

Oleynik E., Chenchayeva E. // Journal of the Technical University of Gabrovo. Bulgaria. – 2014. – Vol. 48. – P. 126–134.

Кузнецов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Кузнецов Юрій Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Kuznetsov Iurii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of chair “Construction of Machine Tools and Other Machines”, National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”, (37 Pobeda Av., 03056 Kiev, Ukraine).

E-mail: info@zmok.kiev.ua

УДК 621.9

Михаил Михайлов

ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ФОРМ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА ТОЧНОСТЬ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Міхаїл Міхайлаєв

ВПЛИВ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ФОРМ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН НА ТОЧНІСТЬ ЇХ РОЗТАШУВАННЯ ЩОДО КОРПУСУ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Mikhail Mikhailau

INFLUENCE OF STATISTICAL PARAMETERS AND FORMS OF REMOVABLE MULTIFACETED PLATES ON THE PRECISION OF THEIR LOCATION RELATIVE TO THE HOUSING MODULAR TOOL

Получены формы расчетных площадей касания сменных многогранных пластин с заданными вероятностями по результатам экспериментальных исследований режущих пластин. Приведена методика определения координат точек касания базовых граней сменных многогранных пластин с пазом корпуса инструмента. Раскрыто влияние расположения точек контакта и форм пластин на точность расположения режущих кромок относительно корпуса инструмента.

Ключевые слова: сборный металлорежущий инструмент, сменные многогранные пластины, формы пластин, точность расположения кромок.

Рис.: 2. Табл.: 2. Библ.: 15.

Отримано форми розрахункових площ торкання змінних багатограних пластин із заданими ймовірностями за результатами експериментальних досліджень різальних пластин. Наведено методика визначення координат точок дотику базових граней змінних багатограних пластин з пазом корпусу інструменту. Розкрито вплив розташування точок контакту і форм пластин на точність розташування різальних крайок щодо корпусу інструменту.

Ключові слова: збірний металорізальний інструмент, змінні багатогранні пластини, форми пластин, точність розташування крайок.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 15.

Get in shape calculation area of tangency of interchangeable polyhedral plates with a given probability In an experimental investigation of the cutting inserts. The design procedure determining the coordinates of points of tangency of base faces of the of interchangeable polyhedral plates with a groove of the tool body. Disclose the effect of arrangement of contact points and the shape of the plate on the accuracy of the location of cutting edges of the tool housing.

Key words: precast metal-cutting tools, changeable cutting inserts, forms of plates, precision of edges arrangement of.

Fig.: 2. Table.: 2. Bibl.: 15.

Постановка проблемы. Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам, отражающим качество изготовления поверхностей деталей – точность получаемых размеров, отклонения формы, взаимное расположение поверхностей, их волнистость и шероховатость. При этом необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая зависит от стабильности параметров элементов технологической системы.

Геометрия поверхности детали определяет ее топографию. Математическое описание формирования топографии поверхности механической обработкой затрудняется из-за

большого количества влияющих на нее параметров. При этом эмпирические рекомендации позволяют разрешить только отдельные из возникающих проблем, для которых эти эмпирические данные существуют. Математическое моделирование операций механической обработки по сравнению с экспериментальными исследованиями позволяет получать большее количество информации и сократить время исследований.

Анализ исследований и публикаций. Известны различные способы получения заданной топографии обработанных поверхностей [1–10]. В этих работах показатели топографий и их связь с параметрами режущих инструментов чаще всего получены математическим моделированием. При этом решались как прямая, так и обратная задачи. Как известно, топография обработанных поверхностей зависит от расположения формообразующих кромок относительно обработанных поверхностей. На точность обработанных поверхностей значительное влияние оказывает точность самого инструмента, который по конструкции может быть цельным, составным и сборным. Точность сборного инструмента зависит от точности изготовления его элементов, способов их базирования и закрепления в корпусе инструмента [11–13].

