

УДК 004.65

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В. В. Михрютин¹, А. В. Михрютина²

¹v_mihrutin@rgata.ru, ²grinding.ryb@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П. А. Соловьева»
(РГАТУ им. П. А. Соловьева)

Поступила в редакцию 28.01.2013

Аннотация. Предлагается метод определения допустимой погрешности посадочных поверхностей гнезд для крепления СМП в режущем инструменте, позволяющий создать единый алгоритм для сборного инструмента различного вида. Расчеты точности выполняются с учетом отклонений размеров детали, входящих в размерную цепь сборного инструмента, представленных в виде произведения матриц отклонений размеров.

Ключевые слова: режущий инструмент; оснащенный СМП инструмент; точность режущего инструмента; расчет точности; геометрия режущего инструмента.

Сборный многолезвийный режущий инструмент с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП) получил широкое распространение в машиностроении. Применение инструмента, оснащенного СМП, позволяет повысить качество, надежность и стойкость инструмента при увеличении производительности обработки, а также снизить стоимость и трудоемкость его изготовления.

Для обеспечения стабильной работы и долговечности многолезвийного инструмента необходимо обеспечить достаточную точность установки режущих пластин в гнездах корпуса инструмента. В связи с этим возникает задача нормирования допусков размеров гнезд пластин, влияющих на расположение режущих кромок инструмента в пространстве.

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В известной работе [1] предлагается находить допуски на расположение гнезд пластин на основе использования теории графов, методов матричного представления графов размерных цепей, отображений аффинного пространства и теории вероятностей. Недостатком данного способа является необходимость создания новой реализации предложенного алгоритма для инструментов различного вида и пластин разной формы.

В настоящей работе авторами предлагается метод расчета точности, позволяющий создать

единый алгоритм для сборного инструмента различного вида. Расчеты точности выполняются с учетом отклонений размеров детали, входящих в размерную цепь сборного инструмента, представленных в виде произведения матриц.

Геометрическими параметрами, однозначно определяющими положение режущей пластины в инструменте, являются параметры, относящиеся к режущему клину. Параметрами режущего клина являются передний и задний углы, главный угол в плане и угол наклона режущей кромки к основной плоскости.

При моделировании режущих кромок сборных инструментов целесообразным является создание математических моделей геометрических образов пластин определенных типоразмеров, а затем расчет параметров геометрического преобразования для создания модели сборного режущего инструмента заданной геометрии. Для этого требуется определить матрицу такого преобразования [2].

Для определения матрицы преобразования, переводящей точки, заданные в СК пластины в статическую систему координат (ССК) сборного инструмента, необходимо задать координатные базисы, связанные с пластиной и сборным инструментом. Орты координатных базисов режущих кромок лезвий пластины и сборного инструмента должны быть ориентированы одинаковым образом относительно рассматриваемой режущей кромки. Наиболее удобно задавать орты касательно режущей кромки в рассматриваемой

мой точке, орт \bar{k} – нормально к передней поверхности пластины, а орт \bar{j} определять как векторное произведение $\bar{i} \times \bar{k}$.

РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ СМП В СБОРНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Орты координатного базиса режущей кромки определяются положением режущей кромки пластины, принимаемой за главную в праворежущем (рис. 1) либо леворежущем инструменте (рис. 2). Например, для пластин, режущие кромки которых лежат в одной плоскости

$$\begin{aligned} \bar{i}_n &= \|p_i - p_{i+1}\|, & \bar{k}_n &= [0 \ 0 \ 1]^T, \\ \bar{j}_n &= \|\bar{i}_n \times \bar{k}_n\|, \end{aligned} \quad (1)$$

где p_i, p_{i+1} – вершины прямолинейного ребра, образующего режущую кромку.

