

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ КОСОУГОЛЬНОГО ОБТАЧИВАНИЯ БЕЗВЕРШИННЫМИ РЕЗЦАМИ

*С.И. ПЕТРУШИН, доктор техн. наук, профессор
А.В. ФИЛИППОВ, аспирант
(ЮТИ (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета, г. Юрга)*

Статья поступила 16 ноября 2012 года

Петрушин С.И. – 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального
исследовательского Томского политехнического университета,
e-mail: avf@tpu.ru

Рассматривается геометрия процесса косоугольного продольного точения резцом с прямолинейной режущей кромкой. Представлена схема процесса косоугольного точения в статической системе координат, которая учитывает переменность положения координатных плоскостей вдоль режущей кромки инструмента. Выведены формулы, определяющие значения геометрии инструмента, которые связывают инструментальную и статическую системы координат. Рассчитаны значения углов для различных значений угла наклона лезвия. Показаны зависимости изменения углов вдоль рабочей части режущей кромки от значения угла наклона лезвия и основной плоскости. На графиках зависимости изменения геометрии показан рабочий диапазон углов инструмента, ограничивающий область допустимых значений угла наклона основной плоскости. Представлено описание способа построения модели эквивалентного лезвия, на примере которого наглядно показан характер изменения геометрии вдоль рабочей части инструмента.

Ключевые слова: косоугольное точение, безвершинный резец, геометрические параметры, угол наклона лезвия, эквивалентное лезвие.

Введение

Косоугольное наружное продольное точение осуществляется резцом с прямолинейным лезвием, повернутым по отношению к оси заготовки на угол наклона лезвия ω (рис. 1) [1]. «Безвершинным» называется резец, у которого в работе участвует небольшой участок главной режущей кромки, а вспомогательные кромки и вершина отсутствуют [4, 7].

Основными направлениями исследования процесса косоугольного безвершинного точения является определение влияния угла наклона лезвия на качество обработанной поверхности и силу резания в процессе обработки. Авторы работ [2–6] отмечают, что в широком диапазоне изменения скорости резания и подачи шероховатость поверхности, обработанной безвершинными резцами различной конструкции, меньше, чем при обработке обычными резцами при аналогичных режимах обработки.

К достоинствам такого метода обработки относят: отсутствие вершины как слабого места, плавность врезания, не требуется выверка инструмента при установке на станок, отсутствие нароста и возможность получения низкой шероховатости поверхности при обработке цветных металлов [6]. Основными недостатками являются ограниченная область изменения глубины резания и обработка наружных поверхностей с обеспечением места для выхода резца.

Особенностью процесса косоугольного точения является переменность рабочих углов лезвия вдоль режущей кромки. Это отмечается в работах [1, 7, 8], однако нет общего мнения о том, в каком направлении измерять значения переднего и заднего углов инструмента. Нет также общих формул, определяющих зависимости изменения геометрии инструмента. В связи с этим в настоящей работе рассмотрены закономерности геометрии косоугольного наружного продольного точения безвершинными резцами.

1. Результаты исследования

С использованием метода векторной алгебры, изложенного в работе [9], и положений ГОСТа [10] разработана схема данного процесса (рис. 1). По сравнению с ГОСТ 25762–83 изменены обозначения статической плоскости резания (P_{tc}) и секущей плоскости (P_{nc}), поскольку традиционно касательной плоскости соответствует индекс «т», а нормальной – «н».

Положение статической основной плоскости (P_{vc}) зависит от направления вектора скорости резания (\vec{a}_{4C}^A), которое будет переменным, поскольку он направлен по касательной к окружности в каждой точке вдоль рабочей части режущей кромки.

Оси инструментальной системы координат (ИСК) имеют обозначения с индексом «и», статической (ССК) – «с». Направим инструментальные оси координат лезвия [9] в точке $O(x_{и}, y_{и}, z_{и})$ таким образом, чтобы ось $y_{и}$ совпадала с режущей кромкой, а оси $x_{и}$ и $z_{и}$, как показано на рис. 1. На разрезе Е-Е показаны углы режущего клина в ИСК: $\gamma_{и}$ – инструментальный передний угол и $\alpha_{и}$ – инструментальный задний угол.