Нерешенные части проблемы. Параметры элементов сборного инструмента имеют статистический характер, что существенно усложняет их учет в математических моделях, отражающих точность всего инструмента.

Цель статьи. Целью статьи является установление влияния статистических параметров и форм сменных многогранных пластин на точность расположения режущих кромок относительно корпуса сборного инструмента.

Изложение основного материала. Точность расположения формообразующих кромок сменных многогранных пластин (СМП) зависит от погрешности формы передних и задних поверхностей, а также от погрешности формы и взаимного расположения их базовых поверхностей.

Используя известную методику, были проведены исследования контурных площадей касания базовых опорных поверхностей пластин с эталонной плоскостью и определены отклонения от плоскостности этой грани по выделенным зонам [12].

Измерению подвергались три партии пластин по 80 штук в каждой. Полученные результаты были проанализированы по следующим показателям: среднему значению измеряемых величин, среднеквадратическому отклонению σ и коэффициенту вариации v . Кроме того, по критерию согласия Пирсона χ^2 и критерию Романовского был выбран закон распределения каждого параметра [14].

Для более полного анализа контурных площадей касания граней пластин были построены аналитические формы касания с заданной вероятностью. При этом формировалась матрица

$$[Z_{P_{i,j}}] = \begin{bmatrix} Z_{P_{1,1}} & Z_{P_{1,2}} & Z_{P_{1,j}} & Z_{P_{1,n}} \\ Z_{P_{2,1}} & Z_{P_{2,2}} & Z_{P_{2,j}} & Z_{P_{2,n}} \\ Z_{P_{i,1}} & Z_{P_{i,2}} & Z_{P_{i,j}} & Z_{P_{i,n}} \\ Z_{P_{m,1}} & Z_{P_{m,2}} & Z_{P_{m,j}} & Z_{P_{m,n}} \end{bmatrix},$$

где $Z_{P_{i,j}} = 1$, если $P_{i,j\text{зад}} \leq P_{i,j\text{фак}}$; $Z_{P_{i,j}} = 0$, если $P_{i,j\text{зад}} > P_{i,j\text{фак}}$;

$P_{i,j\text{зад}}$ – заданная вероятность;

$P_{i,j\text{фак}}$ – фактическая вероятность наличия действительной контурной площади касания в элементарной ячейке с координатами центра X_{ij} Y_{ij} .

Формы расчетных контурных площадей касания с заданными вероятностями для трехгранных и конических пластин представлены на рис. 1.

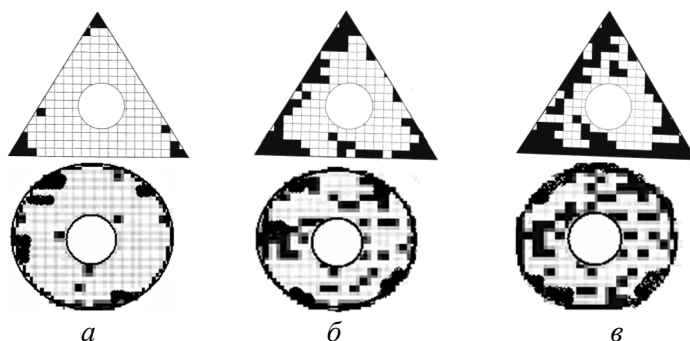


Рис. 1. Формы расчетных площадей касания пластин с заданными вероятностями: а – 0,5; б – 0,4; в – 0,25

Анализ расчетных значений контурных площадей касания опорных граней пластин позволяет сделать вывод, что они отличаются от номинальных и составляют в среднем 32,9 % и не превышают 51 % у трехгранных пластин, 34,7 и 43,5 % у конических соответственно.

Для анализа точности расположения СМП был разработан алгоритм и математические модели к расчету координат точек контакта базовых поверхностей СМП и паза корпуса инструмента с заданными вероятностями (рис. 2) и установлены статистические условия их существования (табл. 1).

