

УДК 621.91

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-23

Швець С. В., к.т.н., Швець У. С., к.ф.-м.н.

Сумський державний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕНЬ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН НА КОРПУСІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

У статті описаний спосіб визначення положення базових поверхонь на корпусі інструменту для забезпечення необхідних значень кутів обраної змінної багатогранної пластини (індексованої вставки - indexed insert) в статичній системі координат. Аналіз публікацій показав, що у сучасному виробництві інструментів переважно застосовуються закріплені механічно змінні багатогранні пластини. Особливістю складених інструментів є те, що геометричні параметри індексованої вставки жорстко поєднані. Оптимізація одного з них може нашкодити іншому. Для визначення зв'язку між геометрією окремих вставок і геометрією леза інструмента використані три системи координат: інструментальна, перехідна та статична. Запропонована математична модель, яка відтворює геометричні та кінематичні взаємозв'язки між геометрією вставки та базовими поверхнями на корпусі інструменту. На графіках залежностей геометрії леза від кутів обертання вставки у фронтальній та профільній площинах знаходять рівні цих графіків. Порівнюючи їх, можна оптимізувати значення всіх геометричних параметрів леза інструмента у статичній системі координат.

Ключові слова: індексована вставка, різальний інструмент, система координат, базові поверхні, геометричні параметри.

Вступ. Широке використання оброблюваних матеріалів з поліпшеними властивостями, підвищені вимоги до якості оброблюваних поверхонь та посилення глобальної конкуренції серед промислових компаній потребують скорочення прямих виробничих витрат [1]. У той же час ринок потребує більшої кількості різновидів продукції, а отже, обладнання та процеси повинні бути більш гнучкими для задоволення потреб та зниження витрат на виготовлення. При цьому значна увага приділяється розробці та виготовленню різального інструменту як елемента технологічного обладнання.

У сучасному інструментальному виробництві переважно застосовуються механічно закріплювані вставки [2, 3]. Форма вставки, правильне встановлення її в корпусі інструменту впливають на якість та продуктивність обробки, стабільність інструменту [4, 5]. Використання вставок дозволяє створювати змінні різальні кромки зі спеціальними властивостями, скорочуючи витрати на відновлення інструменту. У той же час, проектування та виготовлення корпусу таких інструментів має свої складності, пов'язані з необхідністю створення їх 3D-моделей, розробкою програм управління, обробкою та контролем.

Роботи зі створення основних видів інструментів зі вставками проводяться в наукових лабораторіях багатьох компаній [6 – 9]. Вони використовують стандартні та створюють нові форми вставок, досліджують способи кріплення.

Для забезпечення гнучкості виробництва необхідна гнучкість різних конструкцій інструментів. Незважаючи на широке використання сучасних CAD/CAM систем, значна частина інтелектуальних ресурсів все ще витрачається на адаптацію стандартних рішень до конкретної конструкції різального інструменту. На жаль, практично немає наукових праць, спрямованих на розробку CAD/CAM систем спеціального різального інструменту з індексованими вставками. Тому з точки зору підвищення гнучкості сучасного виробництва робота є надзвичайно актуальною.

Огляд літератури. Оптимальна якість оброблюваної поверхні та максимальна продуктивність процесу залежать від правильного вибору параметрів різання. Найважливіший з них – геометрія вставки. На практиці та аналітично (метод скінчених елементів) [5] встановлено, що геометрія індексованої вставки в статичній системі координат впливає на температуру в зоні різання та на зношення самої вставки.

Геометрія леза в статичній системі координат формується на основі попередньо вибраної індексованої вставки. Вставка обертається навколо локальних осей для досягнення бажаного положення в глобальній системі координат, пов'язаної з корпусом інструменту [10]. Запропоновано формули для дискретного геометричного аналізу інструментів з індексованими

вставками [11]. Їх використання дає змогу визначити геометрію змінних вставок у статичній системі координат і тим самим вдосконалити конструкцію інструментів, оскільки геометричні параметри лез впливають на якість обробки та стабільність інструменту [12], звивання та подрібнення стружки [13].