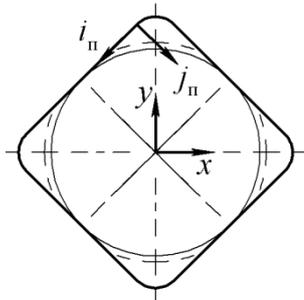


Рис. 1. Выбор системы координат СМП праворежущего инструмента

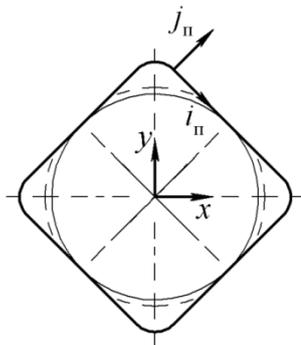


Рис. 2. Выбор систем координат СМП леворежущего инструмента

Математическую модель геометрического образа режущих кромок лезвия сборного инструмента целесообразно задавать относительно его статической системы координат (ССК). Лезвие инструмента, образованное лезвием пластины, при этом может быть описано с использованием стандартных геометрических параметров инструмента.

Направление координатных осей систем ССК сборного инструмента определим на основе следующих правил. Ось z ориентируется вдоль направления главного движения, ось x – вдоль направления подачи. Ось y ориентируется по расположению осей x и z , для этого может использоваться, например, известное «правило правой руки».

Уравнения, задающие орты координатного базиса, связанного с лезвием сборного режущего инструмента, определяются заданными геометрическими параметрами его главной режущей кромки в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{i}_n &= \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \pm \sin \varphi \cos \lambda \\ \sin \lambda \end{bmatrix}, \\ \bar{k}_n &= \begin{bmatrix} -\cos \gamma \cos \varphi \sin \lambda - \sin \gamma \sin \varphi \cos \lambda \\ \pm \sin \gamma \cos \varphi \cos \lambda \mp \cos \gamma \sin \varphi \sin \lambda \\ \cos \gamma \cos \lambda \end{bmatrix}, \\ \bar{j}_n &= \bar{k}_n \times \bar{i}_n, \end{aligned} \quad (2)$$

где γ – передний угол лезвия инструмента; φ – главный угол в плане; λ – угол наклона главной режущей кромки к основной плоскости. Орт \bar{k}_n совпадает с нормалью к передней поверхности инструмента $\bar{N}_{Ay} = \bar{k}_n$. Верхний знак в данном выражении соответствует праворежущему инструменту, а нижний – леворежущему инструменту.

Для получения уравнения лезвия с учетом требуемых значений углов инструмента необходимо выполнить преобразование, изменяющее положение пластины в пространстве. Матрицу такого преобразования найдем следующим образом:

$$\Phi_c = \begin{bmatrix} \bar{i}_n & \bar{j}_n & \bar{k}_n & O_n \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_l & \bar{j}_l & \bar{k}_l & O_l \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1}, \quad (3)$$

где $O_n = [x_{n0} \ y_{n0} \ z_{n0}]^T$ – начало координат базиса, связанного с режущей пластиной; $\bar{i}_n, \bar{j}_n, \bar{k}_n$ – орты координатного базиса, связанного с режущей пластиной; $O_l = [x_{l0} \ y_{l0} \ z_{l0}]^T$ – начало координат базиса, связанного с кромкой лезвия сборного инструмента, образованной режущей пластиной; $\bar{i}_l, \bar{j}_l, \bar{k}_l$ – орты координатного базиса в ССК инструмента, связанные с режущей кромкой лезвия инструмента, образованного пластиной.

Начало координатного базиса $O_{\text{п}}$ целесообразно выбирать в начале текущей СК.

Для лезвийного инструмента с вращательным главным движением начало координатного базиса $O_{\text{л}}$ располагается на оси, лежащей в плоскости вращения и перпендикулярной оси z на расстоянии $r_{\text{и}}$ от начала координат.

Схема выполнения данного геометрического преобразования координат представлена на рис. 3.