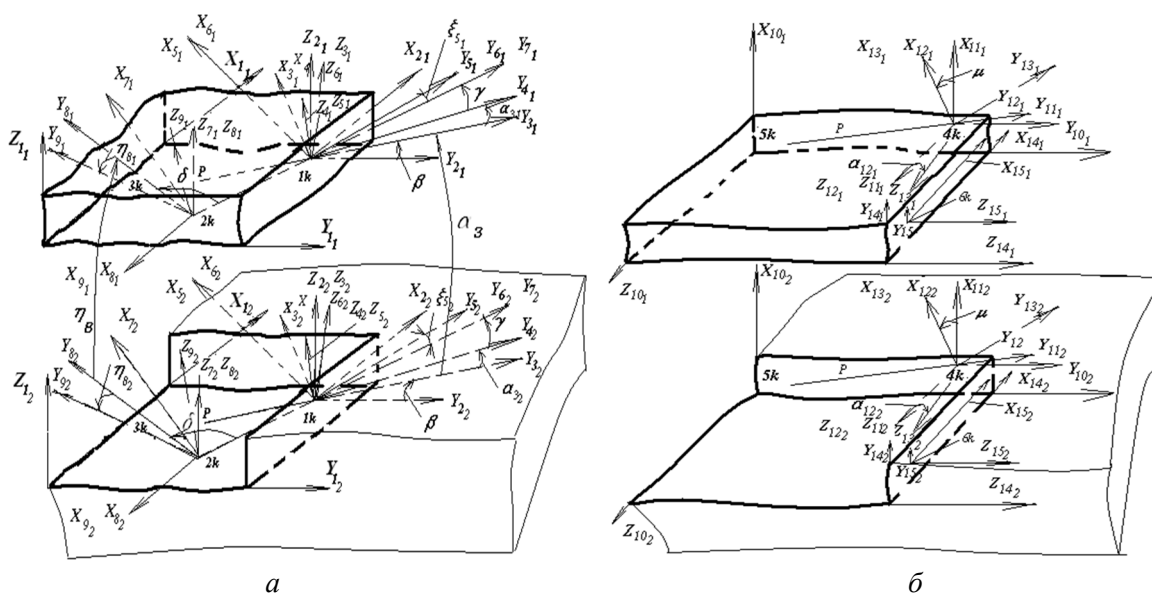


Рис. 2. Схема к расчету координат точек контакта СМП и паза корпуса инструмента: а – для опорной поверхности; б – для боковых поверхностей

Таблица 1

Условия существования точек контакта базовых поверхностей СМП и паза корпуса инструмента

Номер точек	Расчетные зависимости	Условия существования точки
1	2	3
1k	$1k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{1S_{i,j}} \rightarrow \min;$ <p>$Z_{1S_{i,j}}$ – массивы координат расчетных топографий поверхностей (рис. 1)</p>	<p>При заданных координатах точек установочной поверхности в системе $X_1 Y_1 Z_1$ (рис. 2)</p> $X_{1S_{i,j}} \geq 0; Y_{1S_{i,j}} \geq 0; Z_{1S_{i,j}} \geq 0.$ <p>$S = 1,2$ – номера контактирующих поверхностей; i, j – номер точки поверхности; n, m – количество выделенных точек</p>

