

УДК 621.9.015



**А.С. Мановицкий,**

к.т.н., с.н.с.

Институт сверхтвердых

материалов

им. В.Н. Бакуля НАН

Украины

e-mail: msm5@i.ua

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА И ДЛИНЫ РЕЖУЩИХ КРОМОК ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ВЫПУКЛЫХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗЦАМИ С КРУГЛЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

*А.С. Мановицкий. Определение толщины среза и длины режущих кромок при чистовом точении выпуклых тороидальных поверхностей резцами с круглыми режущими пластинами.* Приведен метод расчета длины режущих кромок и максимальной толщины среза при использовании круглых осесимметричных конических сменных режущих пластин из поликристаллического кубического нитрида бора с постоянными передними и задними углами для оснащения чистовых резцов для точения закаленной стали. Рассмотрена конструкция сменных режущих пластин.

*A.S. Manovytsky. The determination of undeformed chip thickness and cutting edge length when final turning of convex toroidal surfaces with round inserts equipped cutters.* The calculation methods of cutting edge length and maximal undeformed chip thickness when using round cubic polycrystalline Boron Nitride axial symmetric helical cutting inserts with constant normal cutting angle and inclination angle for equipping of cutters for final turning of hardened steel are described in the article. The construction of cutting insert is presented.

**Вступлення.** Производительность механической обработки и обеспечение высокого качества обработанной поверхности при сложнопрофильном точении выпуклых тороидальных поверхностей ответственных деталей из закаленных сталей обеспечивается применением механически закрепляемых режущих пластин из поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) – киборита, борсинита, гетеронита и других известных марок, разработанных и изготавливаемых в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. В результате многочисленных экспериментов с учетом литературных данных по рациональному выбору инструментального материала, конструкции инструмента и технологических параметров процесса резания, а также исходя из условий прочности режущего клина установлено, что передний угол на режущей пластине всегда должен быть отрицательным.

**Матеріал и результати досліджень.** На випуклих криволинейних участках детали сложного профиля вершина резца перемещается как по образующей профиля, так и по режущей кромке. Условие неизменности передних и задних углов резца в каждой точке образующей поверхности вращения невозможно соблюсти при точении негативными пластинами, фиксированные передний и задний углы, а также угол наклона режущей кромки которых обеспечиваются конструкцией державки; при этом передняя поверхность пластины является торцевой плоскостью цилиндра. При этом действительные передние углы в левом и правом положениях (рис. 1) зависят от центрального угла пластины, определяемого ее положением на криволинейном контуре детали, и рассчитываются по формуле:

$$\gamma(\delta) = -\arctg(\operatorname{tg}\gamma_0 \cos\delta) \quad (1)$$

где  $\gamma_0$  – конструктивно заданный передний угол резца;  $\gamma(\delta)$  – кинематический передний угол в зависимости от центрального угла пластины;  $\delta$  – центральный угол пластины.

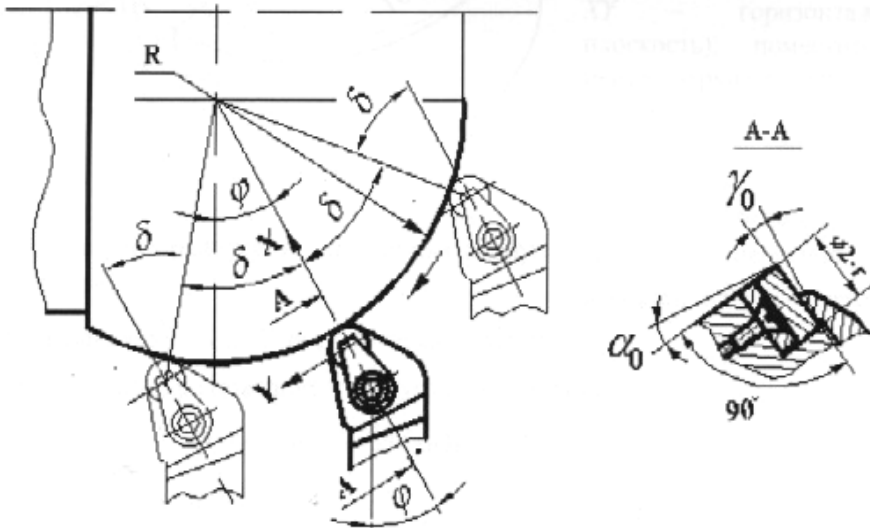


Рис. 1. Схема для определения положения вершины резца на контурной линии детали

Соответственно действительные задние углы также зависят от центрального угла и определяются по формуле:

$$\alpha(\delta, \alpha_0) = \arctg(\operatorname{tg}\alpha_0 \cos\delta) \quad (2)$$

где  $\alpha_0$  – конструктивно образованный задний угол резца;  $\alpha(\delta)$  – кинематический задний угол в зависимости от центрального угла пластины.