Статический угол наклона режущей кромки λ_c лежит между основной плоскостью и проекцией режущей кромки в плоскости резания P_{tc} . Статический угол в плане φ_c лежит в секущей плоскости P_{nc} между статической плоскостью резания P_{tc} и рабочей плоскостью. Статические передний γ_c и задний α_c углы лежат в секущей плоскости P_{nc} между передней поверхностью и основной плоскостью P_{vc} , и задней поверхностью и плоскостью резания P_{tc} соответственно. Поскольку положение координатных плоскостей в каждой точке режущей кромки будет переменным, то и значения этих углов также будет изменяться.

Безвершинный резец снимает срезаемый слой сегментообразной формы с максимальной глубиной резания для точки O величиной t_{max} (см. рис. 1). Угловая координата в начальной точке A срезаемого слоя определится выражением

$$\cos \psi_A = \pm \left(\frac{D - 2t_{max}}{D} \right), \quad (1)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности; ψ_A – угол наклона основной плоскости в точке A .

В ИСК имеем следующие выражения для единичных направляющих векторов:

– режущей кромки: $\vec{a}_1^и = \vec{j}_и$; (2)

– перпендикулярного к передней поверхности: $\vec{a}_2^и = \cos \gamma_{и} \cdot \vec{i}_и + \sin \gamma_{и} \cdot \vec{k}_и$; (3)

– перпендикулярного к задней поверхности: $\vec{a}_3^и = -\sin \alpha_{и} \cdot \vec{i}_и - \cos \alpha_{и} \cdot \vec{k}_и$, (4)

где $\vec{i}_и, \vec{j}_и, \vec{k}_и$ – орты ИСК.

Если повернуть ИСК на угол ω (см. рис. 1), то получим статическую систему координат (ССК) с ортами $\vec{i}_c, \vec{j}_c, \vec{k}_c$.

Координаты объекта в ССК связаны с координатами в ИСК следующими соотношениями [9]:

$$\begin{cases} x_c = x_{и} \cdot \cos \omega + y_{и} \cdot \sin \omega; \\ y_c = -x_{и} \cdot \sin \omega + y_{и} \cdot \cos \omega; \\ z_c = z_{и}. \end{cases} \quad (5)$$

С учетом выражения (5) векторы (2), (3) и (4) в ССК примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \vec{a}_1^с &= \sin \omega \cdot \vec{i}_c + \cos \omega \cdot \vec{j}_c; \\ \vec{a}_2^с &= \cos \gamma_{и} \cdot \cos \omega \cdot \vec{i}_c - \cos \gamma_{и} \cdot \sin \omega \cdot \vec{j}_c + \sin \gamma_{и} \cdot \vec{k}_c; \\ \vec{a}_3^с &= -\sin \alpha_{и} \cdot \cos \omega \cdot \vec{i}_c + \sin \alpha_{и} \cdot \sin \omega \cdot \vec{j}_c - \cos \alpha_{и} \cdot \vec{k}_c. \end{aligned}$$

