

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗУБА ИНСТРУМЕНТА

М. И. МИХАЙЛОВ

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

Введение

При проектировании инструментов со сменными многогранными пластинами (СМП) решается в основном прямая геометрическая задача, которая формулируется следующим образом: заданы форма СМП и способ ее ориентации в корпусе инструмента, т. е. заданы в каждой точке режущей кромки угол φ в плане, угол λ наклона кромки, задний α и передний γ углы режущей части, а необходимо найти углы ориентации СМП в корпусе инструмента [1]–[3].

С точки зрения геометрии резания все многообразие форм СМП согласно каталогам ведущих инструментальных фирм (Sandvik Coromant, Kenna-metall-Hertel и др.) [4]–[6] можно свести к следующей классификации:

– по форме СМП в плане: трехгранная, трехгранная неправильной формы (угол при вершине в инструментальной системе координат $\varepsilon_n = 80^\circ$), квадратная, ромбическая ($\varepsilon_n = 35^\circ, 55^\circ, 80^\circ$), параллелограммная ($\varepsilon_n = 55^\circ$), пятигранная, шестигранная, круглая, специальной формы;

– по форме режущей кромки: с плоской режущей кромкой (угол наклона кромок на пластине $\lambda_n = 0$), с пространственной режущей кромкой ($\lambda_n \neq 0$);

– по наличию заднего угла α_n на пластине: без заднего угла ($\alpha_n = 0$), с задним углом ($\alpha_n = 5^\circ, 7^\circ, 11^\circ, 20^\circ$);

– по наличию стружечной канавки или отрицательной фаски: с плоской передней поверхностью (передний угол на пластине $\gamma_n = 0$), со стружечной канавкой или упрочняющей фаской ($\gamma_n \neq 0$).

Остальные конструктивные параметры (наличие отверстия, двусторонние пластины, толщина СМП и др.) не участвуют в формировании геометрии режущей части инструмента.

Существуют два основных способа ориентации СМП в корпусе сборного инструмента: с помощью фронтального γ_x и профильного γ_y углов наклона; путем задания положения плоскости наибольшего наклона СМП и угла наибольшего наклона [2], [3].

Второй способ появился исторически первым на резцах конструкции ВНИИинструмента [3], однако в последние годы он применяется сравнительно редко. В настоящее время большее распространение получил первый способ в связи с тем, что именно он применяется в системах ЧПУ пятикоординатных станков для фрезерования гнезд под пластину на корпусе инструмента.

Методика моделирования

Рассмотрим изложенные выше общие положения применительно к основным группам сборных инструментов – резцов, фрез и осевого инструмента с СМП.

На рис. 1 представлена СМП в системе координат пластины (СКП) $X_{п} Y_{п} Z_{п}$. Пластина в общем случае имеет сложную форму в плане, пространственную кривую режущей кромки, задние углы и стружечные канавки. Начало СКП помещено в вершину СМП – точку O . Плоскость $X_{п}OY_{п}$ (основная плоскость пластины) параллельна основанию режущей пластины, а ось $OZ_{п}$ – перпендикулярна к ней.

Рассмотрим геометрию главной режущей кромки в произвольной точке A (рис. 1).

