

УДК 621.9

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН В КОРПУСЕ ИНСТРУМЕНТА ПЛОСКОСТНЫМ МЕТОДОМ

**М. И. МИХАЙЛОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

### **Введение**

Геометрическому моделированию контакта твердых тел посвящено большое количество работ, которые обобщены и представлены в монографиях [1]–[4] и др. Однако эти работы базируются либо на экспериментальных данных, либо на детерминированных теоретических. На точность обработанных деталей оказывает значительное влияние положение вершины инструмента относительно базовых поверхностей заготовки, которое зависит от положения базовых точек многогранной пластины и корпуса инструмента [5], [6]. Определение погрешностей положения вершины сборного инструмента относительно его корпуса производили кинематическим методом, посредством элементарных перемещений и поворотов, совершаемых последовательно одним элементом относительно другого из номинального положения в предельное.

### **Методика исследований**

Исследования проводились поэтапно. На первом этапе производились измерения отклонений от плоскостности базовых поверхностей пластин и пазов корпуса инструмента в определенных точках.

В результате получили  $N$ -е количество профилей базирующих поверхностей пластин и пазов корпуса. Чтобы перейти к вероятностной форме базовых поверхностей пластин, находили значения отклонений от плоскостности каждой точки этих поверхностей с определенной вероятностью. Для этого разбивали весь диапазон значений отклонений от плоскостности в точке  $(i, j)$  на  $n$  интервалов с серединой  $X$ .

Очевидно, что вероятность попадания точки  $(i, j)$  в рассматриваемый интервал ( $Z$ ) будет равна отношению количества попаданий в данный интервал к общему количеству всех значений [1].

$$Z = \frac{Y_{ij}}{Y_n}.$$

В результате расчетов получили для каждой  $(i, j)$  точки базирующих поверхностей пластины и паза корпуса инструмента значения отклонений от плоскостности с определенной вероятностью.

На основе этих расчетов строили вероятностные поверхности базирующих поверхностей пластины и паза корпуса инструмента.

На втором этапе, для каждой пары вероятностных поверхностей, определяли точки контакта, образуемые базовыми поверхностями пластины и паза корпуса инструмента.

Полученные точки контакта однозначно определяли положение вершины и режущей кромки инструмента относительно его корпуса.

Для реализации предложенного подхода вводилась система координат XYZ, в которой были известны координаты номинальных точек контакта базовых граней сменных многогранных пластин (СМП) и паза корпуса инструмента (рис. 1).

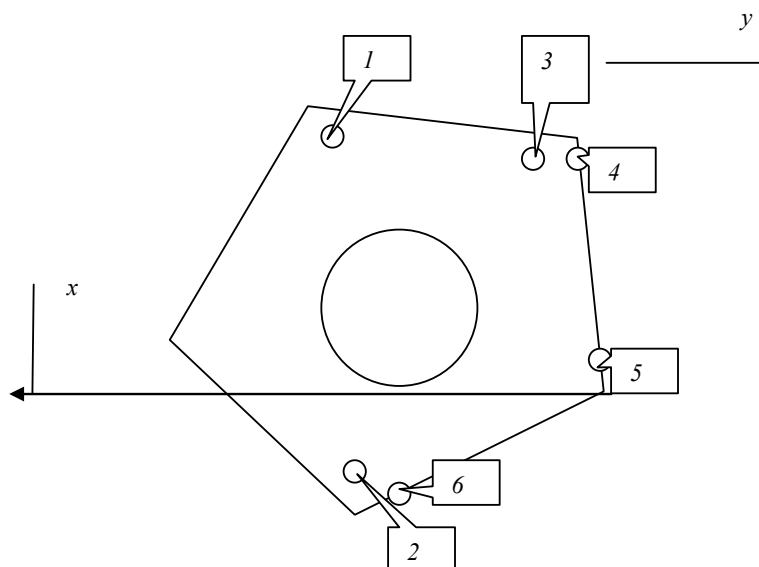


Рис. 1. Схема к расчету точности позиционирования СМП в пазу инструмента

Затем определялись коэффициенты уравнения установочной плоскости в номинальных координатах, используя следующие зависимости:

$$A_1 \cdot x + B_1 \cdot y + C_1 \cdot z + D_1 = 0, \tag{1}$$

где

$$A_1 = \begin{bmatrix} y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{bmatrix}; B_1 = \begin{bmatrix} z_2 - z_1 & x_2 - x_1 \\ z_3 - z_1 & x_3 - x_1 \end{bmatrix};$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix}; D_1 = -(|A_1| \cdot x_1 + |B_1| \cdot y_1 + |C_1| \cdot z_1), \tag{2}$$

здесь  $x_1-x_3, y_1-y_3, z_1-z_3$  – координаты точек контакта СМП с пазом корпуса инструмента.

Используя известные соотношения, отражающие взаимное расположение установочной и направляющей плоскостей, определяли коэффициенты уравнения плоскости касательной к направляющей грани СМП:

$$A_2 \cdot x + B_2 \cdot y + C_2 \cdot z + D_2 = 0, \tag{3}$$

где

$$A_2 = \begin{bmatrix} y_5 - y_4 & z_5 - z_4 \\ |B_1| & |C_1| \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} z_5 - z_4 & x_5 - x_4 \\ |C_1| & |A_1| \end{bmatrix};$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} x_5 - x_4 & y_5 - y_4 \\ |A_1| & |B_1| \end{bmatrix}; D_2 = -(|A_2| \cdot x_4 + |B_2| \cdot y_4 + |C_2| \cdot z_4), \quad (4)$$

здесь  $y_4, y_5; x_4, x_5; z_4, z_5$  – координаты четвертой и пятой точек контакта, расположенных на направляющей грани СМП.

Так как в плоскости касательной к опорной грани СМП расположена одна точка контакта, то воспользовавшись свойством взаимного расположения с плоскостью касательной к установочной грани, можно найти угол между направляющей и опорной гранями:

$$\cos(\beta) = \frac{A_2 \cdot A_3 + B_2 \cdot B_3 + C_2 \cdot C_3}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2} \cdot \sqrt{A_3^2 + B_3^2 + C_3^2}}, \quad (5)$$

где

$$B_3 = \frac{A_3 \cdot |B_2| + |C_1|}{|A_2|}; C_3 = \frac{\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|}{|B_2|}; D_3 = -(|A_3| \cdot x_6 + |B_3| \cdot y_6 + |C_3| \cdot z_6). \quad (6)$$

Подставив в формулу (5) выражения (6), получили

$$\begin{aligned} \cos(\beta) &= \\ &= \frac{(|A_2| \cdot A_3 + |B_2| \cdot \frac{(A_3 \cdot |B_2| + |C_1|)}{|A_2|}) + |C_2| \cdot (\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|)}{\sqrt{(|A_2|)^2 + (|B_2|)^2 + (|C_2|)^2} \cdot \sqrt{(A_3)^2 + (\frac{A_3 \cdot |B_2| + |C_1|}{|A_2|})^2 + (\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot (A_3 \cdot |B_2| + |C_1|) + |A_1|)^2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из формулы (7) выражалось  $A_3$  и получали

