

УДК 676:621.9.042

А. А. Жолобов, канд. техн. наук, проф., В. А. Логвин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧАШЕЧНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ РЕЗАНИИ

В статье предложен порядок определения параметров чашечных резцов при резании применительно ко второй геометрической прямой схеме ротационного резания. Приведены схемы расположения чашечного инструмента относительно заготовки, математические зависимости для определения его параметров, а также результаты анализа.

Для эффективного анализа режущих свойств инструментов необходимо рассмотреть их геометрические параметры в процессе резания. Определение рабочих параметров чашечных резцов в процессе резания возможно лишь аналитически. Исследователи предлагают различные схемы, с помощью которых можно измерить рабочие параметры инструментов. В частности, предложены системы координат

и схемы измерения углов ротационных инструментов [1]. Ниже приведем основные понятия и обозначения, характерные для процесса резания чашечными резцами.

Вершина чашечного резца M — наиболее заглубленная в обрабатываемый материал точка режущей кромки инструмента (рис. 1).

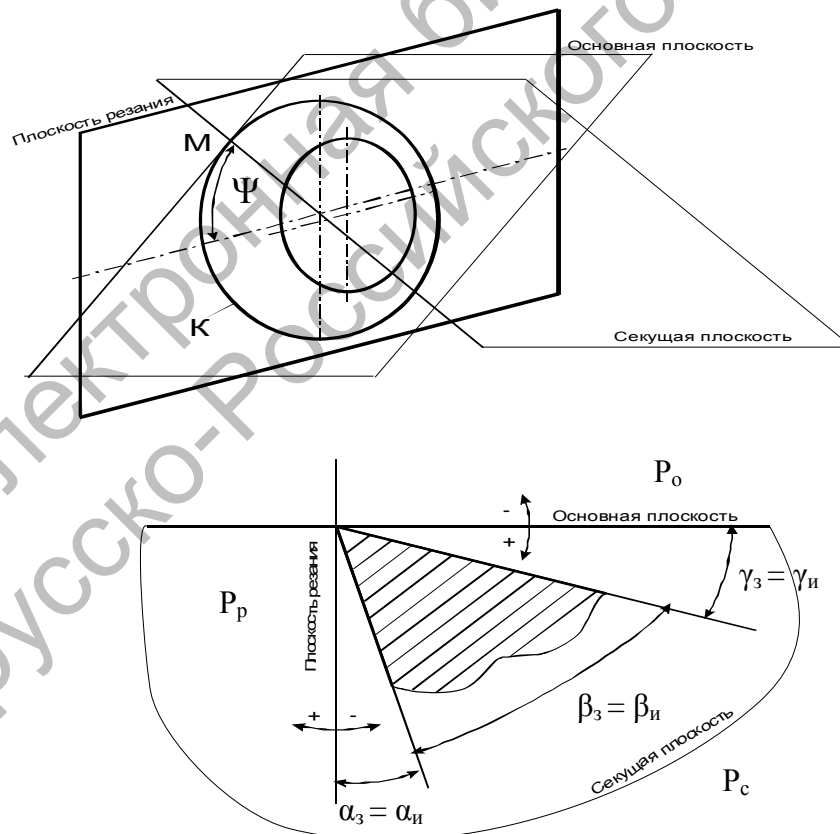


Рис. 1. Инструментальная система координат для чашечного резца

Она делит угол контакта резца с обрабатываемой заготовкой на две части, величина которых зависит от глубины резания, подачи, диаметра режущего лезвия, высоты и углов установки. Режущая кромка резца K образуется пересечением передней и задней, как правило, конических поверхностей лезвия и имеет форму

плоской замкнутой кривой, чаще всего окружности (см. рис. 1).

Угол контакта резца с заготовкой θ образуется между двумя радиусами, проведенными перпендикулярно к оси резца в точки его входа B и выхода A из обрабатываемой заготовки [2] (рис. 2).

