

УДК 621.941.1

## АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОБРАЗА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Вадим Владимирович Михрютин <sup>(1)</sup>,  
Станислав Владимирович Слободской <sup>(2)</sup>

*К.т.н. доцент <sup>(1)</sup>, аспирант 3 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «РМСИ»  
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени  
П.А. Соловьева*

*Научный руководитель: В.В. Михрютин,  
к.т.н. доцент кафедры «РМСИ»*

В настоящее время для технологической подготовки производства широко используются автоматизированные системы проектирования. В процессе технологического проектирования возникает два вида задач, при решении которых требуется проводить моделирование процесса резания:

- подбор режущего инструмента из существующей базы данных;
- проектирование нового инструмента для заданных условий механической обработки.

Моделирование процесса обработки позволяет определить область допустимых режимов использования инструмента, а также выбрать наиболее подходящий инструмент и режимы обработки, либо подобрать рациональные геометрические параметры, обеспечивающие его работоспособность. Для создания модели инструмента большое значение имеет разработка трехмерной модели его геометрического образа [1].

В настоящее время широкое распространение получил сборный режущий инструмент, в том числе инструмент, оснащенный сменными многогранными пластинами (СМП). Ввиду многообразия форм и размеров применяемых инструментов для автоматизированного построения трехмерной модели его геометрического образа целесообразно описывать его геометрию набором параметров, характеризующих его режущую часть [2, 3]. Такой подход позволяет в значительной степени автоматизировать расчет выходных геометрических параметров любого типа сборного инструмента, оснащенного СМП, но для его реализации требуется разработка алгоритма построения моделей геометрического образа СМП различной формы. Для прорисовки контура пластины целесообразно пользоваться рациональной кривой Безье или NURBS, позволяющими воспроизводить, в частности, отрезки прямых и конические сечения включая дуги окружностей.

Форма пластин регламентирована стандартом ISO 1832-85 и ГОСТ 19042-80, согласно которому по форме пластины разделяются на четыре основных группы.

К первой группе относятся равносторонние и равноугольные пластины. В основе их геометрической формы лежит правильный многоугольник (рис. 1), что позволяет использовать для определения параметров пластины следующие уравнения. Угол при вершине образующего многоугольника

$$\varepsilon_M = \frac{\pi}{2}(n - 2), \quad (1)$$

где  $n$  – число вершин образующего многоугольника.

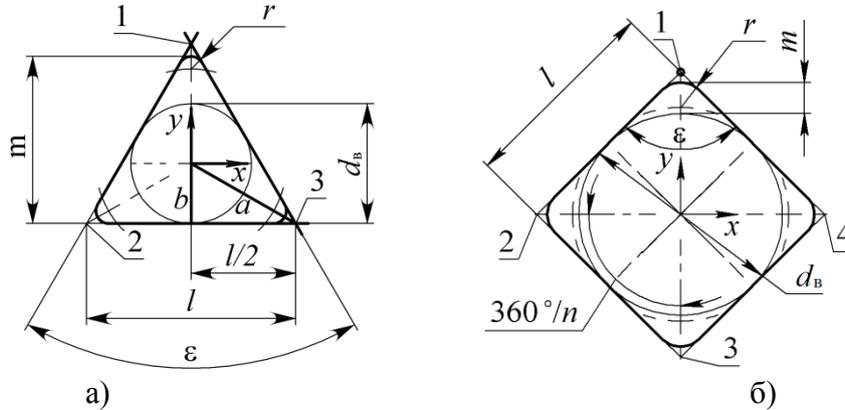


Рис. 1. Конструкция и размеры равносторонних равноугольных пластин  
а) - с нечетным числом вершин; б) - с четным числом вершин

Диаметр вписанной окружности многоугольника

$$d_B = l \tan \frac{\varepsilon_M}{2} \quad (2)$$

где  $l$  – длина стороны многогранника, м.