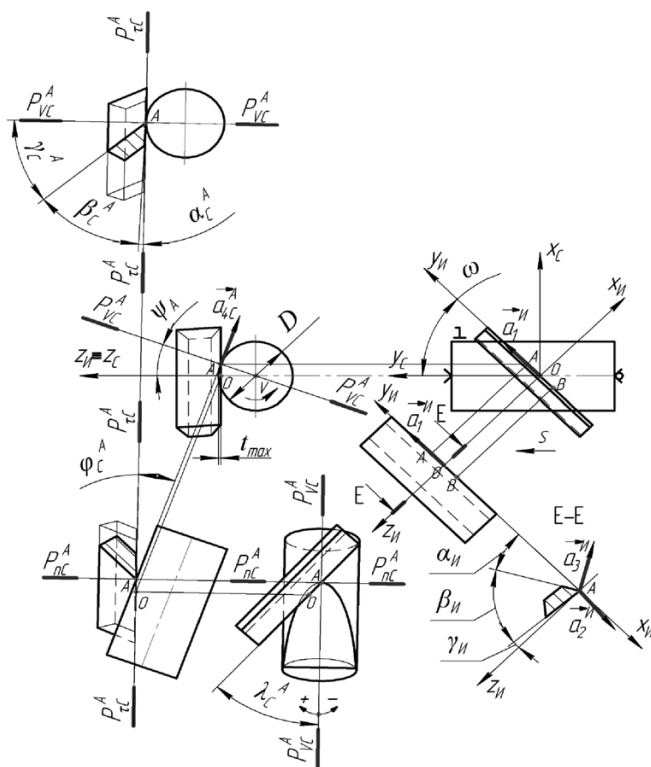


Рис. 1. Геометрические параметры процесса косоугольного обтачивания

В текущей точке A в ССК статическая основная плоскость P_{vc}^A проходит перпендикулярно к скорости резания через центр обрабатываемого валика и точку A . Вектор, нормальный к P_{vc}^A , равен (см. рис. 1):

$$\vec{a}_{4C}^A = \cos \psi_A \cdot \vec{i}_C - \sin \psi_A \cdot \vec{k}_C, \quad (7)$$

где значение ψ_A определяется из формулы (1).

Угол между векторами \vec{a}_1^C и \vec{a}_4^C равен

$$\frac{\pi}{2} - \lambda_C^A,$$

где λ_C^A – угол наклона режущей кромки в точке A .

Отсюда

$$\sin \lambda_C^A = \sin \omega \cdot \cos \psi_A. \quad (8)$$

На рис. 2, *a* приведены графики изменения угла λ_C^A на режущей части резца. При $\omega < 0$ эти кривые имеют вогнутый характер.

Для определения статического угла в плане в текущей точке A φ_C^A определим вектор, перпендикулярный к статической плоскости резания $P_{\tau C}^A$:

$$\vec{a}_{5C}^A = \vec{a}_{4C}^A \times \vec{a}_1^C,$$

и направляющий вектор проекции режущей кромки на основную плоскость:

$$\vec{a}_{6C}^A = \vec{a}_{5C}^A \times \vec{a}_{4C1}^A.$$

Тогда угол φ_C^A определится как угол между вектором \vec{a}_{6C}^A и осью \vec{y}_C . Решив векторное про-

изведение в координатах с учетом выражений (6) и (7), получим

$$\cos \varphi_C^A = \frac{\cos \omega}{\sqrt{\cos^2 \omega + \sin^2 \omega \cdot \cos^2 \psi_A}}. \quad (9)$$

На рис. 2, *б* даны зависимости угла φ_C^A в широком диапазоне изменения углов ω и ψ_A . Для случая $\omega < 0$ перед формулой (9) нужно ставить знак «минус». Следует отметить, что представленные зависимости на рис. 2 были проверены путем непосредственного измерения величины углов на 3D модели безвершинного резца.

С целью определения статического переднего угла γ_C^A в точке A рассмотрим направляющий вектор линии пересечения статической главной секущей плоскости P_{nC} (см. рис. 1) и передней поверхности лезвия инструмента:

$$\vec{a}_{7C}^A = \vec{a}_2^C \times \vec{a}_{6C}^A.$$

Тогда дополнительный угол между векторами \vec{a}_{4C}^A и \vec{a}_{7C}^A будет равен углу γ_C^A :

$$\sin \gamma_C^A = \frac{\cos \gamma_n \cdot \sin \psi_A + \sin \gamma_n \cdot \cos \psi_A \cdot \cos \omega}{\sqrt{(\cos \gamma_n \cdot \sin^2 \omega \cdot \sin \psi_A \cdot \cos \psi_A + \sin \gamma_n \cdot \cos \omega)^2 + \dots}} \dots \dots \dots \frac{\dots}{\dots + \sin^2 \omega \cdot \sin^2 \psi_A (\cos \gamma_n \cdot \cos \omega \cdot \cos \gamma_A - \sin \gamma_n \cdot \sin \psi_A)^2 + \dots} \dots \dots \dots \frac{\dots}{\dots + \cos^2 \gamma_n (\cos^2 \omega + \sin^2 \omega \cdot \sin^2 \psi_A)^2}. \quad (10)$$