Основным ограничением по назначению центрального угла  $\delta$  в случае применения цилиндрических режущих пластин типа RNMN является нулевое значение заднего угла в точке контакта режущей кромки с образующей контура обрабатываемой детали. Массовое применение таких пластин и конструкций резцов в промышленных масштабах вызывает необходимость определения эффективной длины режущих кромок, для чего предлагаются достаточно сложные модели, позволяющие с достаточной для практического применения точностью рассчитывать длину эффективной режущей кромки и толщину среза. Наиболее применимы модели предложили зарубежные (Янг и Оксли, Колвелл и Ванг, [1-3]) отечественные (Проволоцкий и Лещенко [4]) исследователи также предлагают расчетные модели.

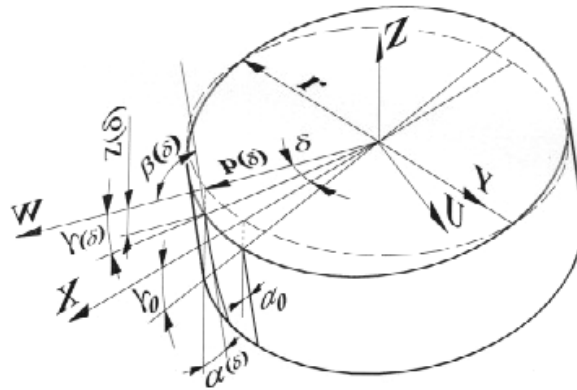


Рис. 2. Схема для расчета допустимых переднего и центрального углов

В частности, центральный угол пластины находят по специально предложенной номограмме, а эффективную длину  $L$  режущей кромки круглой режущей пластины, установленной конструктивно с передним углом, равным по модулю заднему углу  $-\gamma = \alpha$ , рассчитывают по следующей зависимости от центрального угла  $\delta$  и радиуса пластины  $r$ :

$$L = 2\delta r \quad (3)$$

Разработанная специальная осесимметричная коническая режущая пластина из ПКНБ с задними углами и двумя режущими кромками (рис. 3) [5] позволяет обеспечить постоянство указанных углов в процессе контурного точения независимо от центрального угла пластины. Суммарная длина режущих кромок такой пластины никак не зависит от центрального угла пластины, а ограничения на величину этого угла накладывают только конструктивные особенности державки и крепежных элементов резца.

На рис. 4 приведена схема контактної взаємодії круглої режущої пластини з оброблюваною деталлю і сняття припуску на випуклої тороїдальній часті складнопрофільної поверхності.

В отличие от точения по цилиндрической образующей сложного профиля, когда вершина резца и центр окружности режущей пластины смещаются на одинаковую величину подачи на один оборот детали, при перемещении центра режущей пластины из точки  $O_1$  в точку  $O_2$  за один оборот вершина резца переходит из точки  $B$  в точку  $A$ .

Предположим, что отрезок  $O_1O_2$  равен подаче резца, то есть  $O_1O_2 = S_o$ , где  $S_o$  – контурная подача на оборот центра пластины, тогда отрезок  $AB = S_{ec}$ , а именно  $S_{ec}$  – действительная подача вершины резца на выпуклой тороидальной части криволинейной поверхности детали.

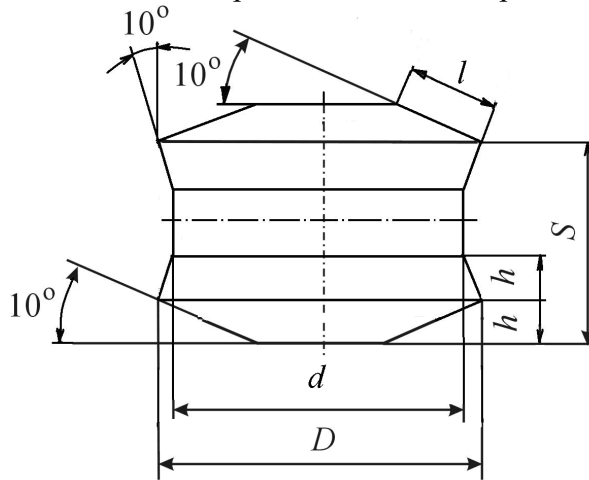


Рис. 3. Эскиз осесимметричной режущей пластины из ПКНБ двусторонней с конической передней поверхностью

