

УДК 621.941.1

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОБРАЗА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕННОГО СМП

В. В. Михрютин<sup>1</sup>, С. В. Слободской<sup>2</sup>

<sup>1</sup>v\_mihrutin@rgata.ru, <sup>2</sup>kirian-kun@mail.ru

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева  
(РГАТУ им. П. А. Соловьева)

Поступила в редакцию 28.01.2013

**Аннотация.** В работе предлагаются алгоритмы автоматизированного построения моделей геометрического образа режущих пластин стандартной формы для сборных инструментов. Данные модели предполагается использовать для расчета параметров процесса обработки.

**Ключевые слова:** моделирование режущего инструмента; оснащенный СМП инструмент; геометрия режущего инструмента; режущая кромка; моделирование процесса резания.

В настоящее время для технологической подготовки производства широко используются автоматизированные системы проектирования. В процессе технологического проектирования возникает несколько видов 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 процессов механической обработки при выборе и оптимизации режимов резания.

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].

Для оснащения станков с ЧПУ широко применяется сборный режущий инструмент, в том числе инструмент, оснащенный сменными многогранными пластинами (СМП). Моделирование инструмента данного вида имеет ряд особенностей.

### ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Режущий инструмент, ввиду многообразия форм и размеров, принято характеризовать набором параметров, задающих положение режущих кромок в пространстве относительно направлений главного движения и подачи. Данный набор параметров определен в стандарте [2].

В работах [3, 4] предложена методика, дающая основу для автоматизации создания трехмерных моделей геометрического образа режущей части инструментов, оснащенных СМП, с использованием набора параметров [2].

При этом в качестве входных данных используются параметры, задающие положение режущей кромки относительно системы координат инструмента. 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.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для повышения качества технологического проектирования и получения возможности эффективной разработки вариантов конструкции сборного режущего инструмента, оснащенного СМП, необходимо создать алгоритмы автоматизированного построения моделей геометрического образа режущих пластин различной формы.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Форма пластин регламентирована стандартом ISO 1832-85 и ГОСТ 19042-80, согласно которому по форме пластины разделяются на четыре основные группы. Классификация, принятая в стандарте, была использована при построении алгоритмов расчета для координат узловых точек профиля режущих кромок пластин СМП.

К первой группе относятся равносоставленные и равноугольные пластины. В основе их геометрической формы лежит правильный многоугольник с нечетным (рис. 1) и четным (рис. 2) числом вершин, что позволяет использовать для определения параметров пластины следующие уравнения.

Угол при вершине образующего многоугольника

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

где  $n$  – число вершин образующего многоугольника.

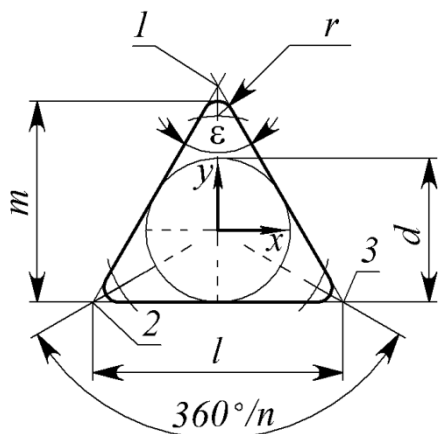


Рис. 1. Конструкция и размеры равносоставленных равноугольных пластин с нечетным числом вершин

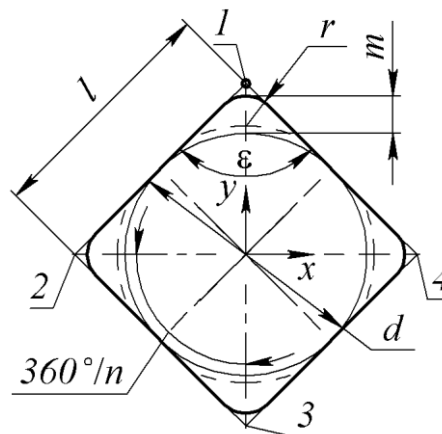


Рис. 2. Конструкция и размеры равносоставленных равноугольных пластин с четным числом вершин

Диаметр вписанной окружности многоугольника

$$d_b = l \tan \frac{\varepsilon}{2}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина стороны многогранника, м.

Радиус описанной окружности многогранника

$$R = r \frac{l}{2 \sin \frac{\varepsilon}{2}}, \quad (3)$$

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

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

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

Вычисления по формулам (1)–(4) необходимо производить при построении контура режущих кромок равносоставленных 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 или «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,  $i = 0, \dots, n-1$ .

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

$$p = [p_{в0}, p_{в1}, \dots, p_{вn}]. \quad (6)$$

Вектор весов узловых точек профиля будет представлять собой вектор из  $n+1$  элементов, который удобно представить в блочной форме

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

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. 3), а остальные получить за счет преобразования поворота вокруг центра симметрии пластины.