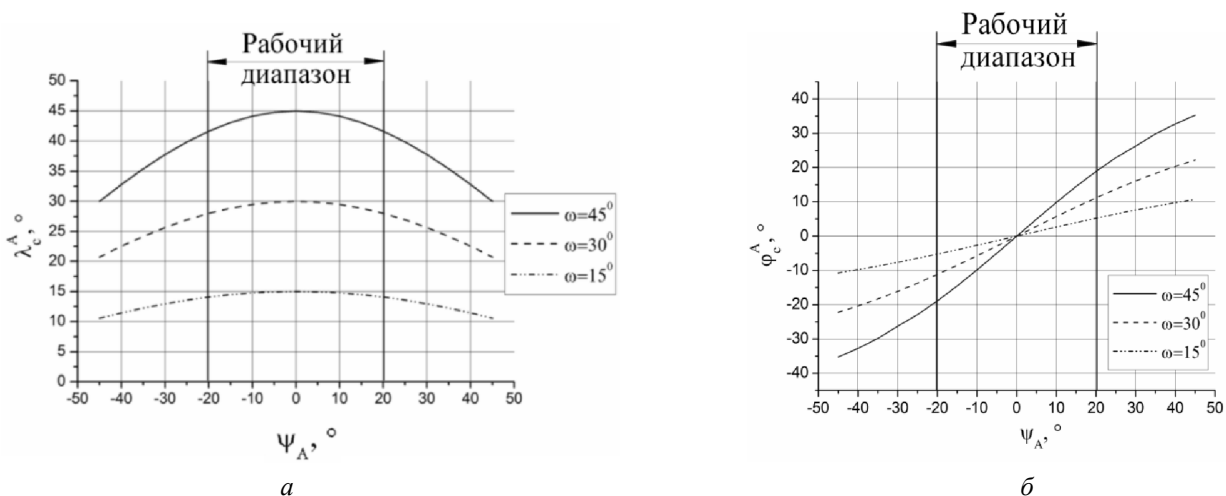


Рис. 2. Зависимости угла наклона режущей кромки λ_C^A (а) и угла в плане φ_C^A (б) в точке A от угла наклона основной плоскости ψ_A в ССК: $\gamma_n = 5^\circ$; $\alpha_n = 30^\circ$; $D = 20$ мм