Наскільки відомо автору, досі не існує чітких алгоритмів визначення положень у просторі базових поверхонь на корпусі інструмента, з якими вставка контактує при фіксації. Ні стандарти, ні виробники вставок не дають таких рекомендацій [6 – 8, 14]. Це можна пояснити наявністю великої кількості вимог при впровадженні конкретного процесу різання. Тому визначення положення вставки та її геометрії під час різання залишається важливим завданням [15]. Відомі схеми дії сил при кріпленні вставок: С, S, Р, М – реалізуються різними механізмами. При проектуванні осьового інструменту досить поширеним і надійним [16] кріпильним механізмом є гвинт, який реалізує схему S.

Особливістю використання багатограничних непереточуваних пластин для оснащення складених інструментів є те, що їх геометричні параметри жорстко пов'язані. Оптимізація одного з цих параметрів у статичній системі координат може призвести до недопустимих значень інших.

Мета роботи: Вдосконалення математичного моделювання положень базових поверхонь під вставки на корпусі інструменту для забезпечення необхідної геометрії лез в статичній системі координат.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання: визначити форму робочої частини інструменту, запропонувати механізм фіксації вставки, розробити методику для обчислення положення базових поверхонь у статичній системі координат.

Методологія дослідження. Кожна вставка має свою форму та геометрію у інструментальній системі координат [17]. Щоб оснастити інструмент індексованими вставками, необхідно вибрати з каталогу виробника вставку, геометрія якої наближена до геометрії леза в статичній системі координат. Тому перший крок при побудові складеного інструменту – прив'язати інструментальну систему координат до його корпусу та орієнтувати в ньому індексовану вставку (рис. 1).

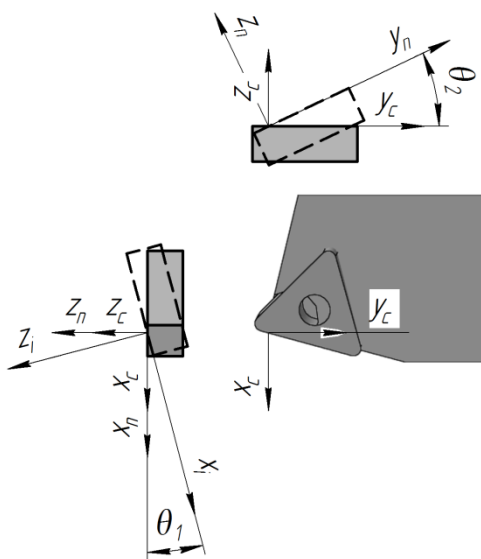


Рис. 1. Системи координат для визначення кутів θ_1 та θ_2

Залежно від умов контакту поверхні деталі і інструменту (точковий чи лінійний) формується корпус інструменту і відповідно розміщується вибрана вставка. Через те, що вставка базується по зовнішнім поверхням, відповідні базові поверхні на корпусі інструменту мають форму вставки.

Потім потрібно повернути індексовану вставку в фронтальній і профільній площинах на кути θ_1 і θ_2 , щоб створити необхідні кути в статичній системі координат.

Для аналітичних досліджень геометрії вставки використовують три системи координат: статичну (ССК) (або глобальну) – $x_c y_c z_c$, перехідну (ПСК) – $x_n y_n z_n$, інструментальну (ІСК) – $x_i y_i z_i$.

У системі $x_i y_i z_i$ задають вихідні параметри вставки, а перехід із цієї системи через $x_n y_n z_n$ до $x_c y_c z_c$ дозволяє визначити положення індексованої вставки після обертання на кути θ_1 і θ_2 , щоб забезпечити необхідну геометрію леза у статичній системі координат. При обертанні на кут θ_1 (див. рис. 1) система $x_i y_i z_i$ обертається, а системи $x_n y_n z_n$ і $x_c y_c z_c$

нерухомі (до обертання всі системи збігаються) [18, 19].