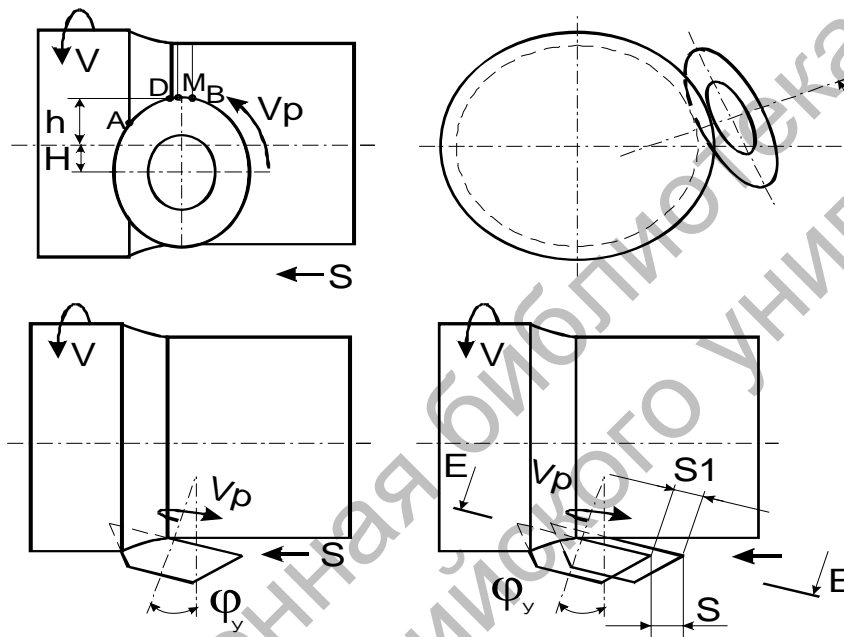


Рис. 2. Вторая геометрическая прямая схема ротационного резания

Для определения геометрических параметров процесса резания принята инструментальная система координат. Решение поставленной задачи выполнено применительно ко второй геометрической схеме прямого ротационного резания (см. рис. 2). В системе координат инструмента (см. рис. 1) измеряют передний и задний углы, которые обеспечиваются заточкой ($\gamma_{и} = \gamma_3$, $\alpha_{и} = \alpha_3$). Положение вершины резца определяется величиной угла Ψ .

Для принятой системы координатные плоскости для инструмента ориентированы относительно базовых элементов инструмента. Основная плоскость P_0 расположена параллельно оси резца и перпендикулярно плоскости вращения

режущей кромки. В рассматриваемой конкретной точке режущей кромки след основной плоскости проходит касательно к ней. Плоскость резания P_p проходит перпендикулярно основной плоскости и совпадает с плоскостью режущей кромки. Главная секущая плоскость P_c расположена перпендикулярно плоскости резания и проходит через вершину M и ось режущего элемента.

Определение параметров чашечного резца произведено в инструментальной системе координат при сечении системы «заготовка – резец» плоскостью, находящейся в плоскости резания P_p (см. рис. 2). В результате получено

сечение E-E (рис. 3), в котором две соприкасающиеся фигуры второго порядка, где эллипсы являются заготовкой, а окружность радиуса r — режущей кромкой. Для определения координат точки $A(x_a, y_a)$ выхода режущей кромки из заготовки по ходу вращения режущего элемента составлена система двух уравнений, корни которой соответствуют координатам точки A :

$$\frac{(x-W)^2}{A_1^2} + \frac{(y-H)^2}{B_1^2} = 1; \quad (1)$$

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad (2)$$

где r — радиус режущей кромки; A_1, B_1 — большая и малая полуоси эллипса заготовки, $A_1 = (R+t)/\sin\varphi_y$, $B_1 = (R+t)/\cos\beta_y$; R — радиус детали; t — глубина резания; φ_y — угол установки реза в горизонтальной плоскости; β_y — угол установки реза в вертикальной плоскости; W, H — координаты центра эллипса в главной системе координат YOX , совпадающей с инструментальной системой координат для чашечного реза.