Радиус описанной окружности многогранника

$$R = \frac{l}{2 \cos \frac{\varepsilon_M}{2}} \quad (3)$$

Величина параметра геометрического  $m$  определяется числом граней пластины  
Размер от центра до вершины пластины

$$m = R + r \left( 1 - \frac{1}{\sin \frac{\varepsilon_M}{2}} \right) \pm \frac{d_B}{2} \quad (4)$$

где  $r$  – радиус при вершине пластины, м. Знак «+» в уравнении соответствует пластинам с нечетным числом вершин, «-» – четным.

Вычисления по формулам (1 – 4) при построении контура ребер пластин необходимо производить при построении контура режущих кромок равносторонних равноугольных пластин как с радиусом, так и без радиуса при вершине. Для сокращения записи алгоритм расчета по данным формулам обозначим А1.

Координаты вершин образующего многоугольника в расширенном «однородном» пространстве

$$p_{Vi} = [-R \sin \psi i \quad R \cos \psi i \quad 0 \quad 1]^T \quad (5)$$

где  $\psi = \frac{2\pi}{n}$  – центральный угол между вершинами многоугольника;

$i$  – номер вершины многоугольника  $i=0, \dots, n$ .

Для сменных многогранных пластин без радиусов при вершинах для построения контура режущих кромок в качестве узловых точек кривых необходимо задавать только вершины образующего многоугольника. При этом матрица вершин будет записана как

$$p = [p_{v0}, p_{v1}, \dots, p_{vn}] \quad (6)$$

Вектор весов узловых точек профиля будет представлять собой вектор из  $n+1$  элементов

$$w = [1]_{1, n+1}. \quad (7)$$

Вектор, задающий порядок кривых будет иметь  $n$  элементов

$$d = [1]_{1, n} \quad (8)$$

Алгоритм вычисления координат узловых точек по уравнениям (6 – 8) обозначим А1-1.

Центральная симметрия пластины позволяет задать уравнения координат контрольных точек кривых только для трех точек, задающих дугу окружности скругленной вершины (рис. 2), а остальные получить за счет преобразования поворота вокруг центра симметрии пластины.

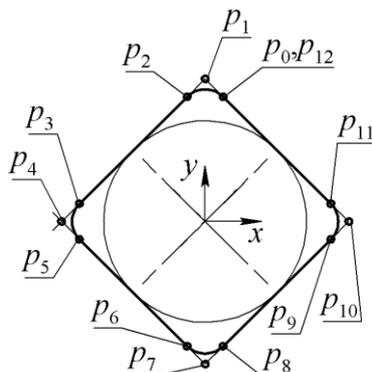


Рис. 2. Узловые точки профиля равносторонних и равноугольных пластин

Координаты узловых точек кривых при этом рассчитываются по следующим зависимостям. Точка  $p_0$  перехода линейной кромки в круговую

$$p_0 = \begin{bmatrix} p_{0x} \\ p_{0y} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \frac{\varepsilon_M}{2} \\ R - r \left( \frac{1}{\sin \frac{\varepsilon_M}{2}} + \sin \frac{\varepsilon_M}{2} \right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Точка  $p_1$  соединения круговой кромки с линейной

$$p_2 = \begin{bmatrix} -p_{0x} & p_{0y} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T, \quad (10)$$

где  $p_{0x}$ ,  $p_{0y}$  – координаты по осям  $x$  и  $y$  точки  $p_0$ .

Матрица координат узловых точек профиля режущих кромок пластины

$$p = [p_0, p_1, p_2, R_z(\psi_i)p_0, R_z(\psi_i)p_1, R_z(\psi_i)p_2, \dots, p_0], \quad (11)$$

где  $R_z(\square i)$  – матрица,

Вектор весов рациональных кривых составляющих сегментов будет иметь блочную форму

$$w = \left[ \left[ \begin{matrix} 1, \sin \frac{\varepsilon_M}{2}, 1 \end{matrix} \right]_{1, n+1}, 1 \right] \quad (12)$$

Вектор порядка рациональных кривых составляющих сегментов также будет иметь блочную форму

$$d = [2, 1]_{1, n} \quad (13)$$

Алгоритм вычисления координат узловых точек по уравнениям (9 – 13) обозначим А1-2.