Після повороту у фронтальній площині на кут θ_1 координати в перехідній системі є такими [20]:

$$\begin{cases} x_n = x_i \\ y_n = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1 \\ z_n = z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1 \end{cases} \quad (1)$$

Після повороту в профільній площині на кут θ_2 перехід від $x_n y_n z_n$ до $x_c y_c z_c$ представляється рівняннями

$$\begin{cases} x_c = x_n \cos \theta_2 - z_n \sin \theta_2 \\ y_c = y_{tr} \\ z_c = z_n \cos \theta_2 + y_n \sin \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

Нарешті, після обох поворотів координати точок індексованої вставки у статичній системі координат визначаються підстановкою (1) у (2)

$$\begin{cases} x_c = x_i \cos \theta_2 - (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1) \sin \theta_2 \\ y_c = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1 \\ z_c = (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1) \cos \theta_2 + x_i \sin \theta_2 \end{cases} \quad (3)$$

Для визначення статичних кутів λ_c та φ_c проведемо в інструментальній системі координат (рис. 2) одиничний вектор \bar{a}_i , що виходить із деякої точки A різальної кромки і дотичний до різальної кромки [13, 25]. Кут між цим вектором та основною площиною у площині P_{ni} – це кут λ_i . Тоді проекція вектора \bar{a}_i на вісь z_i дорівнює $\bar{c} = -\bar{k} \sin \lambda_i$, а проекція його на площину P_{vi} дорівнює $\bar{f} = \bar{a}_i \cos \lambda_i$. Проекції вектора \bar{f} (у площині P_{vi}) на осі x_i та y_i , це $\bar{p} = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i$ та $-\bar{r} = \bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i$ відповідно (бо кут між ним і віссю y_i це кут φ_i).

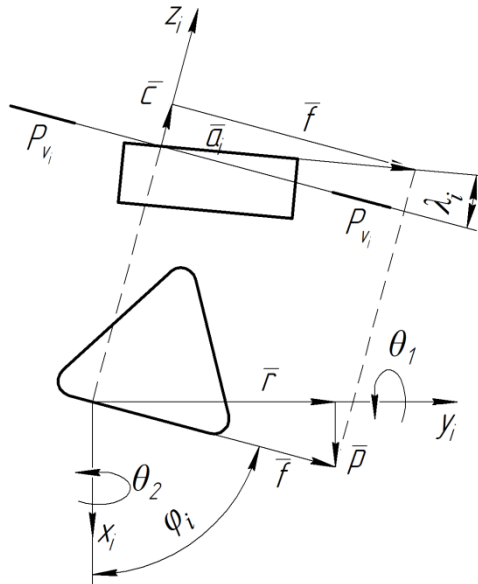


Рис. 2. Визначення координат вектора, дотичного до головної різальної кромки в ІСК

Тоді $\bar{f} + \bar{k} \sin \lambda_i = \bar{a}_i$. Звідси $\bar{a}_i = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i + (-\bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i) - \bar{k} \sin \lambda_i$.

Позначимо координати цього вектора в ІСК як $x_1 = \cos \lambda_i \sin \varphi_i$, $y_1 = -\cos \lambda_i \cos \varphi_i$, $z_1 = -\sin \lambda_i$.

Підставляємо координати вектора \bar{a}_i в систему (3) і отримуємо його координати у статичній системі координат:

$$\begin{cases} x_{1c} = (\cos \lambda_i \sin \varphi_i) \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (-\sin \lambda_i \cos \theta_1 - (\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \sin \theta_1) \\ y_{1c} = (-\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \cos \theta_1 + \sin \lambda_i \sin \theta_1 \\ z_{1c} = \cos \theta_2 (-\sin \lambda_i \cos \theta_1 - (\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \sin \theta_1) + (\cos \lambda_i \sin \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases} \quad (4)$$

Якщо вектор $\bar{a}_c = \bar{i}x_{1c} + \bar{j}y_{1c} + \bar{k}z_{1c}$, то тоді:

$$\varphi_c = \tan^{-1}(x_{1c}/y_{1c}), \quad (5)$$

$$\lambda_c = \tan^{-1}\left(z_{1c}/\sqrt{(x_{1c})^2 + (y_{1c})^2}\right). \quad (6)$$