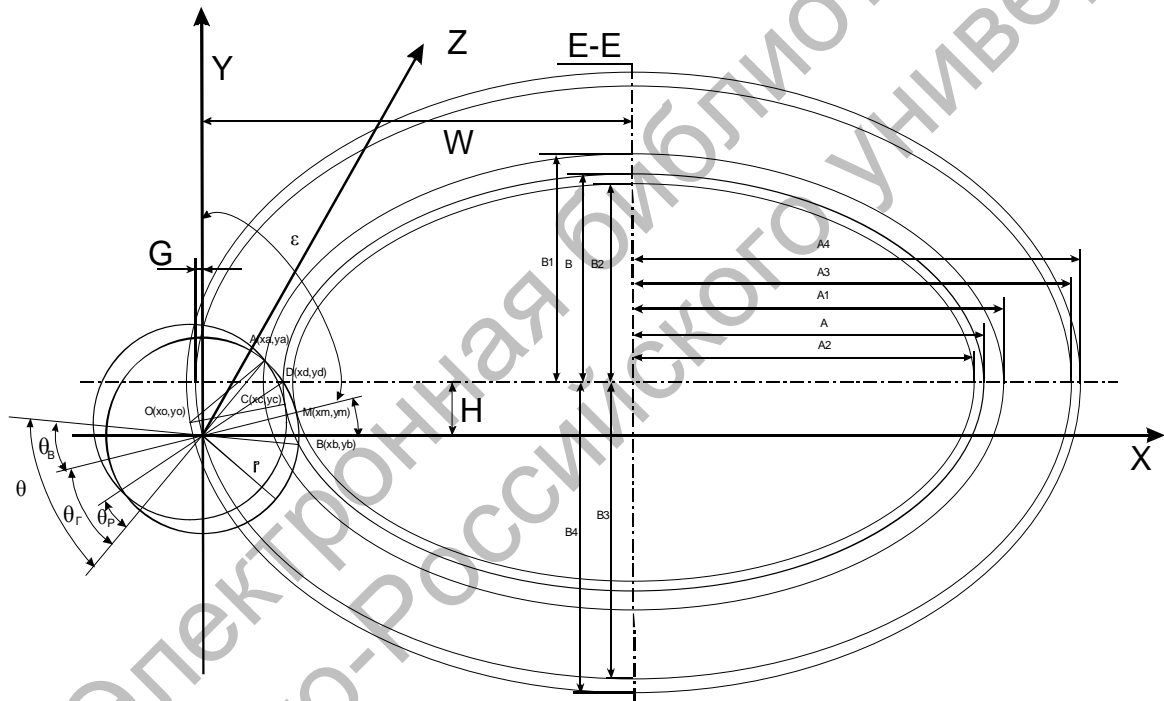


Рис. 3. Система координат для определения углов контакта, формы и площади пятна контакта по задней поверхности чашечного реза

В результате подстановки (2) в (1) и проведенных преобразований получено уравнение четвертой степени:

$$Ay^4 + By^3 + Cy^2 + Dy + E = 0,$$

где

$$A = (\sin^2 \varphi_y - \cos^2 \beta_y)^2 / \cos^2 \beta_y \sin^2 \varphi_y;$$

$$B = 4H(\sin^2 \varphi_y - \cos^2 \beta_y) / \sin^2 \varphi_y;$$

$$C = 2 / \cos^2 \beta_y \sin^2 \varphi_y [(W^2 \sin^2 \varphi_y + (R+t)^2 - r^2 \sin^2 \varphi_y) \sin^2 \varphi_y + (3H^2 \cos^2 \beta_y - (R+t)^2) \cos^2 \beta_y + (r^2 - H^2 + W^2) \cos^2 \beta_y \sin^2 \varphi_y];$$

$$D = 4H / \sin^2 \varphi_y [(R + t)^2 - \sin^2 \varphi_y (r^2 + W^2) - H^2 \cos^2 \beta_y];$$

$$E = 1 / \cos^2 \beta_y [r^2 (r^2 \sin^2 \varphi_y - 2(W^2 \sin^2 \varphi_y - (R + t)^2)) + H^2 \cos^4 \beta_y (2r^2 / \cos^2 \beta_y + 2W^2 / \cos^2 \beta_y - 2(R + t)^2 / \cos^2 \beta_y \sin^2 \varphi_y + H^2 / \sin^2 \varphi_y)];$$

в результате решения которого и определены координаты точки А.

Так как поверхность сопряжения между поверхностью детали и поверхностью заготовки получена в результате взаимодействия режущей кромки с заготовкой, то радиус этой цилиндрической поверхности в инструментальной системе координат, будет равен радиусу режущей кромки. Отсюда следует, что для определения координат центральной оси в инструментальной системе координат необходимо составить систему двух уравнений:

$$\frac{(x - W)^2}{A_4^2} + \frac{(y - H)^2}{B_4^2} = 1; \quad (3)$$

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = r^2; \quad (4)$$

где $A_4 = (R + r) / \sin \varphi_y$; $B_4 = (R + r) / \cos \beta_y$; x_a, y_a – координаты точки А.