Окончание табл. 1

1	2	3
2k	$2k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \alpha_{3S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\alpha_{3S_{i,j}} = \arccos \frac{ Y_{3S_{i,j}} }{R_{3S_{i,j}}};$ $R_{3S_{i,j}} = \sqrt{(Y_{3S_{i,j}})^2 + (Z_{3S_{i,j}})^2}$	$K_1 K_2 > 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}} + \Delta Y_{2_{1k,1P}} Y_{2_{1k}} + \Delta Y_{2_{p,1k}} Y_{2_{1k}} - \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}};$ $K_2 = \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{1k,1P}} Y_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{p,1k}} Y_{2_{1k}} - \Delta X_{2_{p,1k}} X_{2_{1k}};$ <p>здесь $X_{2_{1P}}, Y_{2_{1k}}$ – координаты точки проекции силы тяжести и точек контакта; $\Delta X_{2_{1P,1k}}, \Delta Y_{2_{1k,1P}}$ – соответственно первая разность координат точек контакта и токи проекции силы тяжести</p>
3k	$3k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \xi_{5S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\xi_{5S_{i,j}} = \arccos \frac{ X_{5S_{i,j}} }{R_{5S_{i,j}}};$ $R_{5S_{i,j}} = \sqrt{(X_{5S_{i,j}})^2 + (Z_{5S_{i,j}})^2}$	$\lambda_1 > 0; \lambda_2 > 0, \lambda_1 + \lambda_2 < 1, (1)$ <p>где</p> $\lambda_1 = \frac{\Delta X_{6_{1P,3k}} \Delta Y_{6_{12k,3k}} - \Delta Y_{6_{1P,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}}{\Delta Y_{6_{12k,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}};$ $\lambda_2 = \frac{\Delta Y_{6_{1P,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{1P,3k}}}{\Delta Y_{6_{12k,3k}} \Delta X_{6_{11k,3k}} - \Delta Y_{6_{11k,3k}} \Delta X_{6_{12k,3k}}}$
	<p>Окончательно</p> $3k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \eta_{8S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\eta_{8S_{i,j}} = \arccos \frac{ X_{8S_{i,j}} }{R_{8S_{i,j}}};$ $R_{8S_{i,j}} = \sqrt{(X_{8S_{i,j}})^2 + (Z_{8S_{i,j}})^2}$	<p>Если (1) не выполняется, то при</p> $K_1 K_2 < 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta Y_{6_{13k,2k}} X_{6_{1P}} + \Delta X_{6_{12k,3k}} Y_{6_{1P}} + Y_{6_{12k}} X_{6_{13k}} - X_{6_{12k}} Y_{6_{13k}};$ $K_2 = \Delta Y_{6_{13k,2k}} X_{6_{1P}} + \Delta X_{6_{12k,3k}} Y_{6_{1P}} + Y_{6_{12k}} X_{6_{13k}} - X_{6_{12k}} Y_{6_{13k}}$ <p>каждая рассматриваемая точка отбрасывается</p>
4k	$4k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{10S_{i,j}} \rightarrow \min$	<p>При заданных координатах точек направляющей поверхности</p> $X_{10S_{i,j}} \geq 0; Y_{10S_{i,j}} \geq 0; Z_{10S_{i,j}} \geq 0$
5k	$5k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} \alpha_{12S_{i,j}} \rightarrow \min;$ $\alpha_{12S_{i,j}} = \arccos \frac{ Y_{12S_{i,j}} }{R_{12S_{i,j}}};$ $R_{12S_{i,j}} = \sqrt{(Y_{12S_{i,j}})^2 + (Z_{12S_{i,j}})^2}$	$K_1 K_2 > 0, \text{ где}$ $K_1 = \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{1P}} + \Delta Y_{2_{14k,1P}} Y_{2_{1P}} + \Delta Y_{2_{1P,4k}} Y_{2_{14k}} - \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{14k}};$ $K_2 = \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{14k,1P}} Y_{2_{i,j}} + \Delta Y_{2_{1P,4k}} Y_{2_{14k}} - \Delta X_{2_{1P,4k}} X_{2_{14k}}$
6k	$6k \rightarrow \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} Z_{14S_{i,j}} \rightarrow \min$	<p>При заданных координатах точек опорной поверхности</p> $X_{10S_{i,j}} \geq 0; Y_{10S_{i,j}} \geq 0; Z_{10S_{i,j}} \geq 0$
<p>где $Y_{3S_{i,j}}, Z_{3S_{i,j}}, X_{5S_{i,j}}, Z_{5S_{i,j}}, X_{8S_{i,j}}, Z_{8S_{i,j}}, Z_{10S_{i,j}}, Y_{12S_{i,j}}, Z_{12S_{i,j}}, Z_{14S_{i,j}}$ – координаты точек контактирующих поверхностей в системах координат X_i, Y_i, Z_i при $i = 3, 5, 8, 10, 12, 14$ (рис. 2).</p>		

Для получения аналитических зависимостей точности расположения СМП относительно корпуса инструмента использовали метод координат [15].