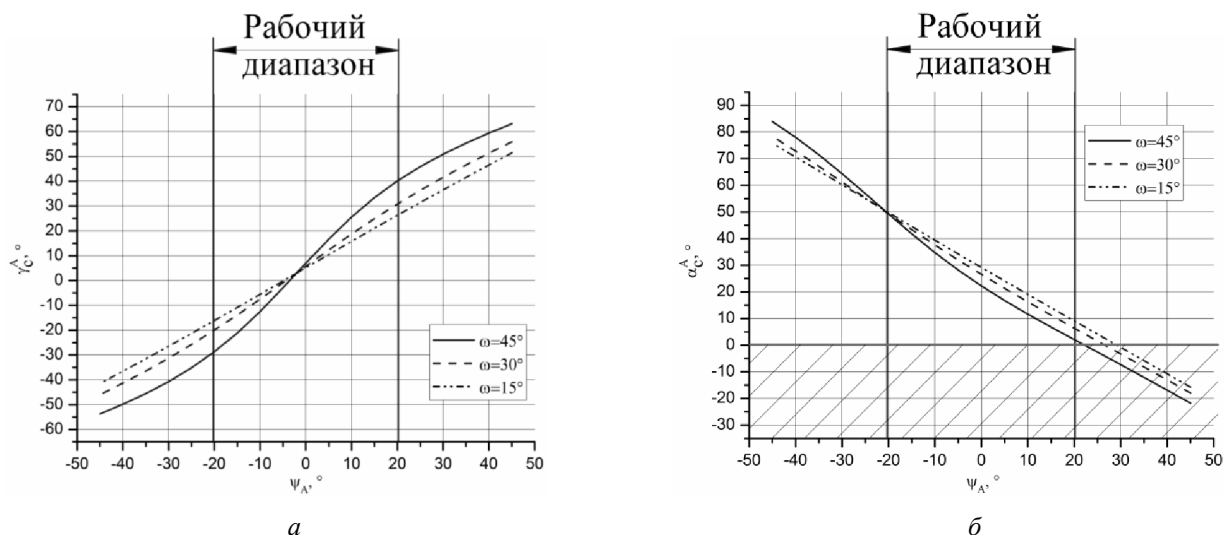


Рис. 3. Зависимости переднего угла γ_C^A (а) и заднего угла α_C^A (б) в точке А от угла наклона основной плоскости ψ_A в ССК: $\gamma_{и} = 5^\circ$; $\alpha_{и} = 30^\circ$; $D = 20$ мм

На рис. 3, а представлены рассчитанные по формуле (10) зависимости изменения угла γ_C^A от угла наклона основной плоскости (ψ_A) в ССК.

Аналогично направляющий вектор линии пересечения плоскости $P_{иC}$ и главной задней поверхности лезвия определится как

$$\vec{a}_{8C}^A = \vec{a}_3^C \times \vec{a}_{6C}^A,$$

и статический задний угол α_C^A будет равен углу между векторами \vec{a}_{8C}^A и \vec{a}_{4C}^A .

Отсюда получено следующее выражение для расчета статического заднего угла α_C^A :

$$\cos \alpha_C^A = \frac{\cos \alpha_{и} \cdot \cos \omega \cdot \cos \psi_A + \sin \alpha_{и} \cdot \sin \psi_A}{\sqrt{(\sin \alpha_{и} \cdot \sin^2 \omega \cdot \sin \psi_A \cdot \cos \psi_A)^2 + \dots}} \dots$$

$$\dots \frac{\dots}{+\sin^2 \omega \cdot \sin^2 \psi_A (\sin \alpha_{и} \cdot \cos \omega \cdot \cos \psi_A - \cos \alpha_{и} \cdot \sin \psi_A)^2 + \dots}$$

$$\dots \frac{\dots}{+\sin \alpha_{и} (\cos^2 \omega + \sin^2 \omega \cdot \sin^2 \psi_A)^2} \dots$$

(11)

На рис. 3, б представлены зависимости, рассчитанные по формуле (11), изменения заднего угла в точке А (α_C^A) от угла наклона основной плоскости (ψ_A) в ССК. Зависимости рис. 3 были также проверены измерением углов на 3D модели.

2. Анализ результатов

Как видно из графиков, изменения заднего и переднего углов значительны, имеет место переход от положительных значений к отрицательным, и, следовательно, необходимо ограничить область допустимых (рабочих) значений геометрии инструмента. При проектировании металлорежущих инструментов для обработки конструкционных материалов принимают значение заднего угла от $+2^\circ$ и более с учетом упругого восстановления материала и особенностей данного (конкретного) процесса обработки. Подобное ограничение геометрии применительно к процессу косоугольного обтачивания цилиндрических тел возможно за счет регулирования глубины резания и, следовательно, изменения значений угла ψ . Для рассматриваемого случая допустимый диапазон $\psi = \pm 20^\circ$, при этом значения заднего угла α будут больше 2° для всех значений ω , что отражено на графиках (см. рис. 2 и 3).

Представленные выше данные указывают на сложную геометрию процесса косоугольного точения резцом с прямолинейной режущей кромкой, однако без точной графической модели представить форму лезвия с параметрами, рассчитанными по формулам (8) – (11), затруднительно. Поэтому была разработана 3D-модель «эквивалентного» лезвия, под которым понимается лезвие с параметрами геометрии, рассчитанные по формулам (8) – (11).