Выполнив подстановку (4) в (3) и проведя преобразования, получаем уравнение четвертой степени общего вида, в результате решения которого найдены координаты точки $O(x_o, y_o)$ центра поверхности сопряжения заготовки с деталью на сечении Е-Е, представленном в виде окружности. Для определения координат точки $C(x_c, y_c)$ пересечения поверхности сопряжения с поверхностью детали составлена система двух уравнений:

$$\frac{(x - W)^2}{A^2} + \frac{(y - H)^2}{B^2} = 1; \quad (5)$$

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 = r^2, \quad (6)$$

где $A = R / \sin \varphi_y$; $B = R / \cos \beta_y$; x_o, y_o – координаты точки О.

Для определения координат точки $B(x_b, y_b)$ входа в поверхность детали и точки $D(x_d, y_d)$ выхода режущей кромки из поверхности детали по ходу вращения режущего элемента составлена система двух уравнений (2), (5) в результате решения которой получены координаты точек В и D.

Для определения координат вершины резца $M(x_m, y_m)$ составлена система из уравнений (2), (7), корни которой соответствуют координатам точки М.

$$\frac{(x - W)^2}{A_2^2} + \frac{(y - H)^2}{B_2^2} = 1, \quad (7)$$

где $A_2 = (R - \Delta) / \sin \varphi_y$; $B_2 = (R - \Delta) / \cos \beta_y$; Δ – упругая деформация обрабатываемого материала.

Из полученных координат точек легко определяются величины углов и дуг взаимодействия режущего элемента с заготовкой. Так, угол резания θ_p — это угол между двумя радиусами, проведенными из центра окружности режущей кромки в точку ее выхода из поверхности заготовки и в точку выхода режущей кромки из поверхности детали по ходу вращения резца, который определяется в градусах выражением:

$$\theta_p = \arctg(y_a / x_a) - \arctg(y_d / x_d).$$

Дуга резания L_p — это дуга окружности режущей кромки между точками А и D, по которой происходит образование, сход стружки. Она определяется в миллиметрах по формуле

$$L_p = \pi r \theta_p / 180.$$

Угол упругого взаимодействия θ_y — это угол, по которому происходит взаимодействие режущего элемента и детали без образования стружки. Он расположен между двумя радиусами, проведенными из центра окружности режущей кромки в точку ее выхо-

да из поверхности детали и в точку входа режущей кромки в поверхность детали по ходу вращения резца, и определяется выражением:

$$\theta_y = \arctg(y_d/x_d) + \arctg(y_b/x_b).$$

Дуга упругого взаимодействия режущей кромки с заготовкой L_y — это дуга режущей кромки, по которой осуществляется упругий контакт резца с поверхностью детали, она расположена между точками D и B и определяется в миллиметрах по формуле

$$L_y = \pi r \theta_y / 180.$$

Далее, в соответствии с существующей терминологией, согласно рис. 3, получены зависимости для определения углов и дуг контакта чашечного резца с заготовкой, по которым происходит взаимодействие элементов режущей кромки с обрабатываемой заготовкой. Так, для угла контакта режущей кромки с заготовкой получены следующие зависимости:

$$\theta = \arctg(y_a/x_a) + \arctg(y_b/x_b),$$

$$L = \pi r \theta / 180.$$

Зависимости, определяющие геометрические параметры взаимодействия главной режущей кромки с заготовкой, имеют вид:

$$\theta_r = \arctg(y_a/x_a) - \arctg(y_m/x_m),$$

$$L_r = \pi r \theta_r / 180.$$

Таким же образом получены формулы для определения параметров взаимодействия вспомогательной режущей кромки чашечного резца, по которым она осуществляет контакт с поверхностью детали:

$$\theta_b = \arctg(y_b/x_b) + \arctg(y_m/x_m),$$

$$L_b = \pi r \theta_b / 180.$$

Конфигурация пятна, по которому осуществляется упругопластическое воздействие задней поверхности режущего элемента чашечного резца на заготовку, представляет собой поверхность, которая отсекается на задней поверхности режущего элемента, имеющей форму конуса, цилиндрической поверхностью, состоящей из поверхности детали и поверхности сопряжения между поверхностью заготовки и поверхностью детали. Площадь поверхности такого вида определяется как двойной интеграл по поверхности, имеющей проекцию P на плоскости XOY:

$$S = \iint_{(P)} \sqrt{1 + (Z'_x)^2 + (Z'_y)^2} dx dy. \quad (8)$$

Для ее определения в выбранной системе координат составлены уравнение задней поверхности режущего элемента (9), уравнение поверхности детали (5) и уравнение поверхности сопряжения между поверхностью детали и поверхностью заготовки (6):