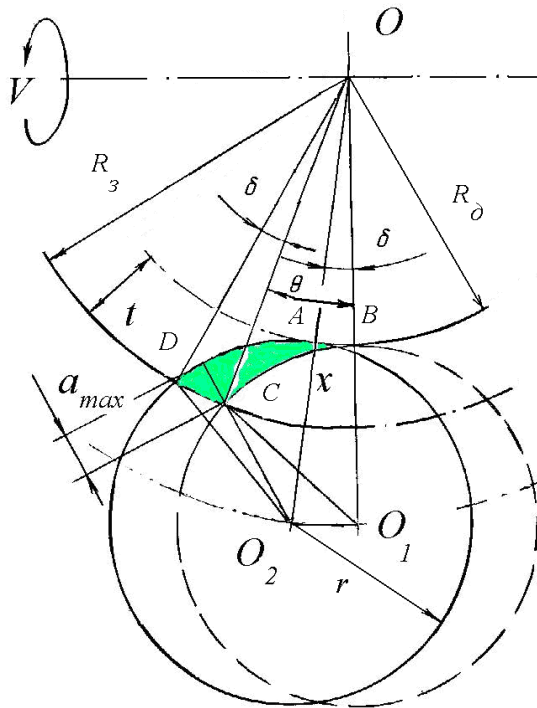


Рис 4. Схема к расчету максимальной толщины среза на выпуклой тороидальной части сложнопрофильной детали.

Точкой  $X$  отмечено положение максимального выступа микронеровностей обработанной поверхности, формируемого главной и вспомогательной кромками резца. Точка  $X$  лежит на перпендикуляре, проведенном через середину отрезка  $AB$ . Точки  $A$  и  $B$  лежат на линиях сопряжения радиусов обрабатываемой детали и режущей пластины, как видно из приведенной схемы.

Контурная подача, определяемая по центру режущей пластины, связана с подачей этого центра вдоль оси  $X$  следующей зависимостью:

$$S_O = S_x \cdot \cos \delta \quad (4)$$

Из произведенных геометрических построений очевидно что треугольники  $O_1OC$  и  $O_2OD$  равны между собой. Максимальная толщина среза может быть найдена из уравнения:

$$a_{\max}^{sc} = r - O_2C \quad (5)$$

По теореме косинусов из треугольника  $O_1OC$  имеем:

$$(O_1C)^2 = r^2 = R_3^2 + (r + R_3 - t)^2 - 2R_3(r + R_3 - t)\cos \Theta \quad (6)$$

и

$$\cos \Theta = \frac{R_3^2 - r^2 + (r - t + R_3)^2}{2R_3(r - t + R_3)} \quad (7)$$

где:  $r$  - радиус пластины, мм;  $R_3$  - радиус выступа профиля заготовки, мм;  $t$  - глубина резания, мм.

Угол  $O_1OC = \Theta$  будет:

$$\Theta = \arccos \frac{R_3^2 - r^2 + (r - t + R_3)^2}{2R_3(r - t + R_3)} \quad (8)$$

Угол  $\delta$ , на который смещается вершина резца за один оборот детали, находим из треугольника  $O_1OO_2$ :

$$\delta = \arctg \frac{S_x}{R_d + r} \quad (9)$$

где  $R_d$  - радиус выступа профиля детали на выпуклом тороидальном участке.

По теореме косинусов из треугольника  $O_2OC$  имеем:

$$(O_2C)^2 = R_3^2 + (r + R_d)^2 - 2R_3(r + R_d)\cos(\Theta - \delta) \quad (10)$$

Извлекая квадратный корень из полученного выражения и подставляя полученное выражение в уравнение (5) для расчета максимальной толщины среза при точении выступающего участка тороидальной поверхности и принимая во внимание, что радиус заготовки составляет суммарную величину радиуса детали и припуска на обработку, находим выражение:

$$a_{\max}^{bc} = r - \sqrt{\left[ (R_d + t)^2 + (r + R_d)^2 - 2(R_d + t)(r + R_d) \right] \rightarrow \cdot \rightarrow \cos \left[ \arccos \frac{(R_d + t)^2 - r^2 + (r + R_d)^2}{2(R_d + t)(r + R_d)} - \arctg \frac{S_x}{r + R_d} \right]} \quad (11)$$

Суммарную длину режущих кромок находим из криволинейного треугольника  $DXC$ . Дина  $L$  режущих кромок равна длинам дуг  $DA$  или  $BC$  и равна произведению радиуса  $r$  пластины и угла  $CO_1O$ .