$$A_3^2 \cdot \alpha + A_3 \cdot \varepsilon + \delta = 0, \quad (8)$$

где

$$\alpha = 1 + \left(\frac{|B_2|}{|A_2|}\right)^2 + \left(\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot |B_2|\right)^2 - \frac{(|A_2| + \frac{|B_2| \cdot |B_2|}{|A_2|} + \frac{|C_2| \cdot |C_2|}{|A_2|} \cdot |B_2|)^2}{\cos^2(\beta) \cdot (\sqrt{|A_2|^2 + |B_2|^2 + |C_2|^2})^2}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 2 \cdot \frac{|B_2| \cdot |C_1|}{|A_2| \cdot |A_2|} + 2 \cdot \frac{|C_2| \cdot |B_2|}{|A_2|} \cdot \left(\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot |C_1| + |A_1|\right) - \\ &- \frac{2 \cdot (|A_2| + \frac{|B_2| \cdot |B_2|}{|A_2|} + \frac{|C_2| \cdot |C_2|}{|A_2|}) \cdot (\frac{|B_2| \cdot |C_1|}{|A_2|} + \frac{|C_2| \cdot |C_2|}{|A_2|} \cdot |C_1| + |C_2| \cdot |A_1|)}{\cos^2(\beta) \cdot (\sqrt{|A_2|^2 + |B_2|^2 + |C_2|^2})^2}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\delta = \left(\frac{|C_1|}{|A_2|}\right)^2 + \left(\frac{|C_2|}{|A_2|} \cdot |C_1| + |A_1|\right)^2 - \frac{\left(\frac{|B_2| \cdot |C_1|}{|A_2|} + \frac{|C_2| \cdot |C_2|}{|A_2|} \cdot |C_1| + |C_2| \cdot |A_1|\right)^2}{\cos^2(\beta) \cdot (\sqrt{|A_2|^2 + |B_2|^2 + |C_2|^2})^2}. \quad (11)$$

Решая уравнение (8), находили два значения  $A_3$ . За верное число  $A_3$  принимали то, которое дает при подстановке его в уравнение (7), значение угла  $\beta$  соответствующее заданному. После определения  $A_3$  подставляли его значение в формулы (6) и определяли остальные коэффициенты плоскости касательной к опорной грани

$$A_3x + B_3y + C_3z + D_3 = 0. \quad (12)$$

Решая совместно уравнения (1), (3) и (12), находили координаты  $x_E, y_E, z_E$  – точки пересечения этих плоскостей.

Далее определяли коэффициенты плоскостей в действительных координатах по методике, изложенной выше. Точность позиционирования находили как расстояние между действительными и номинальными координатами точек пересечения трех плоскостей:

$$\delta = \sqrt{(x_E - x_{E^1})^2 + (y_E - y_{E^1})^2 + (z_E - z_{E^1})^2}. \quad (13)$$

### Результаты расчетов

Результаты расчетов представлены на рис. 2–6.

Анализ рис. 2 позволяет заключить, что погрешность позиционирования увеличивается в 2 раза при увеличении погрешности изготовления пластины  $\sigma$  на каждые 0,1 мм.

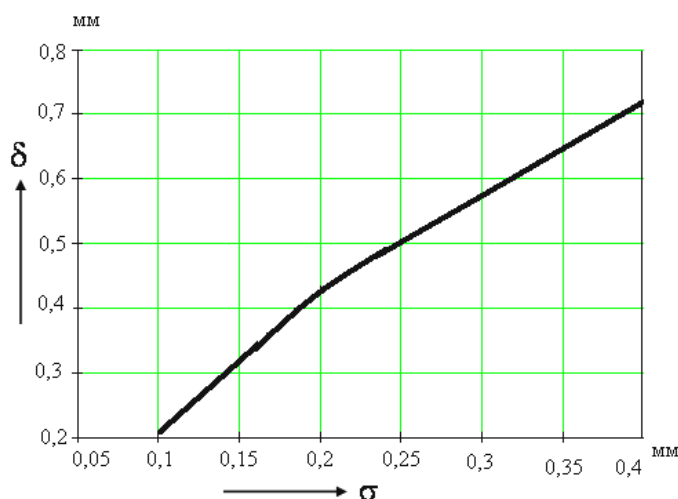


Рис. 2. График влияния погрешности изготовления СМП на точность ее позиционирования

Затем определили влияние формы СМП на точность ее позиционирования в пазу корпуса инструмента. Применение трех-, четырех- и пятигранной форм пластин, со значениями углов при вершине  $\beta$  соответственно равными ( $60^\circ, 90^\circ, 108^\circ$ ), приводит к уменьшению погрешности позиционирования соответственно в 1,16 и 1,3 раза (рис. 3).

Кроме того, на точность позиционирования будет оказывать погрешность расположения четвертой базовой точки измеренной по нормали к грани СМП (рис. 4).

