

**Приказчиков Сергей Яковлевич**

канд. техн. наук, доцент

**Горбачев Валерий Олегович**

канд. техн. наук, ассистент

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный  
технический университет им. Гагарина Ю.А.»

г. Саратов, Саратовская область

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация:** в работе приводятся основные положения порядка применения PTC MathCAD для определения профиля и диаметра инструмента третьего порядка и результаты практического внедрения результатов численного профилирования.

**Ключевые слова:** инструментальное производство, профилирование, инструменты третьего порядка, мультиэлементный профиль, PTC MathCAD.

При решении задачи профилирования инженеру приходится решать двуденную задачу определения профиля инструмента третьего порядка, например, шлифовального круга для радиального затылования дисковой фасонной фрезы и определения максимального диаметра шлифовального круга, исключающего несанкционированное столкновение шлифовального круга с зубом, следующим за затылуемым. Приведем пример решения задачи применительно к радиальному затылованию инструмента с производящей поверхностью, соответствующей сверлу с расширенной стружечной канавкой и мультиэлементным поперечным профилем.



Рис. 1. Фреза и обрабатываемое сверло с мультиэлементным профилем

Производящую поверхность (ПП) фрезы представим набором параметров: табличной функцией  $R_i=R(X_i)$ , независимой переменной  $\xi$  и параметрическими выражениями в системе координат  $XYZ$ , ось  $X$  которой совпадает с осью вращения фрезы.

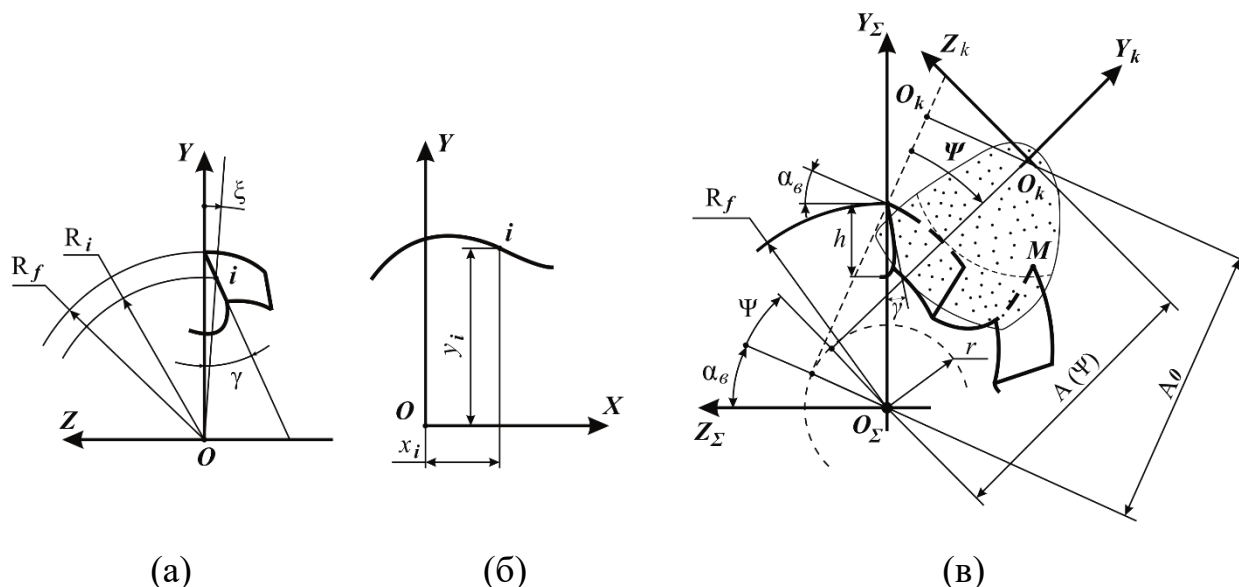


Рис. 2. Представление профиля ПП (а), режущей кромки (б) и схемы радиального затылования (в)