Геометрические параметры равносоставленных неравноугольных пластин, к которым относятся пластины ромбической и шестигранной формы (рис. 3) определяются по следующим зависимостям. Параметр

$$m = \frac{d_B - 2r}{2 \sin \frac{\varepsilon}{2}} + r - \frac{d_B}{2}. \quad (14)$$

Величина угла вершины с большим значением угла

$$\xi = \frac{2\pi}{n} - \pi + \varepsilon. \quad (15)$$

Для пластин ромбической формы принимается значение  $n=2$ , для шестигранной  $n=3$ .

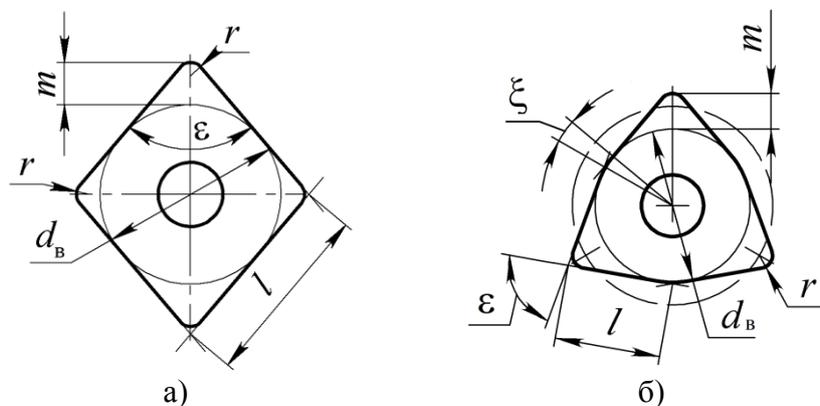


Рис. 3. Конструкция и размеры равносоставленных и неравноугольных СМП  
а) – ромбической, б) – шестигранной формы

Координаты узловых точек контура режущих кромок рассчитываются по следующим зависимостям.

$$p_0 = \left[ \begin{matrix} r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & \frac{d_B - r}{2} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{matrix} \right]^T.$$

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \begin{bmatrix} 0 & \frac{d_B}{2 \sin \frac{\varepsilon}{2}} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 p_2 &= \begin{bmatrix} -r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & m - r + \frac{d_B}{2} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 v_3 &= \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2} \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & \frac{d_B}{2} \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 p_4 &= \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2 \cos \frac{\xi}{2}} \sin \frac{\pi}{n} & \frac{d_B}{2 \cos \frac{\xi}{2}} \cos \frac{\pi}{n} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 p_2 &= \begin{bmatrix} -r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & m - r + \frac{d_B}{2} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 v_3 &= \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2} \sin \left( \frac{\pi}{n} + \frac{\xi}{2} \right) & \frac{d_B}{2} \cos \left( \frac{\pi}{n} + \frac{\xi}{2} \right) & 0 & 1 \end{bmatrix}^T \\
 t &= \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\pi - \xi}{2} |\bar{v}_3 - \bar{p}_4|} \\
 p_3 &= \bar{p}_4 + [\bar{v}_3 - \bar{p}_4] t \\
 p_5 &= \bar{p}_4 + [\bar{v}_5 - \bar{p}_4] t. \tag{16}
 \end{aligned}$$

Матрица координат узловых точек профиля режущих кромок пластины

$$p = \begin{bmatrix} p_0, p_1, p_2, p_4, p_5, \\ R_z(\psi i) p_0, R_z(\psi i) p_1, R_z(\psi i) p_2, R_z(\psi i) p_3, R_z(\psi i) p_4, R_z(\psi i) p_5, \dots, p_0 \end{bmatrix}, \tag{17}$$

где  $R_z(\square i)$  – матрица,

Вектор весов рациональных кривых составляющих сегментов будет иметь блочную форму

$$w = \left[ \left[ 1, \sin \frac{\varepsilon_M}{2}, 1, \sin \frac{\xi}{2}, 1 \right]_{1, n+1}, 1 \right]. \tag{18}$$

Вектор порядка рациональных кривых составляющих сегментов также будет иметь блочную форму

$$d = [2, 1, 2, 1]_{1, n} \tag{19}$$

Алгоритм вычисления координат узловых точек по уравнениям (14 – 19) обозначим А2. Для построения ромбических пластин необходимо принимать  $n=2$ , а шестиугольных неравноугольных  $n=3$ .