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

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

Точка  $p_1$  соединения круговой кромки с линейной

$$p_2 = [-p_{0x} \quad p_{0y} \quad 0 \quad 1]^T, \quad (10)$$

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

Матрица координат узловых точек профиля режущих кромок пластины

$$p = \begin{bmatrix} p_0, p_1, p_2, \\ R_z(\psi i) p_0, R_z(\psi i) p_1, R_z(\psi i) p_2, \dots, p_0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где  $R_z(\psi i)$  – матрица поворота вокруг оси  $z$ .

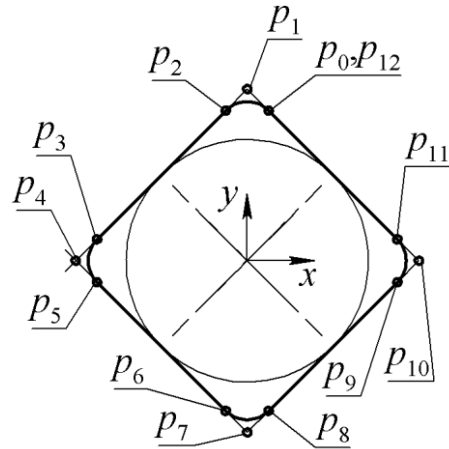


Рис. 3. Узловые точки профиля равносторонних и равноугольных пластин

Вектор весов рациональных кривых составляющих сегментов будет иметь блочную форму

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

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 равносторонних неравноугольных пластин, к которым относятся пластины ромбической (рис. 4) и шестигранной (рис. 5) формы определяются по следующим зависимостям. Параметр  $m$  задается уравнением

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

Величина угла при вершине с большей величиной

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

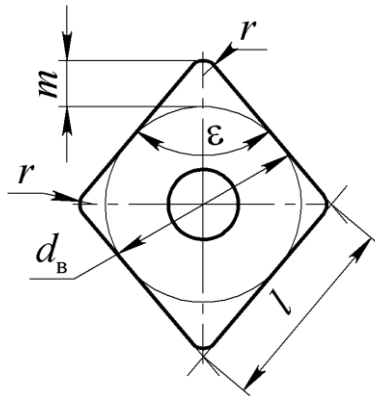


Рис. 4. Конструкция и размеры СМП ромбической формы

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

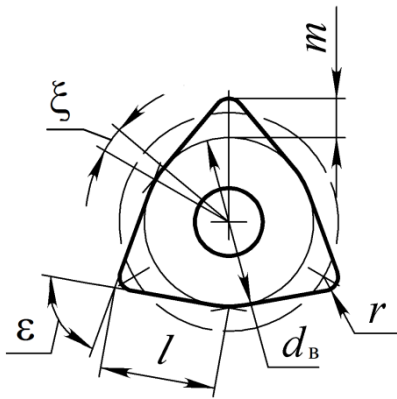


Рис. 5. Конструкция и размеры СМП шестигранной формы

Координаты узловых точек контура режущих кромок рассчитываются по следующим зависимостям:

$$p_0 = \begin{bmatrix} r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & \frac{d_B - r}{\sin \frac{\varepsilon}{2}} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T,$$

$$p_1 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{d_B}{2 \sin \frac{\varepsilon}{2}} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T,$$

$$p_2 = \begin{bmatrix} -r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} \\ m - r + \frac{d_B}{2} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$v_3 = \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2} \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} & \frac{d_B}{2} \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T,$$

$$p_4 = \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2 \cos \frac{\xi}{2}} \sin \frac{\pi}{n} & \frac{d_B}{2 \cos \frac{\xi}{2}} \cos \frac{\pi}{n} & 0 & 1 \end{bmatrix}^T,$$

$$p_2 = \begin{bmatrix} -r \sin \frac{\pi - \varepsilon}{2} \\ m - r + \frac{d_B}{2} + r \cos \frac{\pi - \varepsilon}{2} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$v_3 = \begin{bmatrix} -\frac{d_B}{2} \sin \left( \frac{\pi}{n} + \frac{\xi}{2} \right) \\ \frac{d_B}{2} \cos \left( \frac{\pi}{n} + \frac{\xi}{2} \right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$t = \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\pi - \xi}{2} |\bar{v}_3 - \bar{p}_4|},$$

$$p_3 = \bar{p}_4 + [\bar{v}_3 - \bar{p}_4]t,$$

$$p_5 = \bar{p}_4 + [\bar{v}_5 - \bar{p}_4]t. \quad (16)$$

Матрица координат узловых точек профиля режущих кромок пластины

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

где  $R_z(\psi_i)$  – матрица, задающая поворот вокруг оси  $z$ .

