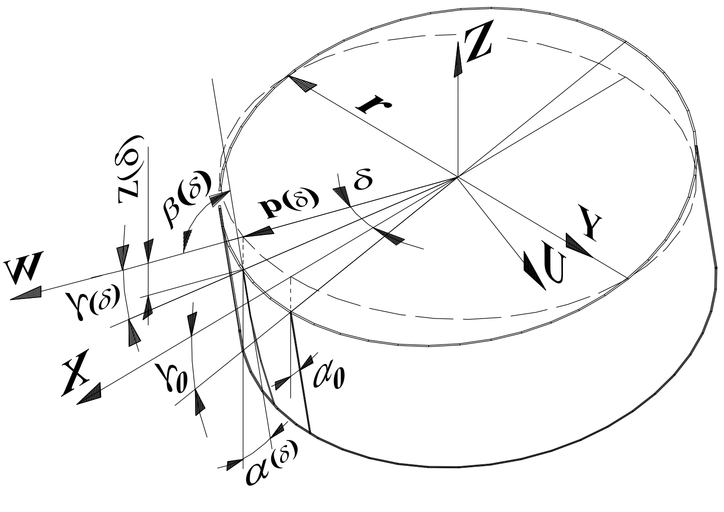


Рис. 2. Пластина радиуса $r$, повернутая вокруг оси *Y* на угол $\gamma_0$.

Определим функциональную зависимость переднего $\gamma(\delta)$ и заднего $\alpha(\delta)$ углов резца от изменения центрального угла $\delta$ круглой пластины (рис. 2).

Если точку начала координат *XYZ* (плоскость *XY* – горизонтальная плоскость), поместить в центр верхнего основания цилиндра, тогда динамически изменяющиеся по периметру режущей кромки углы резца, передний $\gamma(\delta)$ и задний $\alpha(\delta)$, образуются поворотом пластина вокруг оси *Y* на статический угол $\gamma_0$.

Уравнение цилиндра повернутого на угол $\gamma_0$ имеет вид:

$$(x \cdot \cos(\gamma_0) - z \cdot \sin(\gamma_0))^2 + y^2 = r^2,$$

или как функция двух переменных: $z(x,y)=\dfrac{x\cdot\cos(\gamma_0)-\sqrt{r^2-y^2}}{\sin(\gamma_0)}$. (1)

Проекцией верхней режущей кромки круглой пластины радиуса $r$, лежащей в плоскости проходящей через ось $Y$ под углом $\gamma_0$ к координатной плоскости $XY$ будет эллипс, параметрическая функция которого, от углового параметра $\delta$ имеет вид:

$$x(\delta)=r\cdot\cos(\gamma_0)\cdot\cos(\arctan(\cos(\gamma_0)\cdot tg(\delta)))$$
$$y(\delta)=r\cdot\sin(\arctan(\cos(\gamma_0)\cdot tg(\delta))).$$

Модуль вектора $p(\delta)$, определяющий точки эллипса равен:

$$p(\delta)=\sqrt{x(\delta)^2+y(\delta)^2}=\frac{r\cdot\cos(\gamma_0)}{\sqrt{\cos^2(\delta)+\cos^2(\gamma_0)\cdot\sin^2(\delta)}}.$$

Область изменения функции (1) определена в границах, полученных при изменении углового параметра $\delta$ в замкнутом интервале $0\le\delta\le\pi/2$. Тогда:

$$z(x(\delta),y(\delta))=\frac{x(\delta)\cdot\cos(\gamma_0)-\sqrt{r^2-y(\delta)^2}}{\sin(\gamma_0)},$$

или после преобразований

$$z(\delta)=\frac{-r\cdot\sin(\gamma_0)\cdot\cos(\delta)}{\sqrt{\cos^2(\delta)+\cos^2(\gamma_0)\cdot\sin^2(\delta)}}.$$

Передний угол $\gamma(\delta)$ определяется из соотношений прямоугольного треугольника, при каждом значении угла $\delta$:

$$\gamma(\delta)=arctg\left(\frac{z(\delta)}{p(\delta)}\right)=-arctg(tg(\gamma_0)\cdot\cos(\delta)). \quad (2)$$

Если $\delta=0$ то $\gamma(\delta)=\gamma_0$ и при $\delta=\pi/2$, $\gamma(\delta)=0$.