Если основные базирующие поверхности СМП описывать в системе $OXYZ$, а формообразующие кромки – $oxyz$, тогда положение формообразующих кромок относительно основных баз определяется как положение системы $oxyz$ в системе $OXYZ$.

Это положение задавалось через радиус-вектор \bar{r}_{P_3} с обобщенными параметрами $\mu_{N_{P_3,N}}$ при заданной вероятности $\bar{r}_{P_3}(\mu_{1_{P_3,1}} \dots \mu_{N_{P_3,N}})$.

Как известно, угол между двумя номинальными поверхностями соответствует углу между их нормальными. В связи с этим угол наклона координатной плоскости $zoу$ относительно ZOY с заданной вероятностью, равен углу $\varphi_{1_{P_3}}$, заключенному между осями ox и OX ; соответственно – $хоz$ относительно XOZ – углу $\varphi_{2_{P_3}}$, заключенному между осями oy и OY ; $хоу$ относительно XOY – углу $\varphi_{3_{P_3}}$, заключенному между осями oz и OZ .

Учитывая, что поворот системы oxy вокруг координатной оси, перпендикулярной к рассматриваемой точке формообразующей кромки, не изменяет ее наклона относительно основной базовой поверхности, можно записать

$$\cos \varphi_{1_{P_3}} = \cos \gamma_{P_\gamma} \cos \beta_{P_\beta}; \cos \varphi_{2_{P_3}} = \cos \gamma_{P_\gamma} \cos \lambda_{P_\lambda}; \cos \varphi_{3_{P_3}} = \cos \beta_{P_\beta} \cos \lambda_{P_\lambda}.$$

где γ, β, λ – углы микроповоротов СМП относительно осей системы координат XYZ .

После элементарных преобразований получили

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_{1_{P_3}} &= \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma_{P_\gamma} \cos^2 \beta_{P_\beta}}}{\cos \gamma_{P_\gamma} \cos \beta_{P_\beta}}; \operatorname{tg} \varphi_{2_{P_3}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda_{P_\lambda} \cos^2 \gamma_{P_\gamma}}}{\cos \lambda_{P_\lambda} \cos \gamma_{P_\gamma}}; \\ \operatorname{tg} \varphi_{3_{P_3}} &= \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda_{P_\lambda} \cos^2 \beta_{P_\beta}}}{\cos \lambda_{P_\lambda} \cos \beta_{P_\beta}}. \end{aligned}$$

Отклонения линейных размеров, обусловленных погрешностью геометрической формы СМП, можно представить в виде $\Delta_{L_{\Phi_{P_\Phi}}} = (\Delta_{X_{\Phi_{P_\Phi}}}, \Delta_{Y_{\Phi_{P_\Phi}}}, \Delta_{Z_{\Phi_{P_\Phi}}})$.

Тогда отклонение расстояний от точек формообразующих кромок до осей выбранной системы координат можно представить как сумму относительной удаленности, поворота и отклонений от плоскости поверхностей СМП.