Аналогічно отримуємо формули для визначення переднього та заднього кутів у статичній системі координат. Передній кут дорівнює:

$$\gamma_c = \tan^{-1} \left(z_{2c} / (\sqrt{(x_{2c})^2 + (y_{2c})^2}) \right). \quad (7)$$

Координати одиничного вектора вздовж лінії перетину передньої поверхні та головної січної площини в статичній системі координат є такими:

$$\begin{cases} x_{2c} = (-\cos \gamma_i \cos \varphi_i) \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (-\sin \gamma_i \cos \theta_1 + (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \\ y_{2c} = (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \cos \theta_1 + \sin \gamma_i \sin \theta_1 \\ z_{2c} = \cos \theta_2 (-\sin \gamma_i \cos \theta_1 + (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) + (-\cos \gamma_i \cos \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases} \quad (8)$$

Задній кут визначається як:

$$\alpha_c = \tan^{-1} \left((\sqrt{(x_{3c})^2 + (y_{3c})^2}) / z_{3c} \right). \quad (9)$$

Координати одиничного вектора вздовж лінії перетину задньої поверхні та головної січної площини в статичній системі координат:

$$\begin{cases} x_{3c} = (-\sin \alpha_i \cos \varphi_i) \cos \theta_2 - (-\cos \alpha_i \cos \theta_1 + (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \sin \theta_2 \\ y_{3c} = (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \cos \theta_1 + \cos \alpha_i \sin \theta_1 \\ z_{3c} = (-\cos \alpha_i \cos \theta_1 + (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \cos \theta_2 + (-\sin \alpha_i \cos \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases} \quad (10)$$

Тому вплив кутів повороту θ_1 та θ_2 на кінцеве значення статичних кутів обраної індексованої вставки (з відомою геометрією в інструментальній системі координат) можна проаналізувати за формулами (5), (6), (7), (9) (рис. 3).