Для получения зависимости характеризующей изменение заднего угла $\alpha(\delta)$, определена новая система координат $WUZ$, полученная путем поворота координатной системы $XYZ$ вокруг оси $Z$ на угол $\delta$. оординаты точек цилиндра координатной системы $WUZ$ связаны с координатами точек системы $XYZ$ соотношениями:

$$x=w\cdot\cos(\delta)-u\cdot\sin(\delta);\quad y=w\cdot\sin(\delta)+u\cdot\cos(\delta).$$

Задний угол $\alpha$ измеряется в плоскости радиального сечения цилиндрической пластины. Тогда линия пересечения данной плоскостью уравнения, цилиндрической поверхности пластины, повернутой вокруг оси $Y$ на статический угол $\alpha_0$, определится уравнением:

$$[w\cdot\cos(\delta)\cdot\cos(\alpha_0)-z\cdot\sin(\alpha_0)]^2+(w\cdot\sin(\alpha_0))^2-r^2=0,$$

решение которого относительно $z$ имеет вид:

$$z(w)=w\cdot\cos(\delta)\cdot ctg(\alpha_0)-\frac{\sqrt{r^2-w^2\cdot\sin^2(\delta)}}{\sin(\alpha_0)}.$$

Угол наклона касательной $\beta$ к кривой $z(w)$, с отсчетом от положительного направления оси $W$, определяется через первую производную:

$$tg(\beta) = \frac{dz(w)}{dw} = \cos(\delta) \cdot ctg(\alpha_0) - \frac{w \cdot \sin^2(\delta)}{\sin(\alpha_0) \cdot \sqrt{r^2 - w^2 \cdot \sin^2(\delta)}}. \qquad (3)$$

Изменение переменной $w$, пропорционально значению модуля вектора $p(\delta)$, определяющему эллиптическую проекцию верхнего основания кругового цилиндра на горизонтальную плоскость. Тогда при значении $\beta(\delta) = \frac{\pi}{2} - \alpha(\delta)$ уравнение принимает вид:

$$tg(\beta(\delta)) = tg\left(\frac{\pi}{2} - \alpha(\delta)\right) = \cos(\delta) \cdot ctg(\alpha_0) - \frac{p(\delta) \cdot \sin^2(\delta)}{\sin(\alpha_0) \cdot \sqrt{r^2 - p(\delta)^2 \cdot \sin^2(\delta)}} = \frac{\cos(\alpha_0)}{\sin(\alpha_0) \cdot \cos(\delta)}$$

Выполнив преобразования получим:

$$\alpha(\delta, \alpha_0) = arctg\left(\frac{\sin(\alpha_0) \cdot \cos(\delta)}{\cos(\alpha_0)}\right) = arctg(tg(\alpha_0) \cdot \cos(\delta)), \qquad (4)$$

где $\alpha_0$ - статический задний угол; $\delta$ - центральный угол круглой пластины.

Анализ полученных формул (2) и (4) позволяет сделать вывод: в процессе резания угловой параметр $\delta$ определяет точки контакта круглой пластины и поверхности детали, при этом равные по модулю $\alpha(\delta) = -\gamma(\delta)$ динамические передний и задний углы резца изменяются по закону косинуса. Например, при резании круглой пластиной со статическим задним углом $\alpha_0 = 8^\circ$ (рис. 4), контакт ее режущей кромки с центральным углом относительно осевого сечения $\delta = 36^\circ$, будет происходить (4) с углом $\alpha_0 = 6.49^\circ$.

ВЫВОДЫ

1. Аналитически доказано, что при точении круглой пластиной, динамически изменяются в каждой точке круговой траектории кинематические передний и задний углы.