С учетом полученных выше зависимостей, определяющих значения элементов рассматриваемых матриц, можно записать

$$\begin{aligned} \Delta_{L_{X_{P_\Delta}}} &= \Delta_{a_{P_\Delta}} - \frac{Y_{P_Y} \operatorname{tg}(\Delta_\gamma)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\beta)}} + Z_{P_Z} \operatorname{tg}(\Delta_\beta) + \Delta_{X_{\Phi_{P_\Phi}}}; \\ \Delta_{L_{Y_{P_\Delta}}} &= \Delta_{b_{P_\Delta}} - \frac{X_{P_X} \operatorname{tg}(\Delta_\gamma)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\lambda)}} + Z_{P_Z} \operatorname{tg}(\Delta_\lambda) + \Delta_{Y_{\Phi_{P_\Phi}}}; \\ \Delta_{L_{Z_{P_\Delta}}} &= \Delta_{c_{P_\Delta}} - \frac{X_{P_X} \operatorname{tg}(\Delta_\beta)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\Delta_\lambda)}} + Y_{P_Y} \operatorname{tg}(\Delta_\lambda) + \Delta_{Z_{\Phi_{P_\Phi}}}. \end{aligned}$$

С помощью матрицы налагаемых связей выявлялись функциональные зависимости между элементами погрешности расположения $[\omega_{y_P}] = (a_{y_P}, b_{y_P}, c_{y_P}, \lambda_{y_P}, \beta_{y_P}, \gamma_{y_P})$ с заданной вероятностью и нормальными координатами опорных точек

$$[\omega_{y_P}] = [Q_P][P_P] \quad (1)$$

где $[P_P]$ – матрица нормальных координат опорных точек;

$[Q_p]$ – матрица налагаемых связей, которая в общем случае представляет собой квадратную матрицу шестого порядка $[Q_p] = [q_{ip}]^n$ при $n = 6$,

$$[P_p] = [\Delta(X, Y, Z)_{1p}, \Delta(X, Y, Z)_{2p}, \Delta(X, Y, Z)_{3p}, \Delta(X, Y, Z)_{4p}, \Delta(X, Y, Z)_{5p}, \Delta(X, Y, Z)_{6p}].$$

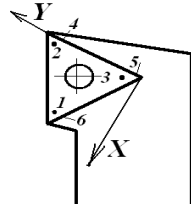
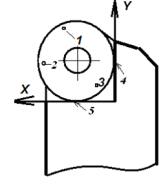
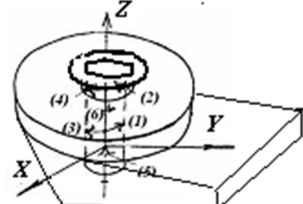
Тогда система (1) примет выражение

$$\begin{bmatrix} a_{yp} \\ b_{yp} \\ c_{yp} \\ \lambda_{yp} \\ \beta_{yp} \\ \gamma_{yp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11p} & q_{12p} & q_{13p} & q_{14p} & q_{15p} & q_{16p} \\ q_{21p} & q_{22p} & q_{23p} & q_{24p} & q_{25p} & q_{26p} \\ q_{31p} & q_{32p} & q_{33p} & q_{34p} & q_{35p} & q_{36p} \\ q_{41p} & q_{42p} & q_{43p} & q_{44p} & q_{45p} & q_{46p} \\ q_{51p} & q_{52p} & q_{53p} & q_{54p} & q_{55p} & q_{56p} \\ q_{61p} & q_{62p} & q_{63p} & q_{64p} & q_{65p} & q_{66p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta(X, Y, Z)_{1p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{2p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{3p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{4p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{5p} \\ \Delta(X, Y, Z)_{6p} \end{bmatrix}.$$

Для рассмотренных СМП и схем их базирования определялись составляющие q_{ij} , а результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ точности расположения СМП относительно корпуса