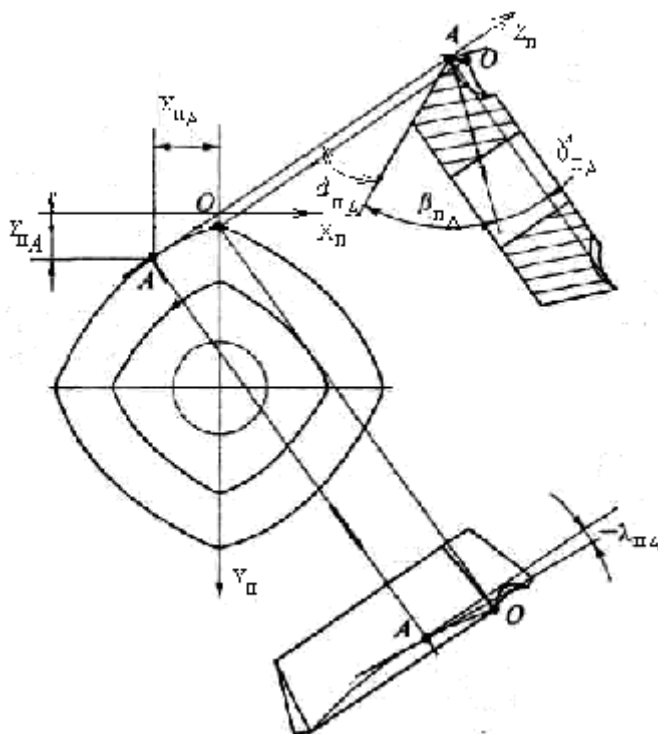


Рис. 1. Схема к расчету углов СМП

На рис. 1 обозначены геометрические параметры СМП в СКП, характеризующие геометрию лезвия в точке A : $\varphi_{пА}$ – главный угол в плане; $\lambda_{пА}$ – угол наклона режущей кромки; $\alpha_{пА}$ – главный задний угол; $\gamma_{пА}$ – главный передний угол; $\beta_{пА}$ – главный угол заострения.

На рис. 2 показан сборный проходной токарный резец с фасонной четырехгранной СМП в инструментальной системе координат (ИСК). Для наглядности изображения СМП имеет плоскую переднюю поверхность, параллельную основанию. Обозначения на рис. 2 такие же, как на рис. 1.

В задаче анализа, по известной форме СМП и углам ее ориентации в корпусе, необходимо рассчитать инструментальные углы лезвия в заданной точке A .

Используя известную методику преобразования систем координат, были получены выражения для расчета углов ориентации СМП в корпусе инструмента [7], [8]. При условии, что эти углы должны обеспечить требуемые значения переднего угла $\gamma_{и}$, угла наклона режущей кромки $\lambda_{и}$, угла в плане $\varphi_{и}$.