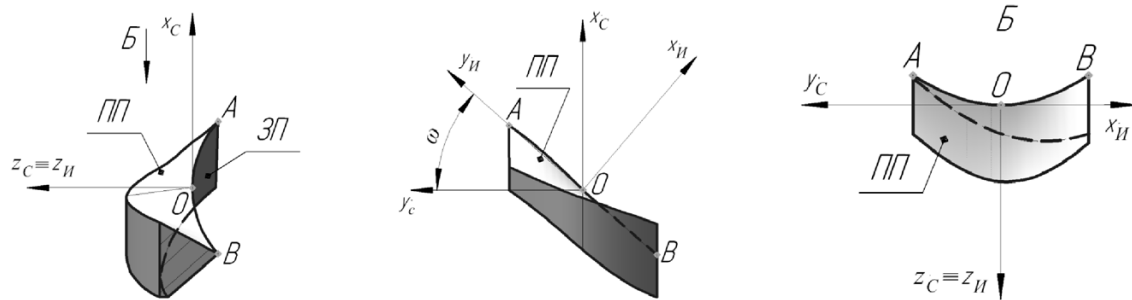


Рис. 4. Трехмерная модель рабочей части эквивалентного лезвия: ЗП – задняя поверхность; ПП – передняя поверхность: $\psi = 20^\circ$; $\omega = 45^\circ$; $\gamma_{и} = 5^\circ$; $\alpha_{и} = 30^\circ$; $D = 20$ мм

танними и построенными в ИСК, и сориентированное в ССК.

Уравнение пространственной кривой режущей кромки эквивалентного лезвия определяется системой из трех уравнений:

$$\begin{cases} x_i = \operatorname{tg}(\psi_i) [r - t_{\max}], \\ y_i = \operatorname{tg}(\lambda_i) x_i, \\ z_i = \operatorname{tg}(\varphi_i) x_i. \end{cases} \quad (12)$$

Построение модели эквивалентного лезвия выполнялось в системе трехмерного проектирования Компас 3D. Первоначально с учетом уравнения (12) строилась пространственная кривая эквивалентного лезвия.

Знак угла ψ определяет знак и положение координат точек рабочей части лезвия вдоль оси OX . С учетом первого уравнения системы определялись координаты вдоль осей OZ и OY относительно точки O , которая является началом систем координат и общей точкой для всех проекций эквивалентного лезвия.

Кривая разбивалась параллельными плоскостями на сечения, проходящими через ось $z_{и} \equiv z_c$ с шагом координаты $x_{i'}$, причем чем больше количество значений i , тем точнее получится модель. После чего в этих сечениях строились сечения с параметрами переднего и заднего угла для соответствующего значения угла ψ . Полученные сечения объединялись поверхностью. В итоге формировалась объемная модель рабочей части эквивалентного лезвия. В представленном варианте использовалось 41 сечение, т. е. шаг по углу ψ составил 1° . Построенная таким образом трехмерная модель рабочей части эквивалентного лезвия представлена на рис. 4.

Выводы

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Разработанная схема (рис. 1) дает наглядное представление о геометрии процесса косоугольного точения безвершинным резцом в ССК.

2. Представленные формулы (8) – (11) геометрии процесса косоугольного точения связывают значения инструментальных и статических углов инструмента, что является важным с точки зрения проектирования безвершинных резцов с криволинейным лезвием.

3. На примере эквивалентного лезвия наглядно показан характер изменения геометрических параметров инструмента вдоль рабочей части инструмента.

4. Как видно из графиков (см. рис. 2 и 3), при больших значениях угла наклона лезвия изменение геометрических параметров в ССК будет более интенсивным, что, в свою очередь, приводит к большей неоднородности процесса обработки и влияет на силовые параметры, контактные нагрузки, износ и температуру, точность и качество обработки.

Список литературы

1. Галоян Г.П. Теоретические основы нового процесса диагонального точения с обоснованием путей его реализации: дис. канд. техн. наук: Спец.05.03.01. / Г.П. Галоян. Ереванский политехнический институт им. К. Маркса, Ленинаканский филиал. – Ленинакан, 1986. – 157 с.
2. Рывкин Г.М., Самойлов Б.И. Чистовое точение резцами с перемещаемой режущей пластинкой // СТИН. – № 4. – 1952. – С. 20–22.