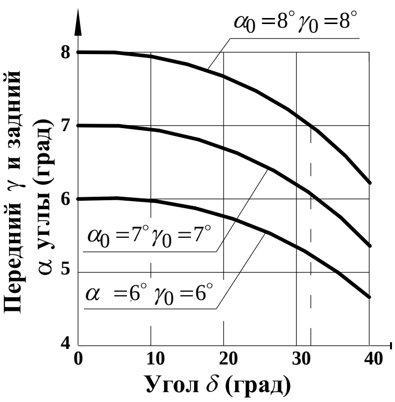


Рис. 3. Номограмма для определения предельных значений углов резца

2. Эффективная длина $L$ режущей кромки пластины определяется центральным углом $\delta$ и равна $L = 2 \cdot \delta \cdot r$, где $r$ – радиус пластины.

3. Полученная формула (4) позволяет правильно, с точки зрения динамики резания, планировать обработку фасонной поверхностей, в частности определить граничные точки траектории при обработке левым и правым резцами. Например, для резца, с круглой пластиной радиуса $r$, передним и задним статическими углами $8^0$ необходимо определить предельное значение углового сектора при обработке в пределах которого значение углов в динамики будут не меньше $7^0$. По номограмме 3 определяем - $\delta = 32^\circ$.

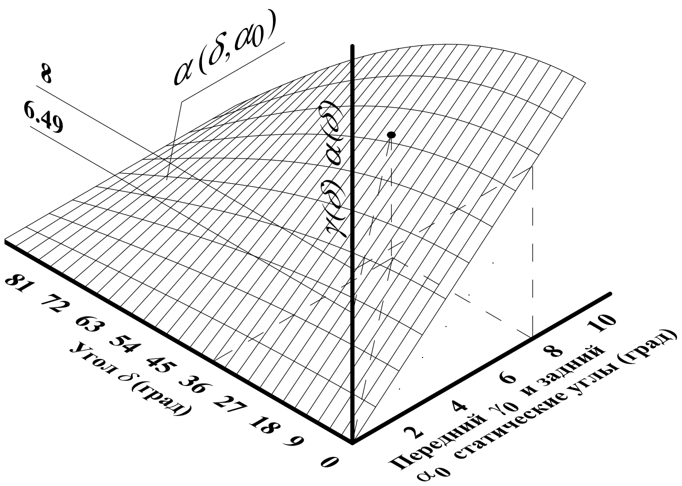


Рис. 4. График изменения кинематических переднего и заднего углов

4. Сегодня на мировой рынок, фирма WIDIA (Германия) поставляет круглые двухсторонние режущие пластины модели RNGN, RNMN, RNMA для которых передний и задний углы получаются поворотом опорной плоскости в державке резца. Для фрез с пластинами этого типа (рис. 6), формула (4) позволяет рассчитать глубину резания $t$ , предельное значение которой определит эффективная длина режущей кромки с центральным углом $\delta$ (рис. 5).

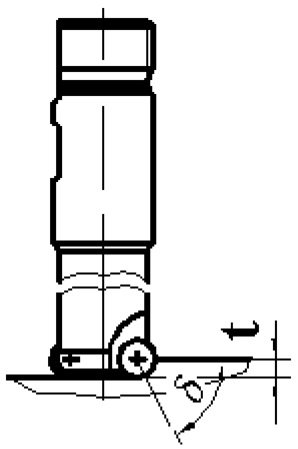


Рис. 5. Глубина резания $t$ при фрезеровании с эффективной длиной режущей кромки, определяемой центральным углом $\delta$ [4]

Рис. 6. Концевая фреза фирмы WIDIA [4]

**Список литературы**: **1**. Грановский Г. И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 57 с. **2.** П.Р. Родин «Проектирование и производство режущего инструмента». – Киев: «Техніка», 1968. - 62 с. **3.** Бобров Б.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 41. с. **4.** Widia Turning Tools, OTC 2008 Offshore Technology Conference, May 5 – May 8, 2008.

Сдано в редакцию 26.01.09