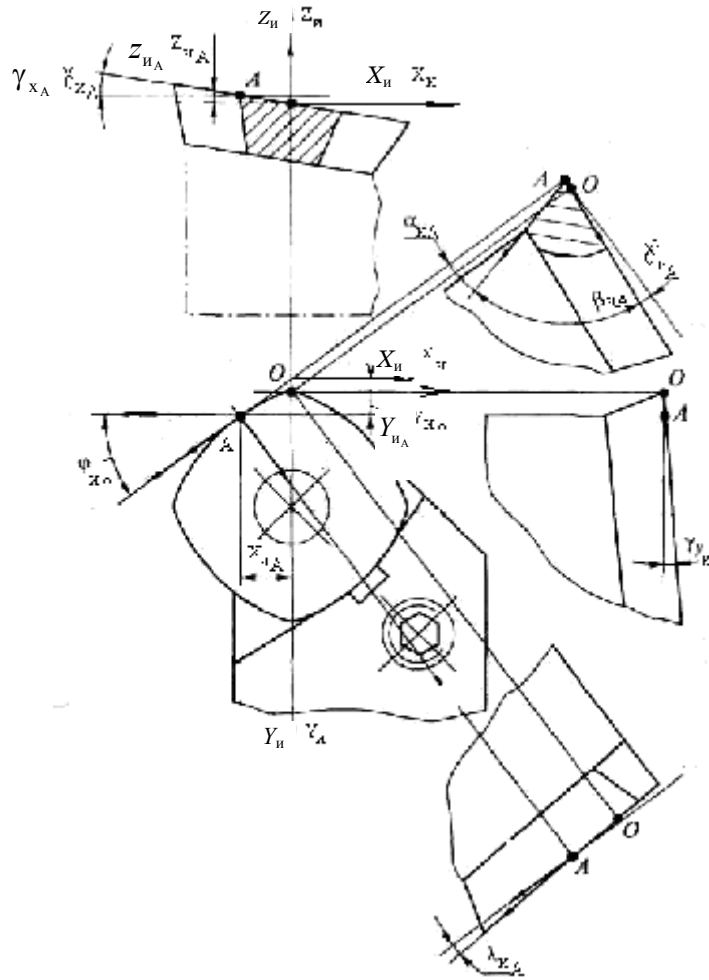


Рис. 2. Схема к расчету углов лезвия, не вращающегося инструмента

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_{X_n} &= \frac{\sin \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n \cos \lambda_n \sin \gamma_n + \operatorname{tg} \gamma_{X_n} \cos \lambda_n \cos \gamma_n}{\cos \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\sin \gamma_n \sin \lambda_n \cos \varphi_n + \sin \varphi_n \cos \gamma_n)} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\sin \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n \cos \lambda_n \sin \gamma_n + \operatorname{tg} \gamma_{X_n} \cos \lambda_n \cos \gamma_n}{\cos \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\sin \gamma_n \sin \lambda_n \cos \varphi_n + \sin \varphi_n \cos \gamma_n)} + \\ &\rightarrow \frac{\operatorname{tg} \gamma_{X_n} (\cos \gamma_n \sin \lambda_n \cos \varphi_n - \sin \gamma_n \sin \varphi_n)}{\cos \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\sin \gamma_n \sin \lambda_n \cos \varphi_n + \sin \varphi_n \cos \gamma_n)}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_{Y_n} &= \frac{\sin \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n \cos \lambda_n \sin \gamma_n + \operatorname{tg} \gamma_{X_n} \cos \lambda_n \cos \gamma_n}{-\sin \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\cos \gamma_n \cos \varphi_n - \sin \gamma_n \sin \lambda_n \sin \varphi_n)} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\sin \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n \cos \lambda_n \sin \gamma_n + \operatorname{tg} \gamma_{X_n} \cos \lambda_n \cos \gamma_n}{-\sin \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\cos \gamma_n \cos \varphi_n - \sin \gamma_n \sin \lambda_n \sin \varphi_n)} - \\ &\rightarrow \frac{-\operatorname{tg} \gamma_{X_n} (\cos \gamma_n \sin \lambda_n \sin \varphi_n + \sin \gamma_n \sin \varphi_n)}{-\sin \varphi_n \cos \lambda_n + \operatorname{tg} \varphi_n (\cos \gamma_n \cos \varphi_n - \sin \gamma_n \sin \lambda_n \sin \varphi_n)}. \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 3 приведена схема к расчету статических углов зуба резца. Используя принятые обозначения и данные рис. 3, получим зависимости для углов в статической системе координат:

$$\operatorname{tg} \gamma_{c_i} = \operatorname{tg} \gamma_{X_n} \cos \varphi_{c_i} + \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{Y_{n_i}}{r_i} + \gamma_{Y_n} \right) \sin \varphi_{c_i}; \quad (3)$$

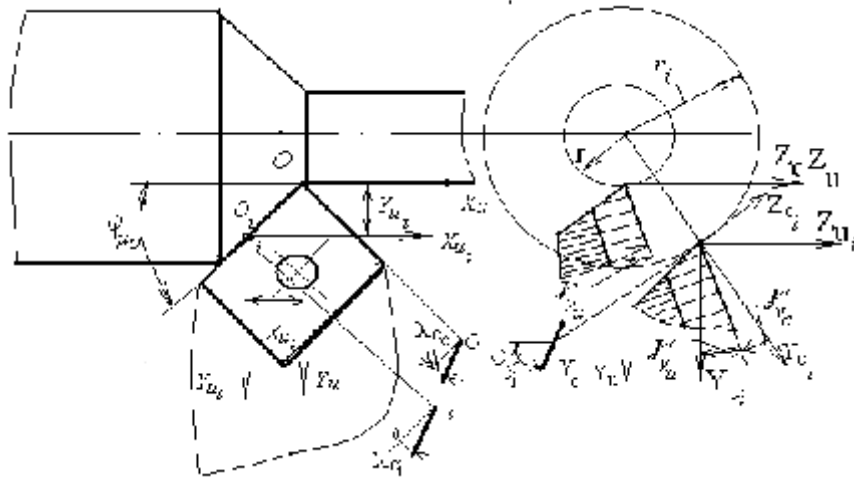


Рис. 3. Схема к расчету статических углов

$$\operatorname{ctg}\alpha_{c_i} = -\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \sin\varphi_{c_i} + \operatorname{ctg}\left(\alpha_{y_{n_i}} - \arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i}\right) \cos\varphi_{c_i}, \quad (4)$$

где Y_{n_i} – координата i -й точки режущей кромки в инструментальной системе координат; r_i – радиус детали в i -й точке режущей кромки инструмента.

