

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПРИ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Реализация предложенного в работе [1] научно-методического подхода к аналитическому определению составляющих силы резания при ротационном точении связана с необходимостью определения ширины v , и толщины a , срезаемого каждого элементарного участка режущей кромки в узловой точке M_i . Вторая задача определяется переходом от традиционного разложения силы резания на составляющие P_z , P_y и P_x к составляющим dP_{oi} , dP_{ri} и $dP_{\tau i}$ в произвольной точке M_i режущей кромки, направленным соответственно параллельно оси ротационного реза, по радиусу его режущей кромки и касательно к ней.

Для решения этих задач рассмотрим следующие системы координат (рис.1):

- 1) традиционную – XYZ с началом в точке B – вершине режущего лезвия (AB – активный участок);
- 2) систему $X'Y'Z'$, которая преобразуется из системы XYZ путем ее поворота на установочный угол φ вокруг оси Z (в этой системе измерялись экспериментальные значения составляющих силы резания);
- 3) систему $X_1Y_1Z_1$, преобразуемую из предыдущей системы $X'Y'Z'$ путем ее поворота вокруг оси X' на установочный угол β_y вокруг оси X' ;
- 4) первичную систему $X_pY_pZ_p$, связанную с резцом и образуемую параллельным переносом начала координат системы $X_1Y_1Z_1$ из точки B в точку O_1 в плоскости круговой режущей кромки радиусом r (в этой системе первично задаются координаты произвольной точки M_i режущей кромки и по ее осям направлены элементарные составляющие силы резания dP_{oi} и dP_{ri}).

Ширина срезаемого слоя v определяется по углу θ контакта режущей кромки с поверхностью резания и ее радиусу r , как $v = r\theta$ (θ – в радианах). Угол θ определяется с учетом радиуса кривизны поверхности резания в сечении плоскостью, проходящей через режущую кромку [2, 3]:

$$\theta = \arccos \left[1 - \frac{t + 2\rho \sin \varphi_y \cdot \sin \psi_b}{2r \cdot \sin^2 \varphi_y (r + \rho)} \right], \quad (1)$$

где t – глубина резания; β_y и φ_y – установочные углы реза относительно обработанной поверхности радиуса R_0 соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях (вершина B реза – на уровне центров станка); ψ_b – угловая координата вершины B реза в первичной системе координат $X_pY_pZ_p$;

$$\rho = \frac{R_0 \cdot \sin \varphi_y}{\cos^2 \beta_y \cdot \sin^3 \psi_b}, \quad (2)$$

$$\psi_b = \arccos \cdot \operatorname{tg} \frac{\operatorname{tg} \varphi_y}{\sin \beta_y} \quad (3)$$

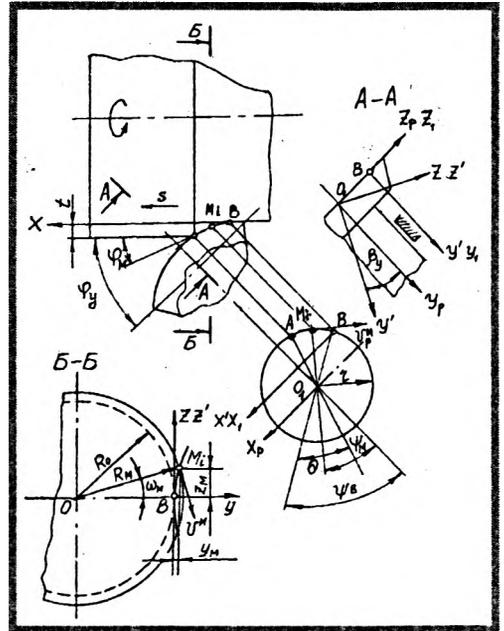


Рис. 1. Схема для расчета геометрических параметров процесса ротационного точения (обратная схема резания)

Количество элементарных участков при моделировании процесса [1] определяется как $n = \frac{\theta}{d\psi}$, где $d\psi$ - угол контакта элементарного участка режущей кромки в пределах ее активного участка.

Угол контакта ψ узловых точек M_i элементарных участков кромки находится в диапазоне $\psi_0 - \theta \leq \psi_m \leq \psi_0$. Величина $d\psi$ выбирается в зависимости от требуемой точности расчета в пределах 0,02...0,20 радиан.

Толщина a_m для произвольной точки M_i активного участка AB режущей кромки в соответствии с общепринятым определением рассматривается как расстояние по нормали к поверхности резания в точке M_i между двумя смежными поверхностями резания, смещенными друг относительно друга на величину подачи S .

Для аналитического определения величины a_m используется аппарат векторной алгебры и логические соображения. Сначала выражаем в параметрическом виде уравнения режущей кромки в первичной системе координат $X_p; Y_p; Z_p$:

$$\begin{cases} X_p = -r \sin \psi \\ Y_p = 0 \\ Z_p = r \cos \psi \end{cases} \quad (4)$$

где ψ - текущий угловой параметр, задав величину которого, например ψ_m , получаем координаты точки M_i .