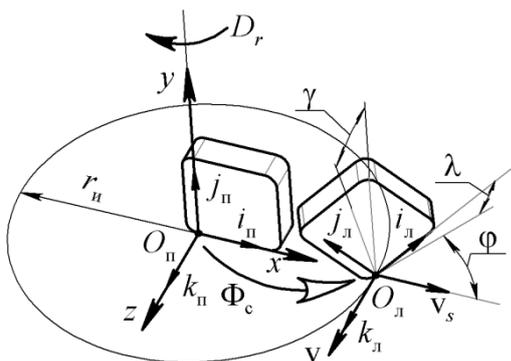


Рис. 3. Схема определения положения режущей пластины в сборном инструменте

Уравнение, определяющее номинальные положения режущих кромок лезвия в СК сборного инструмента, является результатом следующего геометрического преобразования:

$$f_{\text{крп}}(t) = R_0 \left(\frac{2\pi}{Z_{\text{и}}} i \right) T_x(l_{\text{и}}) \Phi_c f_{\text{кр}}(t), \quad (4)$$

где R_0 – матрица геометрического преобразования, задающая поворот пластины относительно оси многолезвийного инструмента, зубья которого расположены по окружности; i – номер зуба многолезвийного инструмента; $Z_{\text{и}}$ – число зубьев инструмента; T_x – матрица, задающая параллельный перенос вдоль оси x , $l_{\text{и}}$ – расстояние до хвостовика инструмента; $f_{\text{кр}}(t)$ – уравнение режущей кромки пластины.

МЕТОД РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Ввиду многообразия форм пластин целесообразно выделить анализ точности расположения режущих кромок относительно гнезда в отдельную задачу. Решение данной задачи может быть формализовано для каждой формы пластины и соответствующей опорной поверхностей гнезда. Результатом такого решения будет отклонение положения СК пластины от номинального.

Данное отклонение представим матрицей угловых и линейных отклонений $\Delta_{\Phi_{\text{п}}}$.

Обозначим расположение СК режущих кромок относительно СК, связанной с опорной поверхностью при номинальном положении пластины, матрицей $\Phi_{\text{п}}$. Запишем преобразование, позволяющее найти матрицу, задающую положение СК опорных поверхностей гнезда относительно СК сборного инструмента

$$\Phi_o = \Phi_c \Phi_{\text{п}}^{-1}. \quad (5)$$

Допуски на параметры режущих пластин назначаются на толщину пластины, геометрические параметры, определяющие расположение кромок в основной плоскости, а также на диаметр отверстия в пластине.

Погрешность расположения реальных поверхностей относительно их номинальных значений зададим матрицей, которая в общем случае задает отклонения линейных размеров по трем координатам, а также три угловых отклонения, задаваемых, например, в виде углов Эйлера (крен, тангаж, рысканье)

$$\Delta_{\Phi} = R_{\Delta_x} R_{\Delta_y} R_{\Delta_z} T_{\Delta_{xyz}}, \quad (6)$$

где R_{Δ_x} , R_{Δ_y} , R_{Δ_z} – матрицы поворотов вокруг осей x , y , z на величину угловых отклонений, заданных углами Эйлера; $T_{\Delta_{xyz}}$ – матрица прямолинейных перемещений вдоль осей x , y , z на величину соответствующих линейных отклонений.

Независимо от формы пластин представим интегральное отклонение размеров, задающих положение режущей кромки, от номинального положения в виде матрицы $\Delta_{\Phi_{\text{р}}}$.

Аналогично матрицу преобразования для отклонений размеров опорных поверхностей гнезда корпуса обозначим Δ_{Φ_o} . Для учета погрешностей базирования пластины в корпусе инструмента будем использовать матрицу Δ_{Φ_6} . С учетом принятых обозначений уравнение (6), определяющее положение i -й режущей кромки в корпусе инструмента с учетом всех видов погрешностей, примет следующий вид:

$$f_{\text{крп}\Delta i}(t) = R_0 \left(\frac{2\pi}{Z} i \right) T_x(l_{\text{и}}) \times \Delta_{\Phi_{\text{д}}} \Phi_o \Delta_{\Phi_o} \Delta_{\Phi_6} \Delta_{\Phi_{\text{п}}} \Phi_{\text{п}} f_{\text{кр}}(t), \quad (7)$$

где $\Delta_{\Phi_{\text{д}}}$ – матрица погрешности инструментальной державки.