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} - \frac{(z - r \operatorname{tg} \alpha_3)^2}{r^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_3} = 0. \quad (9)$$

Для вывода математической зависимости, по которой будем определять площадь пятна контакта задней поверхности с заготовкой в процессе резания, уравнение (9) для определения производных и уравнения (5), (6) и (2) для определения пределов интегрирования преобразованы и приведены к виду:

$$z = r \operatorname{tg} \alpha_3 + \operatorname{tg} \alpha_3 \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (10)$$

$$x = W + \frac{A}{B} \sqrt{B^2 - (y - H)^2}; \quad (11)$$

$$x = x_o + \sqrt{r^2 - (y - y_o)^2}; \quad (12)$$

$$x = \sqrt{r^2 - y^2}. \quad (13)$$

Для выполнения подстановок взяты первые производные уравнения (10) по x и y :

$$z'_x = \frac{x \operatorname{tg} \alpha_3}{\sqrt{x^2 + y^2}}; \quad (14)$$

$$z'_y = \frac{y \operatorname{tg} \alpha_3}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (15)$$

Формула площади поверхности контакта задней поверхности режущего элемента с заготовкой в результате подстановок (11)...(15) в (8) принимает вид:

$$S = \int_{y_b}^{y_c} dy \int_{\frac{W+A}{B}\sqrt{B^2-(y-H)^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} \sqrt{1 + \frac{x^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_3}{x^2 + y^2} + \frac{y^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_3}{x^2 + y^2}} dx + \int_{y_c}^{y_a} dy \int_{x_o + \sqrt{r^2-(y-y_o)^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} \sqrt{1 + \frac{x^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_3}{x^2 + y^2} + \frac{y^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_3}{x^2 + y^2}} dx. \quad (16)$$

В результате проведенных преобразований (16) получена формула для вычисления площади пятна контакта задней поверхности режущего элемента с заготовкой в процессе обработки резанием:

$$S = \frac{1}{\cos \alpha_3} \int_{y_b}^{y_c} dy \int_{\frac{W+A}{B}\sqrt{B^2-(y-H)^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} dx + \frac{1}{\cos \alpha_3} \int_{y_c}^{y_a} dy \int_{x_o + \sqrt{r^2-(y-y_o)^2}}^{\sqrt{r^2-y^2}} dx. \quad (17)$$

Форма и площадь поверхности контакта чашечного резца с заготовкой по передней поверхности представляет поверхность, отсекаемую на передней поверхности режущего элемента цилиндрической поверхностью заготовки (рис. 4).