3. Клименко С.А., Манохин А.С. Твердое «бреющее» точение // Сверхтвердые материалы. – № 1. – 2009. – С. 58–74.

4. Минасян Г.С. О некоторых преимуществах безвершинного резца БРМ-1 // Известия академии наук Армянской ССР. – Т. XIX. № 3. – 1966. – С. 39–45.

5. Grzesik W., Żak K. Investigations of surface textures produced by oblique machining of different workpiece materials // Archives of Materials Science and Engineering, 52, 2011. – P. 46–53.

6. Подгорков В.В. Чистовое точение однокромочными резцами // СТИН. – № 1. – 1974. – С. 30–31.

7. Тер-Маркарян М.С. Некоторые особенности кинематики и процесса резания безвершинными резцами // Известия академии наук Армянской ССР. – Т. XXX. – № 6. – 1977. – С. 3–12.

8. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М.: Машгиз, 1962. – 152 с.

9. Петрушин С.И., Баканов А.А., Махов А.В. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 100 с.

10. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий.

The analysis of the geometry of oblique turning peakless cutters

S.I. Petrushin, A.V. Filippov

Yurga Institute of Technology, TPU Affiliate, Leningradskaja st., 26
Yurga, 652055, Russian Federation

Abstract

The geometry of the process oblique longitudinal turning tool with straight cutting edge is considered. The diagram of the process of oblique turning in a static system of coordinates, which takes into account the variability of the position of the coordinate planes along the cutting edge of the tool, is presented. The formulas that determine the geometry tool, which binds tool-in-hand and setting system of coordinates, are received. Values of angles for different values of the angle wedge are calculated. The variation of angles along the working part of the cutting edge of the value of the angle of inclination of the wedge and the reference plane is shown. On the diagrams of dependence of change of the geometry shows the operating range of the angle of the tool, limiting the area of the possible values of the slope angle of the main plane. Description of the method of modeling an equivalent wedge, for example, which visually shows the character of changes of geometry along the working part of the tool, is presented.

Keywords: oblique turning, peakless cutter, geometrical parameters, the inclination angle of the edge, the edge equivalent.

References

1. Galojan G.P. *Teoreticheskie osnovy novogo processa diagonal'nogo tochenija s obosnovaniem putej ego realizacii* (The theoretical basis for a new process of diagonal turning with a justification for ways to implement): Thesis of the Cand. of Tech. Scien., Specialty 05.03.01, K. Marx Erevan Polytechnic Institute, Leninakanskiy Affiliate, Lenakan, 1986. 157 p.

2. Rvkin G.M., Samojlov B.I. *STIN*, 1952, no. 4, pp. 20-22.

3. Klimenko S.A., Manohin A.S. *Sverhtverdye materialy*, 2009, no. 1, pp. 58-74.

4. Minasjan G.S. *Izvestija akademii nauk Armjanskoj SSR*, 1966, Vol. XIX, no. 3, pp. 39-45.

5. Grzesik W., Żak K. Investigations of surface textures produced by oblique machining of different workpiece materials. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2011, no. 52, pp. 46–53.

6. Podgorkov V.V. *STIN*, 1974, no. 1, pp. 30–31.

7. Ter-Markarjan M.S. *Izvestija akademii nauk Armjanskoj SSR*, 1977, Vol. XXX, no. 6, pp. 3-12.

8. Bobrov V.F. *Vlijanie ugla naklona glavnoj rezhushhej kromki instrumenta na process rezanija metallov* (Effect of angle of the cutting edge of the tool to the cutting process metal). Moscow, Mashgiz, 1962. 152 p.

9. Petrushin S.I., Bakanov A.A., Mahov A.V. *Geometricheskij analiz konstrukcij sbornyh rezhushhih instrumentov so smennymi mnogogrannymi plastinami* (Geometric analysis of precast cutting tools with indexable inserts). Tomsk, TPU, 2008. 100 p.

10. ГОСТ 25762-83 *Obrabotka rezaniem. Terminy, opredelenija i oboznachenija obshhih ponjatij* (Machining. Terms, definitions and designations of general concepts), 45 p.