Переписав параметрические выражения из системы координат  $S$  в систему шлифовального круга  $S_k$  и учитывая текущее расстояние между осями фрезы и круга в процессе затылования –  $A(\psi)$  получим очевидные выражения:

$$\left. \begin{aligned} X_k &= X; \\ Y_k &= Y \cdot \cos \psi - Z \cdot \sin \psi - A(\psi); \\ Z_k &= Y \cdot \sin \psi + Z \cdot \cos \psi. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Межосевое расстояние  $A(\psi)$  зависит от исходного межосевого расстояния  $A_0$ , определяемого, в первом приближении, с учетом наружного радиуса фрезы  $R_f$ , высоты затылуемого зуба  $h$  и наружного радиуса шлифовального круга  $R_n$ , а также параметра радиального затылования, определяемого с учетом заднего угла на вершине зуба  $\alpha_s$  (рис.2в) в следующем виде:

$$A(\psi) = \sqrt{(R_f + R_n \cdot \cos(\alpha))^2 + (r_n \cdot \sin(\alpha))^2} + R_f \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \psi. \quad (2)$$

Текущее по  $\psi$  расстояние  $R_i(\psi)$  от оси шлифовального круга  $O_k$  до рассматриваемой точки на кромке в системе  $S_k$  запишем:

$$R_{i(\psi)} = \sqrt{(Z_{k(\psi)})^2 + (Y_{k(\psi)})^2}, \quad (3)$$

Режущая кромка фрезы формообразует кривую искомой поверхности шлифовального круга в момент характеристического взаимодействия, когда расстояние от рассматриваемой точки режущей кромки до оси шлифовального круга будет минимальным, что определяется процедурой минимизации функции (3) на отрезке  $[\psi_1 \leq \psi \leq \psi_2]$ . Наличие этого момента подтверждается графической интерпретацией средствами MathCAD минимизируемой унимодальной функции (3) (идентификатор программы Rkm (M) на рис.3а) на этом локальном отрезке  $[-0,2 \leq \psi \leq 0,2]$  для одной из точек профиля (рис. 3б).

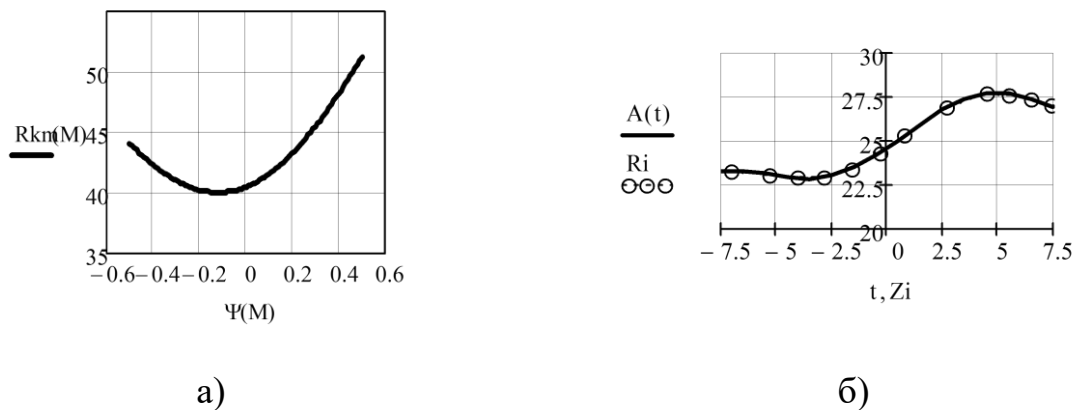


Рис. 3. График изменения расстояния от оси круга до точки на кромке и профиль ПП фрезы в графической форме

В работе [1] предлагается находить профиль ПП круга по дифференциально-численному алгоритму с использованием функции  $\text{rsort}(Rk, i)$  MathCAD сортировки столбцов матрицы  $Rk(i, M)$  в порядке возрастания элементов её строк (поперечных сечений шлифовального круга) при подстановке в качестве значений столбцов этой матрицы величин  $R_i(\psi)$ .