Вектор весов рациональных кривых составляющих сегментов будет иметь блочную форму

$$w = \begin{bmatrix} \left[ 1, \sin \frac{\varepsilon_M}{2}, 1, \sin \frac{\xi}{2}, 1 \right]_{1, n+1} \\ , 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Вектор порядка рациональных кривых составляющих сегментов также будет иметь блочную форму

$$d = [2, 1, 2, 1]_{1, n} \quad (19)$$

Алгоритм вычисления координат узловых точек по уравнениям (14)–(19) обозначим А2. Для построения ромбических пластин необхо-

димо принимать  $n = 2$ , а шестигранных 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.

### 3. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ОБРАЗА

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.

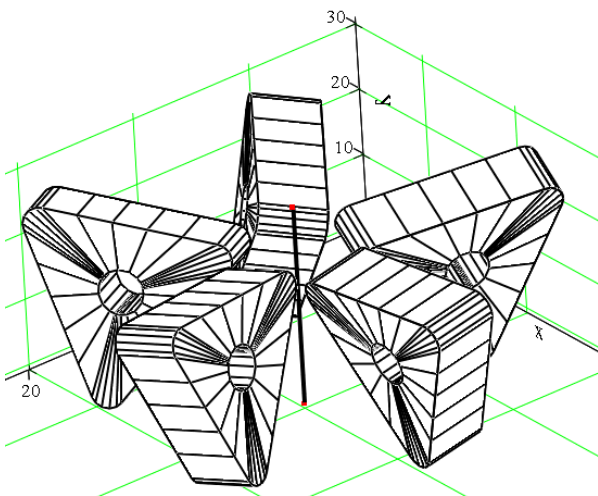


Рис. 6. Пример модели геометрического образа режущей части фрезы

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. 6).

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.

### ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михрютин В. В. Методология построения комплексной системно-аналитической модели процессов резания // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева. 2010. № 1 (16). С. 39–46.
2. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. М.: Изд-во стандартов, 1985. 45 с.
3. Михрютин В. В. Построение математических моделей рабочих кромок лезвий режущих инструментов // Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева. 2010. № 3 (18). С. 158–166.
4. Михрютин В. В. Математическое описание сборного режущего инструмента для моделирования процессов механической обработки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 6. С. 22–30.

### ОБ АВТОРАХ

**МИХРЮТИН Вадим Владимирович**, доц. каф. резания материалов, металлорежущих станков и инструментов им. С. С. Силина. Дипл. инж.-мех. (Рыбинск. авиац. технол. ин-т, 1986). Канд. техн. наук по проц. механ. и физ.-техн. обработки, станкам и инструментам (там же, 1994). Иссл. в обл. обработки резанием и шлифованием.

**СЛОБОДСКОЙ Станислав Владимирович**, асп. той же каф. Дипл. инж.-мех. (РГАТА, 2010). Готовит дисс. об эфф. использования сборного режущего инструмента.

### METADATA

**Title:** Computer aided creation of geometrical models of cutting tools with indexable inserts.

**Authors:** V. V. Mikhryutin<sup>1</sup>, S. V. Slobodskoy

**Affiliation:** P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University (RSATU), Russia.

**Email:** v\_mihrutin@rgata.ru, kirian-kun@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 8 (61), pp. 87–92, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** This article suggests algorithms to automatically create virtual geometry of standard indexable inserts. The inserts are used in modular instruments. These models will be used to calculate the parameters of the cutting process.

**Key words:** cutting tool modelling; cutting tool with indexable inserts; cutting tool geometry; cutting edge; simulation of machining.

**References (English transliteration):**

1. V. V. Mikhryutin, "Methodology of complex system-analytical modeling of cutting processes," (in Russian), *Vestnik RGATU* (scientific journal of Rybinsk State Aviation Technological Academy), 1 (16), pp. 39-46, 2010.
2. *Machining. Terms, Definitions*, (in Russian), USSR State Standard 25762-83. Moscow: Publishing House of Standards, 1985.
2. V. V. Mikhryutin, "Cutter bit mathematical modelling" (in Russian), *Vestnik RGATU* (scientific journal of Rybinsk State Aviation Technological Academy), no. 3 (18), pp. 158-166, 2010.
3. V. V. Mikhryutin, "3d mathematical model of cutting tool with indexable inserts for cutting process simulations," (in Russian), *Assembling in mechanical engineering and instrument-making* (scientific journal of Publishing House "Mashinostroenie"), no 6, 2011. pp. 22-30.

**About authors:**

**MIKHRYUTIN, Vadim Vladimirovich**, Cand. of Tech. Sci., Assoc. Prof., Dept. of Material Cutting, Machine Tools and Cutting tools. Dipl. Mechanical Engineer (Rybinsk Technological Institute of Aviation, 1986), Cand. of Tech. Sci. (Rybinsk Technological Institute of Aviation, 1994).

**SLOBODSKOY, Stanislav Vladimirovich**, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Material Cutting, Machine Tools and Cutting tools. Dipl. Mechanical Engineer (P. A. Solovyov Rybinsk Technological Academy of Aviation, 2010).