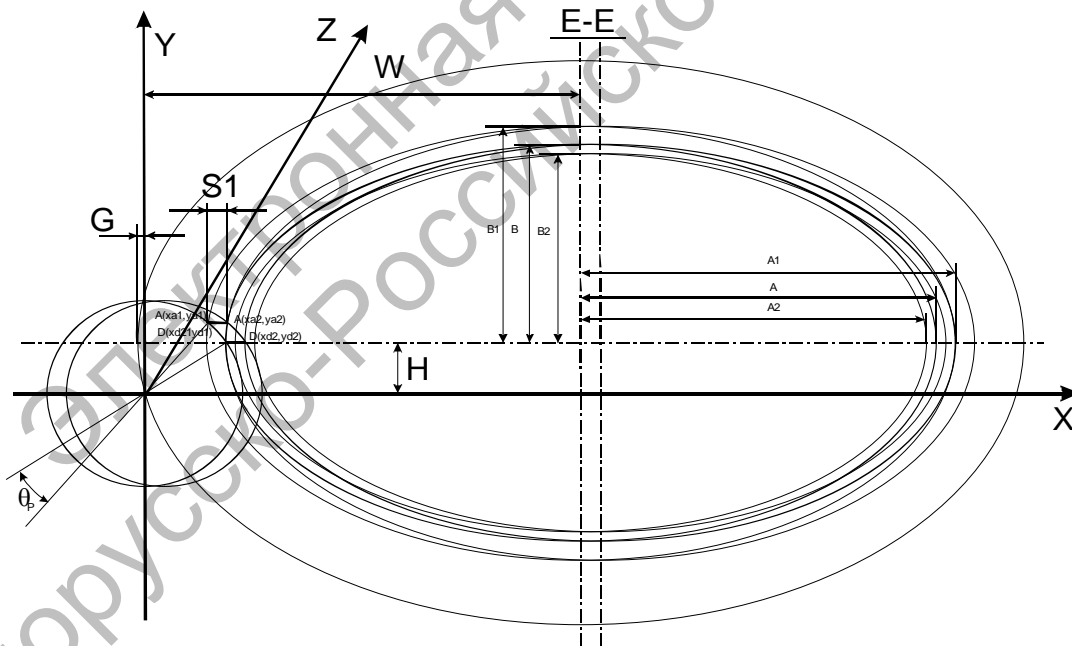


Рис. 4. Система координат и схема определения параметров среза и площадки контакта резца с заготовкой по передней поверхности режущего элемента

Для определения площади контакта передней поверхности с обрабатываемой заготовкой и параметров среза в инстру-

ментальной системе координат составлено уравнение передней поверхности режущего элемента (18) и уравнение

(19), определяющее положение режущей кромки в зависимости от величины подачи. В качестве нижнего предела интегрирования используем уравнение (13).

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} - \frac{(z - rtg(\alpha_3 + \beta_3))^2}{r^2 tg^2(\alpha_3 + \beta_3)} = 0; \quad (18)$$

$$(x - S_1)^2 + y^2 = r^2, \quad (19)$$

где $S_1 = S / \sin \varphi_y$; S – подача, мм/об, (см. рис. 2); β_3 – угол заострения режущего клина чашки в главной секущей плоскости, получаемый заточкой инструмента, $\beta_3 = \beta_{ин}$. В результате преобразований уравнения (1), (18) и (19) приведены к виду:

$$z = rtg(\alpha_3 + \beta_3) + tg(\alpha_3 + \beta_3)\sqrt{x^2 + y^2}; \quad (20)$$

$$x = W + \frac{A_1}{B_1}\sqrt{B_1^2 - (y - H)^2}; \quad (21)$$

$$x = S_1 + \sqrt{r^2 - y^2}. \quad (22)$$

Аналогично, как и для задней поверхности, взяты производные (20) по x и y , выполнены подстановки (21) и (22) в (8), произведены преобразования, и в результате упрощений получена формула для расчета площади среза в зависимости от параметров установки чашечного резца относительно заготовки, режимов резания, диаметра заготовки и режущей

кромки:

$$S = \frac{1}{\cos(\alpha_3 + \beta_3)} \int_{y_d}^{y_a} dy \int_{\sqrt{r^2 - y^2}}^{S_1 + \sqrt{r^2 - y^2}} dx. \quad (23)$$

В результате проведенных расчетов с использованием полученных зависимостей установлено, что с увеличением подачи и глубины резания пропорционально увеличивается площадь среза (см. рис. 4), при возрастании диаметра режущей кромки инструмента площадь среза уменьшается, с увеличением переднего угла заточки она возрастает. Параметры φ_y и H установки резца относительно заготовки на площадь среза оказывают наименьшее влияние.

Таким образом, полученные зависимости могут быть использованы в инженерной практике при проектировании инструментов для ротационной обработки, имеющих круговую режущую кромку, и разработке технологических процессов при изготовлении различных поверхностей резанием чашечными инструментами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые вопросы кинематики ротационного точения / Е. Г. Коновалов [и др.] // Вестн. АН БССР. – 1970. – № 3. – С. 37-46.
2. Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 230 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 20.04.2006

A. A. Zholobov, V. A. Logvin
Definition of parameters
of cup-tip tools at cutting
Belarusian-Russian University

In article have offered definition of parameters of cup-tip tools at cutting using second geometrical direct scheme of rotational cutting. Are presented the formulas of definition of parameters of cup-tip tools, pictures of location cup-tip tools concerning preform and also results of the analysis.