Если же точности вычислений при дискретном описании недостаточно, то, для ее повышения, предлагается прибегнуть к аппроксимации дискретных функ-

ций  $R_i(\psi)$  (одна изображена на рис.3а) кубическими сплайнами  $A(t)$ , где  $t$  -идентификатор угла поворота в относительном движении затылования  $\Psi(M)$ , с составлением дифференциального уравнения процедурами системы MathCAD:

$$\frac{d}{dt} A(t)=0. \quad (4)$$

Решается уравнение относительно искомого угла поворота  $t$  встроенной функцией вида:

$$tk=root\left(\frac{d}{dt} A(t),t,-1.0,1.0\right). \quad (5)$$

Визуализация сплайн-функции текущего расстояния от оси круга до точки и производной этой функции на отрезке изменения угла поворота при затылования  $[-1 \leq t \leq 1]$  (рис. 4) средствами MathCAD показывает отсутствие локальных экстремумов и ложных решений.

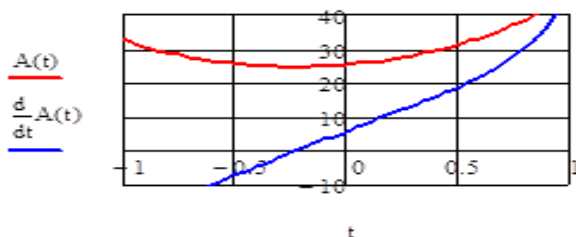
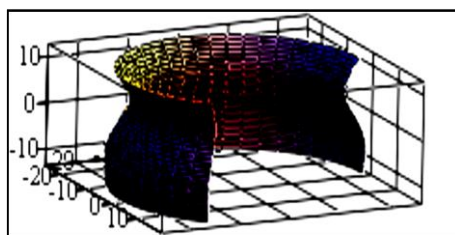


Рис. 4. К поиску минимального расстояния от кромки до оси круга

Найденный таким образом профиль шлифовального круга для затылования всего режущего периметра зуба, построенный по массивам значений координат точек профиля, показан на рис. 5.



Р

Рис. 5. Профиль ПП шлифовального круга и её трёхмерная модель

По профилю рис. 5 настраивается система правки круга и изготавливается контрольный шаблон. При этом искомый диаметр шлифовального круга предлагается определять из аналитического эквивалента столкновения круга с фрезой в точке М при затыловании, в виде совместности уравнений окружности фрезы и уравнений окружности круга, записанных в общей для них системе координат  $S_\Sigma$  с учётом относительного движения при затыловании и при его решении численно с нулевого приближения  $R_k$  вычислительным блоком Given/Find программы MathCAD. Наличие решения такого уравнения  $f(R_k)$  и нулевое приближение определяются его графическим анализом.

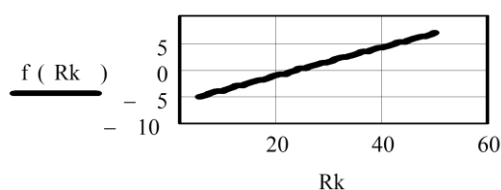


Рис. 6. Графический анализ трансцендентного уравнения

На рис. 7 показана наладка токарно-затыловочного станка фирмы Module модели ДН 160/400 для затылования описанной фрезы и экспериментального подтверждения выдвинутых в статье теоретических предпосылок.

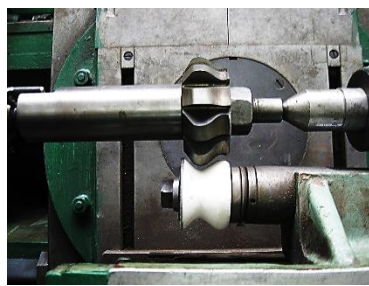


Рис. 7. Практическая реализация алгоритмов профилирования

### Список литературы

1. Погораздов В.В. Профилирование в среде Маткад дискового инструмента для винтовой поверхности с дискретным поперечным профилем / В.В. Погораздов, В.О. Горбачёв // Исследование сложных технических систем: Сб. научн. тр. – Саратов СГТУ. – 2011. – С. 81–88.