$$\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} = \frac{\sin\lambda_n + \operatorname{tg}\varphi_n \cos\lambda_n \cos\alpha_n + \operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \cos\lambda_n \sin\alpha_n}{\cos\varphi_n \cos\lambda_n + \operatorname{tg}\varphi_n (\cos\alpha_n \sin\lambda_n \cos\varphi_n + \sin\varphi_n \sin\alpha_n) + \operatorname{ctg}\alpha_{x_n} (\sin\alpha_n \sin\lambda_n \cos\varphi_n - \cos\alpha_n \sin\varphi_n)}; \quad (5)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_{y_n} = \frac{\sin\lambda_n + \operatorname{tg}\varphi_n \cos\lambda_n \cos\alpha_n + \operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \cos\lambda_n \sin\alpha_n}{-\sin\varphi_n \cos\lambda_n + \operatorname{tg}\varphi_n (\sin\alpha_n \cos\varphi_n - \cos\alpha_n \sin\lambda_n \sin\varphi_n) - \operatorname{ctg}\alpha_{x_n} (\sin\alpha_n \sin\lambda_n \sin\varphi_n + \cos\alpha_n \sin\varphi_n)}; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{c_i} = Y_{n_i}/r_i \operatorname{tg}\varphi_n + Z_{n_i}/r_i \operatorname{tg}\gamma_{x_n}. \quad (7)$$

Зависимости между углами в кинематической системе координат для двух случаев движения подачи примут вид:

– движение подачи в радиальном направлении

$$\operatorname{tg}\gamma_k = \operatorname{tg}\gamma_{x_n} \cos\varphi_k + \operatorname{tg}\left(\arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i} + \gamma_{y_{n_i}} + \operatorname{arctg}\frac{S_0}{\pi d_i}\right) \sin\varphi_k; \quad (8)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_k = -\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \sin\varphi_k + \operatorname{ctg}\left(\alpha_{y_{n_i}} - \arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i} - \operatorname{arctg}\frac{S_0}{\pi d_i}\right) \cos\varphi_k, \quad (9)$$

где $\operatorname{ctg}\varphi_k = \operatorname{ctg}\varphi_c / \sqrt{1 + S_0^2 / \pi^2 d_i^2} + \operatorname{tg}\gamma_{x_c} / \sqrt{1 + \pi^2 d_i^2 / S_0^2}; \quad (10)$

– движение подачи в осевом направлении:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\kappa} = \operatorname{tg}(\gamma_{x_n} + \operatorname{arctg} \frac{S_0}{\pi d_i}) \cos \varphi_{\kappa} + \operatorname{tg}(\arccos \frac{Y_{n_i}}{r_i} + \gamma_{y_{n_i}}) \sin \varphi_{\kappa}; \quad (11)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\kappa} = -\operatorname{ctg}(\alpha_{x_n} - \operatorname{arctg} \frac{S_0}{\pi d_i}) \sin \varphi_{\kappa} + \operatorname{ctg}(\alpha_{y_{n_i}} - \arccos \frac{Y_{n_i}}{r_i}) \cos \varphi_{\kappa}, \quad (12)$$

$$\text{где } \operatorname{ctg} \varphi_{\kappa} = \operatorname{ctg} \varphi_c / \sqrt{1 + S_0^2 / \pi^2 d_i^2} + \operatorname{tg} \gamma_{y_c} / \sqrt{1 + \pi^2 d_i^2 / S_0^2}. \quad (13)$$

Расчет геометрических параметров всех существующих конструкций фрезерных инструментов с механическим креплением СМП можно свести к расчету геометрии торцевой фрезы.

На рис. 4 показана СМП сборной фрезы в СКП. За начало отсчета принята точка O , находящаяся на наибольшем диаметре фрезы, хотя она может и не принадлежать к рабочему участку режущей кромки.