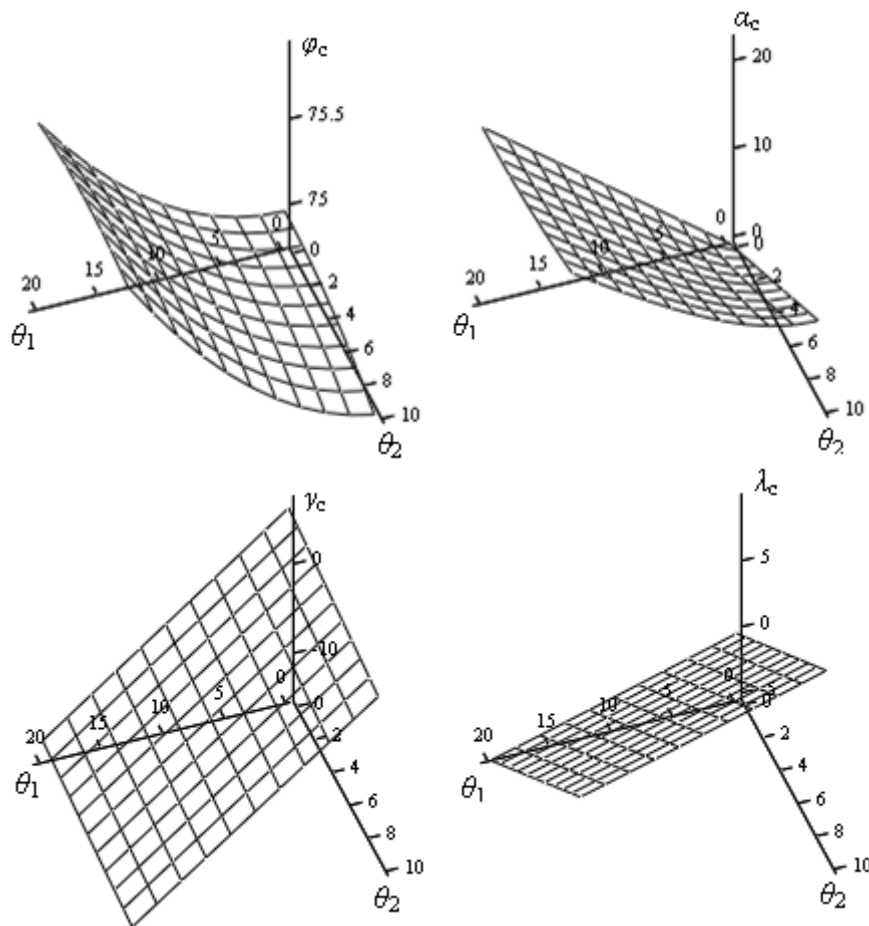


Рис. 3. Графіки залежностей геометричних кутів леза від кутів встановлення багатогранної непереточуваної пластини на корпусі

Висновки. Запропонована у статті методика дозволяє визначити положення базових поверхонь на корпусі інструменту для розміщення вибраної вставки. Це забезпечує оптимізацію геометричних параметрів його лез у статичній системі координат. Відповідно до графіків залежності кожного з кутів геометрії леза від кутів повороту вставки у фронтальній та

профільній площинах (відповідно θ_1 та θ_2) знаходять лінії рівнів цих графіків. Зважаючи на положення цих ліній можна встановити найбільш сприятливі значення для усіх геометричних параметрів вставки в статичній системі координат. Таким чином, використовуючи математичну модель розміщення змінних багатограних пластин на корпусі різального інструмента (формули (5 – 7, 9)) можна досягати максимального наближення до оптимальних значень геометричних параметрів лез при проектуванні складеного інструмента з використанням індексованих вставок.

Інформаційні джерела

1. Astakhov V. P. Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination / V.P. Astakhov, S.V. Shvets // International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, Vol. 10, Issue 2, 2020. – Pp. 1 – 17.
2. Schneider G. Cutting Tool Applicatins, 2002. Available from: <http://www.opensourcemechanicaltools.org/archive-manuals/Cutting-Tool-Applications.pdf>.
3. Kumar P. Influence of Different Grades of CBN Inserts on Cutting Force and Surface Roughness of AISI H13 Die Tool Steel during Hard Turning Operation/ P. Kumar, S. R. Chauhan, C. I. Pruncu, M. K. Gupta, D. Yu. Pimenov, M. Mia, H. S. Gill // Materials, Vol. 12(1), 2019. – Pp. 45 – 56.
4. Stephenson, D. A. Metal Cutting Theory and Practice, 3th ed./ D. A. Stephenson, J. S. Agapiou. – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2016. – 232 p.
5. Zheng, M. (2015) Research on the cutting heat and wear of indexable inserts with different transition surfaces/ M. Zheng, T. Gang, B. Yao, F. Li, Y. Song // Advanced Materials Research, Vol. 468 – 471, 2015. – Pp. 1290. – 1293.
6. Iscar. Coplete Machning Solution. Non-Rotating Tool Lines, 2019. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/iscar-tools/complete-machining-solutions-non-rotating-tool-lines/5692-721849.html>.
7. Kennametal. Master Catalog. Volume one – Turning, 2018. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/kennametal/master-catalog-2018-volume-one-turning-tools/7354-844711.html>.
8. Walter. Perform line - economic, reliable, highest quality, 2019. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=LvrJKbV6Bt8>.
9. MATERIALS, M. Coated Carbide (CVD) Selection Guide, 2019. Available from: http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_turning_tools/tec_turning_insert/tec_turning_grades/tec_turning_diacoat_cvd.
10. Euan I. G. Modeling Static and Dynamic Cutting Forces and Vibrations for Inserted Ceramic Milling Tools/ I. G. Euan, E. Ozturk, N.D. Sims // 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, 2013. – Pp. 564 – 569.
- 11.11. Петрушин С. И. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами / С. И. Петрушин, Р. Х. Губайдулина, А. А. Баканов, А. В. Махов // Вестник машиностроения, № 6, 2009. – С. 64 – 70.
12. Legrand C. A geometrical and mechanistic generalized model for complex shape broaching of super alloy / C. Legrand, G. Fromentin, G. Poulachon, R. Chatain, M. Rancic // Procedia CIRP, Vol. 82, 2019. – Pp. 461 – 466.
13. Emel'yanov S. G. Chip curling in metal cutting / S. G. Emel'yanov, E. I. Yatsun, A. I. Remnev, S. V. Shvets // Russian Engineering Research, Vol. 31(7), 2011. – Pp. 679 – 683.
14. Kyocera. Turning Indexable Inserts, 2015. Available from: <https://asia.kyocera.com/products/cuttingtools/wp-content/uploads/2015/02/B-Turning-Indexable.pdf>.
15. Campocasso S. A generalised geometrical model of turning operations for cutting force modelling using edge discretization / S. Campocasso, J-P Costesa, G. Fromentina, S. Bissey-Bretonb, G. Poulachona // Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, Issue 21, 2015. – Pp. 6612 – 6630.
16. Beno J. Operation Safety and Performance of Milling Cutters with Shank Style Holders of Tool Inserts / J. Beno, I. Mankova, M. Vrabel, B. Karpuschewski, T. Emmer, K. Schmidt // Procedia Engineering, Vol. 48, 2012. . – Pp. 15 – 23.
17. ДСТУ 2249–93. Процес різання. Терміни, визначення та позначення.
18. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин – Киев: Высшая школа, 1977. 192 с.

19. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущего инструмента / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров – Москва: Машгиз, 1963. – 952 с.

20. Korn, G. A. Mathematical handbook for scientists and engineers. Definitions, theorems, and formulas for reference and review / G. A. Korn, T. M. Korn. – General Publishing Company, Ltd., Toronto, 2000. – 1130 pp.

Швец С. В., к.т.н., Швец У.С., к.ф.-м.н.
Сумский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА КОРПУСЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В статье описан способ определения положения базовых поверхностей на корпусе инструмента для обеспечения необходимых значений углов выбранной сменной многогранной пластины (индексированной вставки – indexed insert) в статической системе координат. Анализ публикаций показал, что в современном производстве инструментов в основном применяются закрепленные механически сменные многогранные пластины. Особенностью зборных инструментов является то, что геометрические параметры индексированной вставки жестко взаимосвязаны. Оптимизация одного из них может навредить другому. Для определения связи между геометрией отдельных вставок и геометрией лезвия инструмента использованы три системы координат: инструментальная, переходная и статическая. Предложена математическая модель, воспроизводящая геометрические и кинематические взаимосвязи между геометрией вставки и базовыми поверхностями на корпусе инструмента. На графиках зависимости геометрии лезвия от углов вращения вставки во фронтальной и профильной плоскостях находят уровни этих графиков. Сравнивая их, можно оптимизировать значения всех геометрических параметров лезвия инструмента в статической системе координат.

Ключевые слова: индексированная вставка, режущий инструмент, система координат, базовые поверхности, геометрические параметры.

Shvets S.V., Ph.D., Shvets U.S., Ph.D.
Sumy State University

MODELING OF POSITIONS OF REPLACEABLE POLYHEDRAL PLATES ON THE CASE OF THE CUTTING TOOL

The article describes a method for determining the position of the base surfaces on the tool body to ensure the required angles of the selected replaceable polyhedral plate (indexed insert) in a static coordinate system. Analysis of publications showed that in modern tool production, mechanically fixed, replaceable polyhedral plates are mainly used. A feature of compound tools is that the geometric parameters of the indexed insert are rigidly interdependent. Optimizing one of them can hurt the other. To determine the relationship between the geometry of individual inserts and the geometry of the tool blade, three coordinate systems are used: instrumental, transitional and static. A mathematical model is proposed that reproduces the geometric and kinematic relationships between the insert geometry and the base surfaces on the tool body. On the graphs of the dependence of the blade geometry on the angles of rotation of the insert in the frontal and profile planes, the levels of these graphs are found. By comparing them, it is possible to optimize the values of all geometric parameters of the tool blade in a static coordinate system.

Key words: indexed insert, cutting tool, coordinate system, datum surfaces, geometric parameters.