Погрешность положения точек режущего лезвия определяется разностью

$$\Delta_{ni}(t) = f_{Kpni}(t) - f_{Kpni}(t), \quad (8)$$

где $f_{Kpni}(t)$ – номинальное положение режущего лезвия.

Пользуясь уравнением (8), при известных погрешностях $\Delta_{Фр}$, $\Delta_{Фп}$, $\Delta_{Фб}$, $\Delta_{Фд}$ и Δ_{ni} можно определить величину допустимых отклонений, входящих в матрицу $\Delta_{Фр0}$. Для этого уравнения (7) и (8) могут быть решены численно одним из известных методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты разработки основы метода расчета точности сборного режущего инструмента.

Разработанные математические модели позволяют создавать модели геометрического образа режущего инструмента, оснащенного СМП наиболее распространенных типов. Поскольку при построении моделей использованы стандартизованные геометрические параметры, предложенные модели могут быть использованы для описания инструментов различных конструкций. Приведенные модели могут быть использованы как при синтезе, так и при анализе конструкций инструментов, а также при расчете геометрических параметров взаимодействия инструмента с заготовкой.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении реализации предложенного метода в виде алгоритма и последующего создания на его основе компьютерной программы, позволяющей назначать допуски на элементы режущего инструмента на этапе его конструирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов С. Г., Чевычелов, С. А., Мочаев Ю. П., Бобрышев Д. А. Пространственный размерный анализ с использованием матричного представления графа размерных цепей // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2008. № 3-4/271 (546). С. 51–54.
2. 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, металлореж. станков и инстр. им. С. С. Силина. Дипл. инж.-мех. (Рыбинск. авиац. технол. ин-т, 1986). Канд. техн. наук (там же, 1994). Иссл. в области обработки резанием и шлифованием.

Михрютина Анна Викторовна, доц. Дипл. инж.-мех. (Рыбинск. гос. авиац. технол. академия, 1996). Канд. техн. наук

(там же, 2003). Иссл. в обл. износостойких покрытий реж. инструментов.

METADATA

Title: The development of the accuracy calculation method for cutting tools.

Authors: V. V. Mikhryutin, A. V. Mikhryutina

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

Email: v_mihrutin@rgata.ru, grinding.ryb@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 6 (51), pp. 177-188, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: A method of admissible error calculation of cutting tool mounting surfaces for installation of replaceable inserts, allowing creation of one algorithm for different types of cutting tools is proposed in this article. Deviations of dimensions of parts in the tool dimension chain are taken into account for accuracy calculations. The deviations are represented by the product of deviation matrices.

Key words: cutting tool; cutting tool with indexable inserts; cutting tool accuracy; accuracy calculation; cutting tool geometry.

References (English transliteration):

1. S. G. Emelianov, S. A. Chevychelov, Yu. P. Mochaev, and D. A. Bobryshev, "3D dimension analysis with usage of matrix representation of dimension graph and multiparametric representation of afin space," (in Russian), *Fundamental and applied problems of engineering and technology* (scientific journal of Orel State Technical University), no. 3-4/271 (546), pp 51-54, 2008.
2. 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, pp. 22-30, 2011.

About authors:

Mikhryutin, Vadim Vladimirovich, Cand. of Tech. Sci., associate professor, 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).

Mikhryutina, Anna Viktorovna, Cand. of Tech. Sci., associate, Dept. of Material Cutting, Machine Tools and Cutting tools. Dipl. Mechanical Engineer (Rybinsk Technological Institute of Aviation, 1996), Cand. of Tech. Sci. (Rybinsk Technological Institute of Aviation, 2003).