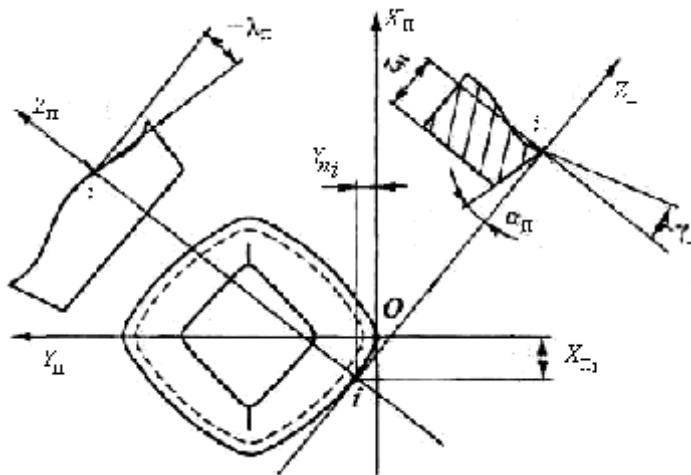


Рис. 4. Схема к расчету углов СМП

В ИСК (рис. 5) через начало координат O проводятся: ось OX_n , направленная параллельно оси вращения фрезы, ось OY_n , задающая радиальное направление, и ось OZ_n , касательная к наружной окружности фрезы (правая система декартовых координат). В точке O СМП наклонена на осевой угол γ_x и радиальный угол γ_y , которые играют ту же роль, что фронтальный и профильный углы на сборных резах.

Особенность расчета геометрических параметров вращающихся инструментов с СМП заключается в том, что в зависимости от положения текущей точки i относительно оси инструмента изменяется положение основной плоскости, которая согласно ГОСТ 25762–83 проходит через ось фрезы и точку i .

При решении прямой задачи для фрезы в качестве исходных данных необходимо конструктивно задать полную форму СМП и ее ориентацию в ИСК.

Тогда связь между углами ориентации СМП в инструментальной системе координат примет вид:

$$\operatorname{tg} \gamma_{x_n} = (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \lambda_n \sin \gamma_n - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \cos \gamma_n) / (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} (\cos \varphi_n \cos \gamma_n + \sin \varphi_n \sin \lambda_n \sin \gamma_n) - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \varphi_n \cos \gamma_n - \cos \varphi_n \sin \gamma_n - \sin \varphi_n \sin \lambda_n \cos \gamma_n); \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{y_n} = (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \lambda_n \sin \gamma_n - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \cos \gamma_n) / (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} (\sin \varphi_n \cos \gamma_n + \cos \varphi_n \sin \lambda_n \sin \gamma_n) + \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \cos \varphi_n \cos \gamma_n + \cos \varphi_n \sin \lambda_n \cos \gamma_n - \sin \varphi_n \sin \gamma_n). \quad (15)$$