Так при увеличении погрешности изготовления СМП в четвертой базовой точке трехгранной пластины на 0,1 мм приводит к увеличению погрешности ее позиционирования в корпусе инструмента соответственно в 1,08 раза.

При одинаковой погрешности изготовления формы СМП, фактические точки контакта могут располагаться на различном расстоянии друг от друга. Поэтому было изучено влияние расположения четвертой точки контакта, относительно вершины трехгранной пластины, на точность ее позиционирования в корпусе инструмента. Так, при увеличении расстояния между точками 4 и 5 на 3 мм погрешность позиционирования увеличивается в 1,2 раза (рис. 5).

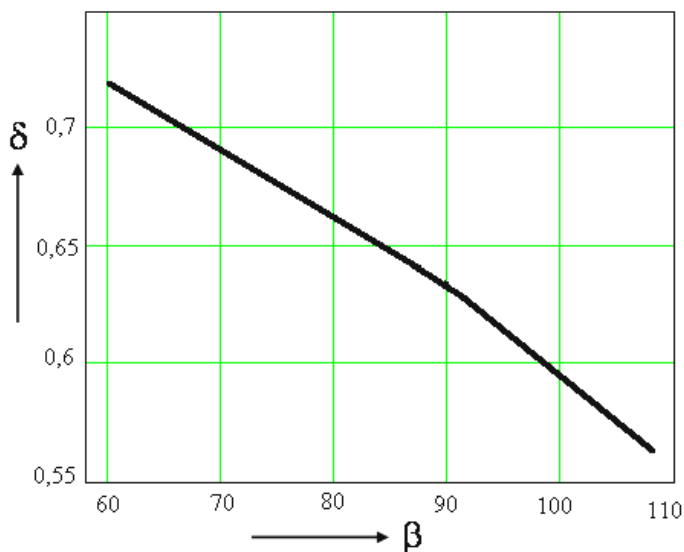


Рис. 3. График влияния формы СМП на точность ее позиционирования в пазу корпуса инструмента

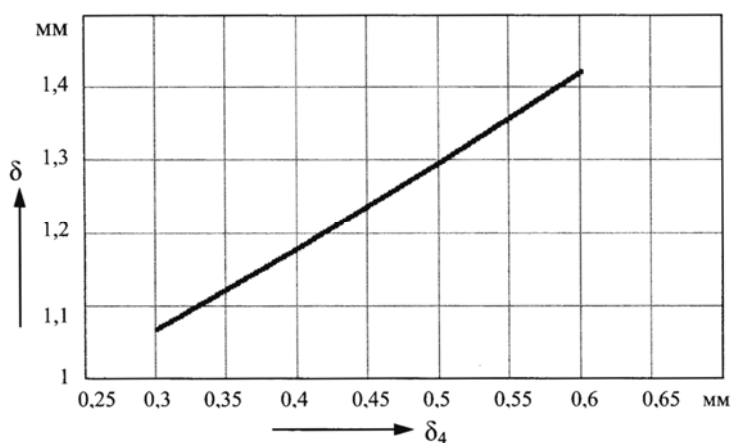


Рис. 4. График влияния погрешности изготовления СМП в четвертой базовой точке на ее точность позиционирования

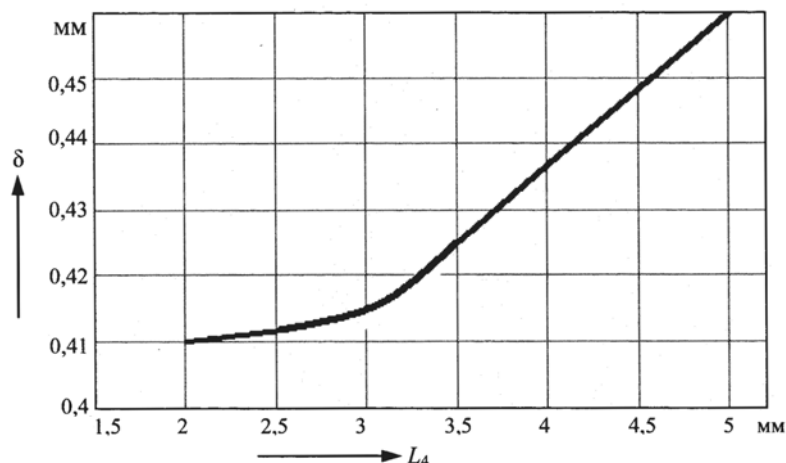


Рис. 5. График влияния расположения четвертой базовой точки на точность позиционирования СМП