Аналогичным образом получают уравнения для описания геометрии режущих кромок других форм пластин. При этом приняты следующие обозначения. Алгоритм для построения профиля режущих кромок равносторонних и равноугольных пластин с фасками обозначен как А1-3; круглых – А1-4; прямоугольных с острыми вершинами, скруглениями и фасками – А3-1, А3-2 и А3-3 соответственно. Для пластин параллелограммной формы с острыми вершинами, скруглениями и фасками – А4-1, А4-2 и А4-3. Пластины нестандартной формы задаются списками координат и весов узловых точек профиля в трехмерном пространстве, а также порядком кривой, что позволяет задавать криволинейный профиль пластин.

Исходными данными для построения контура режущих кромок является цифровой или буквенно-цифровой код в соответствии с ГОСТ 19042-80. Анализ данного кода производит компьютерная программа, которая производит построение и визуализацию модели геометрического образа пластины в соответствии с предложенным алгоритмом. Изменяя код обозначения пластины, становится возможным эффективно изменять геометрию исследуемого инструмента, создавая новые варианты его конструкции.

С использованием результатов работы [3] становится возможным быстро изменять углы и число режущих зубьев сборного инструмента.

Предложенные алгоритмы построения с целью их проверки реализованы в системе Mathcad и позволяют производить расчет и визуализацию модели геометрического образа СМП, установленных в режущем инструменте с заданными геометрическими параметрами режущей кромки (рис. 4).

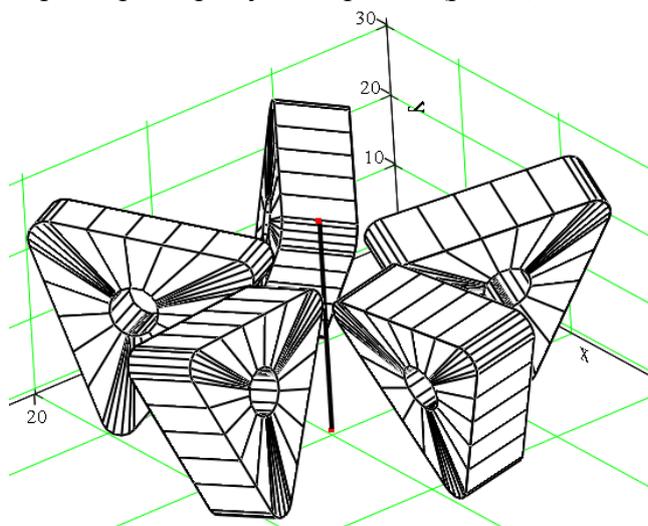


Рис. 4. Пример построения модели геометрического образа СМП фрезы

Целесообразна реализация алгоритмов в отдельном компьютерном приложении с использованием одного из известных графических ядер. Создание такого приложения позволит повысить эффективность технологического проектирования операций механической обработки и создания новых инструментов.

Предложенный в работе алгоритм позволяет повысить эффективность проведения модели геометрического образа режущего инструмента на этапе технологической подготовки производства и конструирования сборного инструмента, оснащенного СМП.

### **Литература**

1. *Михрютин В. В.* Методология построения комплексной системно-аналитической модели процессов резания// Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева, – Рыбинск: РГАТА, 2009, С. 39 – 46.
2. *Михрютин В. В.* Построение математических моделей рабочих кромок лезвий режущих инструментов// Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии имени П. А. Соловьева. № 3(18) 2010. С. 158 – 166.
3. *Михрютин В. В.* Математическое описание сборного режущего инструмента для моделирования процессов механической обработки// Сборка в машиностроении, приборостроении. № 6, 2011. С. 22 – 30.