Координаты произвольной точки M_i преобразуем путем перехода от первичной системы координат к традиционной XYZ , что позволяет из геометрических соображений (см. сечение Б-Б на рис. 1) определить величины R_m и ω_m :

$$R_m = \sqrt{(R_0 + y_m)^2 + Z_m^2} \quad (5)$$

$$\sin \omega_m = \frac{r}{R_m} (\cos \psi_m - \cos \varphi_0) \cos \beta_y, \quad (6)$$

где Y_m и Z_m - координаты рассматриваемой точки M_i режущей кромки в системе координат XYZ :

$$Y_m = r [(\sin \psi_\beta - \sin \psi_\mu) \sin \varphi_y + (\cos \psi_\mu - \cos \psi_\beta) \sin \beta_y \cdot \cos \beta],$$

$$Z_m = r (\cos \psi_\mu - \cos \psi_\beta) \cos \beta_y.$$

Учитывая, что на активном участке AB режущей кромки последняя располагается на поверхности резания, находим уравнения двух поверхностей резания, смещенных друг относительно друга величину S . Поскольку нормаль N к поверхности резания перпендикулярна к касательной плоскости в рассматриваемой точке M_i , составляем векторное произведение (7) двух векторов \overline{V}^μ и \overline{V}^π , лежащих в этой плоскости, которое и будет определять искомый вектор \overline{N} .

$$\overline{N} = \overline{V}^\mu \times \overline{V}^\pi \quad (7)$$

Совместное решение полученных систем уравнений позволяет определить длину отрезка нормали N между двумя положениями поверхности резания, равную толщине a_m срезаемого слоя в рассматриваемой точке M_i .

$$a_m = \frac{-f_1 \pm \sqrt{f_1^2 - f_2 \times f_3}}{f_2}, \quad (8)$$

где f_1, f_2, f_3 - сложные системы тригонометрических уравнений, зависящие от условий обработки ($R_0, r, \beta_y, \varphi_y, \psi_0, \psi_m, V_p, V$).

Полученный алгоритм расчета толщины среза для любой точки режущей кромки учитывает все геометрические и кинематические особенности процесса ротационного резания. Однако для решения практических задач определенные затруднения вызывают большой объем вычислений. Поэтому на первых этапах моделирования процесса предлагается упростить расчетную схему, заменив криволинейный участок режущей кромки в окрестностях точки M_i прямой линией $M_i C'$, касательной к режущей кромке (рис. 2). Тогда:

$$a_m = M_i C' = S \frac{\sin \varphi_\mu}{\cos \varphi_\mu \cos \omega_\mu} \quad (9)$$

где φ_m – главный угол в плане в точке M_i ,

$$\cos \varphi_m = \frac{\cos \psi_\mu \cdot \cos \varphi_y + \sin \beta_y \cdot \sin \varphi_y \cdot \sin \psi_\mu}{\sqrt{\cos^2 \psi_\mu + \sin^2 \psi_\mu \cdot \sin^2 \beta_y}} \quad (10)$$

Подставив вычисленные значения углов φ_m и ω_m по формулам (6) и (10) в уравнение (9) определяем искомую приближительную величину толщины среза a_m , которая будет отличаться геометрически от “точного” значения на величину отрезка CC' . Все полученные аналитические зависимости справедливы для обратной схемы резания [2]. При прямой схеме в формулах угол φ_y имеет знак «минус».

Для оценки погрешности предложенного упрощения были произведены расчеты по обеим предложенным методикам при следующих исходных условиях: $R_o = 50$ мм, $r = 16$ мм, $\beta_y = 25^\circ$, $\varphi_y = 35^\circ$, $t = 2,5$ мм, $S = 0,3$ мм/об.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Анализ результатов расчета (табл. 1) показывает, что относительная погрешность приближенной методики расчета a_m не превышает 7-8%, причем абсолютная величина погрешности составляет менее 6 мкм. По мере удаления рассматриваемой точки M_i режущей кромки от ее вершины B относительная погрешность уменьшается до 4-5%. Поэтому для дальнейших практических расчетов целесообразно пользоваться предложенной упрощенной методикой расчета толщины срезаемого слоя в узловых точках режущей кромки при ее разбиении на участки при моделировании процесса ротационного резания

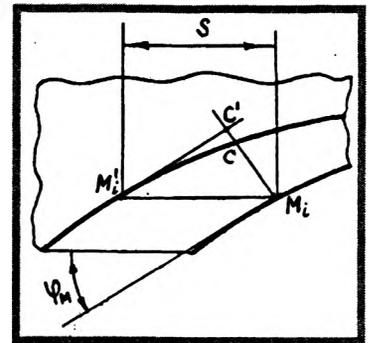


Рис. 2. Схема для упрощенного расчета толщины срезаемого слоя в узловой точке M_i элементарного участка режущей кромки

Таблица 1. Расчетные значения толщины среза a_m (мкм) и погрешности расчетов

	Угловой параметр ψ_μ точки M_i , град				
	$\psi_\mu - 5^\circ$	$\psi_\mu - 10^\circ$	$\psi_\mu - 20^\circ$	$\psi_\mu - 30^\circ$	$\psi_\mu - 40^\circ$
Уточненная методика	17	39	74	104	125,5
Приближенная методика	18,2	41,5	79	109	130
Абсолютная погрешность, мкм	1,2	2,5	4	5	5,5
Относительная погрешность, %	7,0	6,4	5,4	4,8	4,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко В.А. Научно-методические положения теоретического определения сил при ротационном резании // Теория и практика машиностроения, 2005, № 2. 2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972, 3. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987.