Расчетные схемы, параметры, мм	Положение СМП относительно корпуса					
	a, мм	b, мм	c, мм	λ , рад	β , рад	γ , рад
 <p>$\Delta Z_1 = 0,01; Y_4 = 15; \Delta Z_2 = 0,03; \Delta Z_3 = 0,015; \Delta X_5 = 0,03;$ $\Delta X_4 = 0,01; X_2 = 1,0; \Delta Y_6 = 0,244; X_1 = 12,287; Y_5 = 1; X_3 = 12,287;$ $Y_1 = 24,177; Y_2 = 1; Y_3 = 10,177$</p>	$-3,21 \cdot 10^{-2}$	$-2,442 \cdot 10^{-2}$	$-3,14 \cdot 10^{-2}$	$3,57 \cdot 10^{-4}$	$1,038 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$
 <p>$\Delta Z_1 = 0,01; \Delta Z_2 = 0,03; \Delta Z_3 = 0,015;$ $\Delta Y_5 = 0,02; \Delta X_4 = 0,02; X_1 = 14; X_2 = 25;$ $X_3 = 4; Y_1 = 25; Y_2 = 14;$ $Y_3 = 4$</p>	$-5,87 \cdot 10^{-5}$	$-5,87 \cdot 10^{-5}$	$-1,37 \cdot 10^{-2}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-3}$	–
 <p>$\Delta X_1 = 0,02; \Delta X_2 = 0,01;$ $\Delta Z_5 = 0,02; \Delta Y_3 = 0,01; \Delta Y_4 = 0,02;$ $\Delta Y_6 = 0,01; Z_1 = 6,35; Z_2 = 0,5;$ $Z_3 = 6,35; Z_4 = 0,5$</p>	$9,15 \cdot 10^{-3}$	$2,085 \cdot 10^{-2}$	$-2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$-1,71 \cdot 10^{-3}$	$-1,26 \cdot 10^{-3}$

Данные табл. 2 позволяют сделать вывод, что при переходе от плоских боковых базовых поверхностей к цилиндрическим погрешность расположения по осям уменьшается соответственно от 2,29 до $5,5 \cdot 10^3$ раз. При переходе от базирования СМП на опорную и боковые поверхности к базированию на центральное отверстие и опорную поверхность приводит к увеличению погрешности расположения по осям систем координат от 158, 362 и 1,46 раза.

Выводы. Анализ полученных данных позволяет заключить, что наибольшей точностью обладают СМП с базированием на опорную поверхность в закрытый паз корпуса инструмента.

Список использованных источников

1. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
2. *Григорьян Г. Д.* Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения / Г. Д. Григорьян, В. Н. Мухортов // Станки и инструмент. – 1986. – № 12. – С. 23–24.
4. *Кальченко В. И.* Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В. И. Кальченко. – М. : Машиностроение, 1979. – 160 с.
5. *Кальченко В. І.* Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі і круга / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, М. А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів, 2009. – № 37. – С. 64–72.
9. *Перепелица Б. А.* Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. – Х. : Вища школа, 1991. – 512 с.
10. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1996. – 336 с.
11. *Михайлов М. И.* Моделирование точности сборного механизированного инструмента / М. И. Михайлов // Современные проблемы машиноведения : тезы докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Гомель, 19–20 окт. 2006 г.). – Гомель, 2006. – С. 88–89.
12. *Михайлов М. И.* Моделирование точности позиционирования сменных многогранных пластин в корпусе инструмента плоскостным методом / М. И. Михайлов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 30–37.
13. *Михайлов М. И.* Анализ точности позиционирования сменных многогранных пластин при базировании их на опорную поверхность и центральное отверстие сборного режущего инструмента / М. И. Михайлов // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-техн. конф. (Новосибирск, 24.08.2014 г.). – Новосибирск : СибАК, 2014. – С. 79–85.
14. *Ящерицын П. И.* Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск : Выш. шк., 1985. – 286 с.
15. *Базров Б. М.* Расчет точности машин на ЭВМ / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1984. – 256 с.

Михайлов Михаил Иванович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлорежущих станков и инструментов, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого (просп. Октября, 48, г. Гомель, 246746, Беларусь).

Міхайлав Міхал Іванович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри металорізальних верстатів та інструментів, Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого (просп. Жовтня, 48, м Гомель, 246746, Білорусь).

Mikhailau Mikhail – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Head of the Department of cutting machines and tools, Sukhoi State Technical University of Gomel, (48 October Av., 246746 Gomel, Belarus).

E-mail: mihailov@gstu.by