Опять же по теореме косинусов из треугольника находим  $CO_1O$  угол  $CO_1O$ :

$$CO_1O = \arccos \frac{r^2 + (r + R_d)^2 - (R_d + t)^2}{2r(r + R_d)} \quad (12)$$

И тогда суммарная длина режущих кромок будет найдена из следующего уравнения:

$$L = r \cdot \arccos \frac{r^2 + (r + R_d)^2 - (R_d + t)^2}{2r(r + R_d)} \quad (13)$$

Площадь сечения среза  $A_{Rec}$  для выступающего тороидального участка сложнопрофильной детали может быть найдена как площадь криволинейного треугольника  $DXC$  с основанием  $L$  и высотой  $a_{max}^{ec}$ .

$$A_{Rec} = \frac{r}{2} \cdot \arccos \frac{r^2 + (r + R_d)^2 - (R_d + t)^2}{2r(r + R_d)}.$$

$$\cdot \left\{ r - \sqrt{(R_d + t)^2 + (r + R_d)^2 - 2(R_d + t)(r + R_d)} \rightarrow \cdot \left[ \arccos \frac{(R_d + t)^2 - r^2(r + R_d)^2}{2(R_d + t)(r + R_d)} - \arctg \frac{S_x}{r + R_d} \right] \right\} \quad (14)$$

Действительное значение подачи на радиусной части выступающей тороидальной поверхности находим из подобия криволинейных треугольников  $OO_1O_2$  и  $OBA$ . С учетом  $AB = S_{ec}$  выражение для определения значения действительной подачи на выступающем тороидальном участке радиусом  $R_d$  будет иметь следующий вид:

$$S_{ec} = \frac{S_o \cdot R_d}{R_d + r} \quad (15)$$

или после преобразований:

$$S_{ec} = \frac{S_o}{1 + \frac{r}{R_d}} \quad (16)$$

Поскольку из условий назначения радиуса режущей пластины  $R_d \geq r$  является необходимым условием, то исходя их уравнения (16) очевидно, что действительная подача по образующей линии сложного профиля на выступающем тороидальном участке радиусом  $R_d$  всегда будет меньше номинальной, задаваемой по линии перемещения центра окружности режущей пластины.

Исходя из этого положения, можно утверждать, что принимая значение подачи  $S = const$  на цилиндрическом участке сложного профиля детали, при переходе на выступающую тороидальную поверхность значение подачи можно увеличивать, назначая следующие значения без ущерба для шероховатости обработанной поверхности на этом участке:

$$S_{ec} = S_o \cdot \frac{1}{1 + \frac{r}{R_d}} \quad (17)$$

С учетом зависимости контурной подачи от подачи инструмента вдоль оси X и уравнения (4) получаем следующее выражение:

$$S_{ec} = S_x \cdot \cos \delta \cdot \frac{1}{1 + \frac{r}{R_d}} \quad (18)$$

При этом второй сомножитель можно считать коэффициентом повышения производительности обработки для выпуклых тороидальных поверхностей по сравнению с заданной величиной для обработки цилиндров.

Полученные выражения для расчета максимальной толщины среза и площади сечения срезаемого слоя в дальнейшем используются для расчета прочности режущего клина резца и составляющих силы резания.

**Выводы.** Предложенная конструкция сменной режущей пластины круглой формы из ПКНБ для сложнопрофильной чистовой обработки точением выпуклых тороидальных поверхностей деталей из закаленных сталей позволяет обеспечивать постоянство кинематических переднего и заднего углов при любом произвольном положении вершины резца как по длине режущей кромки, так и на образующей обрабатываемой поверхности.

Предложенные расчетные формулы для определения максимальной толщины среза и суммарной длины режущих кромок позволяют найти площадь контакта режущей пластины со срезаемым припуском и использовать полученные значения для расчета максимальных нагрузок на режущий инструмент из условий прочности режущего клина.



Полученные расчетные значения действительной величины подачи в зависимости от параметров режущей пластины и контура обрабатываемой поверхности позволяют сделать вывод о возможности повышения производительности обработки на выпуклых тороидальных участках сложного профиля детали при заданной шероховатости обработанной поверхности.

Полученные результаты могут быть эффективно использованы в расчетах составляющих силы резания при чистовой токарной обработки выпуклых тороидальных поверхностей.

### Литература

1. Young, H.T. and P. Mathew, P.L.B. Oxley (1987). Allowing for nose radius effects in predicting the chip flow direction and cutting forces in bar turning. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Vol. 201 (C3), pp. 213-226.
2. Colwell, L.V. (1954). Predicting the angle of chip flow for single point cutting tools. Transactions of ASME. Vol. 74, pp. 199-204
3. Wang, J. (2001). Development of a chip flow model for turning operations. Int. Journal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 41, pp. 1265-1274.
4. О.Є. Проволоцький, О.І. Лещенко. Підвищення точності обробки поверхонь складного профілю на основі корекцій програмної траєкторії різців з пластинами круглої форми. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 6 (154). – Донецьк: ДонНТУ, 2009. С. 107-117.
5. Різальна пластина. Деклараційний пат. на корисну мод. № 79108. С.А. Клименко, О.С. Мановицький, В.В. Бурикін та ін. // Промислова власність.– 2013.– № 7.

*Надійшла до редакції 21.01.2015*