Кроме того, на примере трехгранной пластины определено влияние погрешности угла при вершине на точность позиционирования ее в корпусе инструмента. Так, при уменьшении угла при вершине на 1,5 градуса точность позиционирования уменьшается в 1,8 раза (рис. 6).

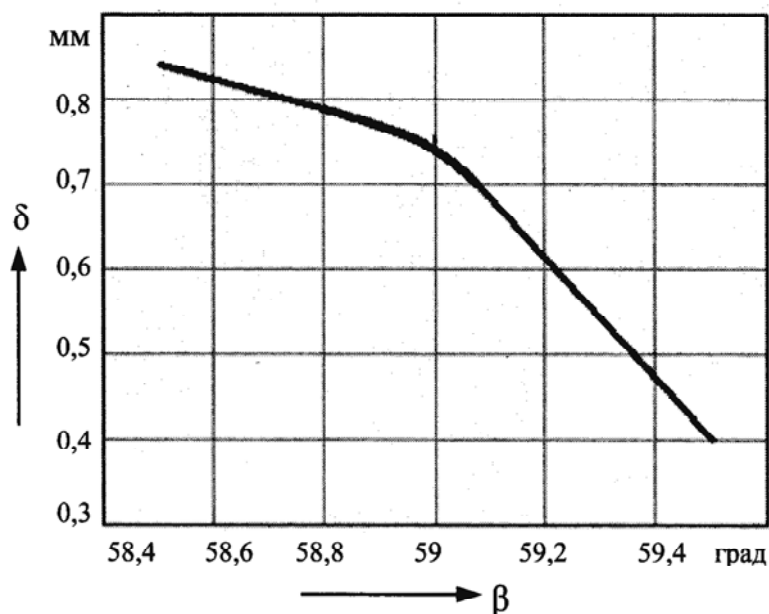


Рис. 6. График влияния погрешности угла при вершине трехгранной пластины на точность ее позиционирования

### Заключение

Обобщая результаты выполненных теоретических исследований, можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Предложена расчетная модель теоретического описания точности позиционирования сменной многогранной пластины в корпусе инструмента.
2. В рамках данной модели получена аналитическая зависимость, позволяющая учитывать расположение базовых точек на режущей пластине и в пазу корпуса инструмента.

3. Установлено, что на точность позиционирования наибольшее влияние оказывает погрешность угла при вершине режущей пластины.

4. Для повышения геометрической точности сборного инструмента необходимо выбирать пластины с большим количеством граней и меньшими погрешностями угла при вершине.

### Литература

1. Демкин, Н. Б. Качество поверхностей и контакт деталей / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – Москва : Машиностроение, 1981. – 221 с.
2. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А. П. Хусу [и др.]. – Москва : Наука, 1975. – 344 с.
3. Билик, Ш. М. Макрогеометрия деталей машин / Ш. М. Билик. – Москва : Машиностроение, 1972. – 344 с.
4. Демкин, Н. Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей / Н. Б. Демкин. – Москва : Акад. наук СССР, 1962. – 110 с.
5. Акимов, А. В. Конструирование и исследование высокопроизводительных твердосплавных резцов : автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.03.01 / А. В. Акимов ; Мосстанкин. – Москва, 1953. – 18 с.
6. Primus, J. F. Spezifische Beanspruchungen in den Kontakt sonen von Drehwerkssenden und ihr Einfluss auf Spanbildung / J. F. Primus. – Berlin, 1970. – 168 s.

*Получено 17.06.2009 г.*