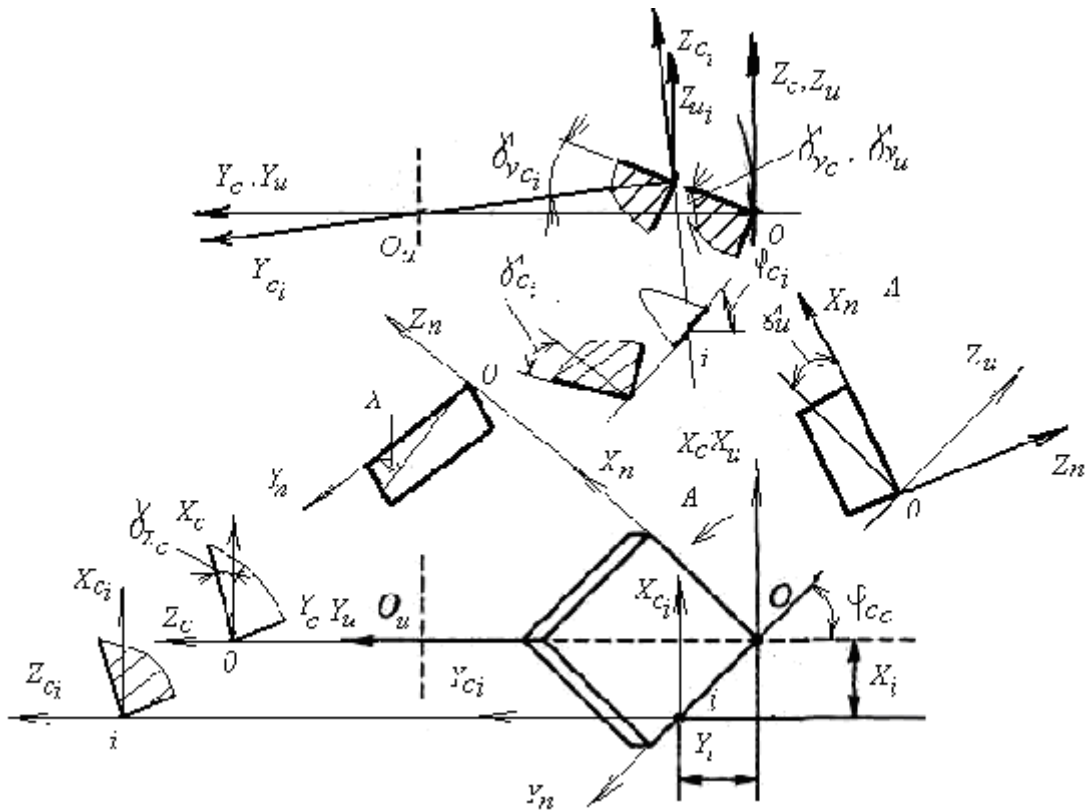


Рис. 5. Схема к расчету статических углов фрез

Используя принятые обозначения и данные рис. 5, получим зависимости для углов в статической системе координат:

$$\operatorname{tg} \gamma_{c_i} = \operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \varphi_{c_i} + \operatorname{tg}(\arcsin \frac{r_\phi \sin \gamma_{y_n}}{r_i}) \sin \varphi_{c_i}; \quad (16)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{c_i} = -\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} \sin \varphi_{c_i} + \operatorname{ctg}(\alpha_{y_n} + \arccos \frac{Y_{n_i}}{r_i}) \cos \varphi_{c_i}, \quad (17)$$

где

$$\operatorname{ctg} \alpha_{x_c} = (\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} \cos \lambda_n \cos \alpha_n - \operatorname{ctg} \alpha_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \sin \alpha_n) / (\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} (\cos \varphi_n \sin \alpha_n + \sin \varphi_n \sin \lambda_n \cos \alpha_n) - \operatorname{ctg} \alpha_{y_n} \sin \varphi_n \sin \alpha_n - \cos \varphi_n \cos \alpha_n - \sin \varphi_n \sin \lambda_n \sin \alpha_n); \quad (18)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{y_c} = (\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} \cos \lambda_n \cos \alpha_n - \operatorname{ctg} \alpha_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \sin \alpha_n) / (\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} (\sin \varphi_n \sin \alpha_n + \cos \varphi_n \sin \lambda_n \cos \alpha_n) + \operatorname{ctg} \alpha_{y_n} \cos \varphi_n \sin \alpha_n + \cos \varphi_n \sin \lambda_n \sin \alpha_n - \sin \varphi_n \cos \alpha_n); \quad (19)$$

$$\varphi_c = \operatorname{arctg} \frac{X_{n_i} (\operatorname{tg}^2 \varphi_n \sin^2 \lambda_n + 1) - X_{n_0} \cos \lambda_n}{\operatorname{tg} \varphi_n \cos \lambda_n \sqrt{(X_{n_i} - X_{n_0} \cos \lambda_n)^2 + X_{n_i}^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_n \sin^2 \lambda_n}}, \quad (20)$$

где X_{n_0} – координата точки пересечения линии режущей кромки с осью OX ; X_{n_i} – координата точек формообразующих кромок.

Используя вышеприведенную методику, были определены углы зуба фрезы в кинематической системе координат i -й точки:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\kappa_i} = \operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \varphi_{\kappa_i} + \operatorname{tg}(\gamma_{y_{c_i}} + \operatorname{arctg} \frac{S_Z Z_{\Phi}}{\pi D_i}) \sin \varphi_{\kappa_i}; \quad (21)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\kappa_i} = -\operatorname{ctg} \alpha_{x_n} \sin \varphi_{\kappa_i} + \operatorname{ctg}(\alpha_{y_{c_i}} - \operatorname{arctg} \frac{S_Z Z_{\Phi}}{\pi D_i}) \cos \varphi_{\kappa_i}; \quad (22)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_{\kappa} = \operatorname{ctg} \varphi_c / \sqrt{1 + S_Z^2 Z_{\Phi}^2 / \pi^2 d_i^2} + \operatorname{tg} \gamma_{x_c} / \sqrt{1 + \pi^2 d_i^2 / S_Z^2 Z_{\Phi}^2}. \quad (23)$$

Статические геометрические параметры произвольной точки лезвия сборного осевого инструмента определяются при условии известной формы СМП и ее ориентации в корпусе инструмента. За начало отсчета, как и для фрез, принимается вершина O (рис. 6), в которой максимальная скорость резания.

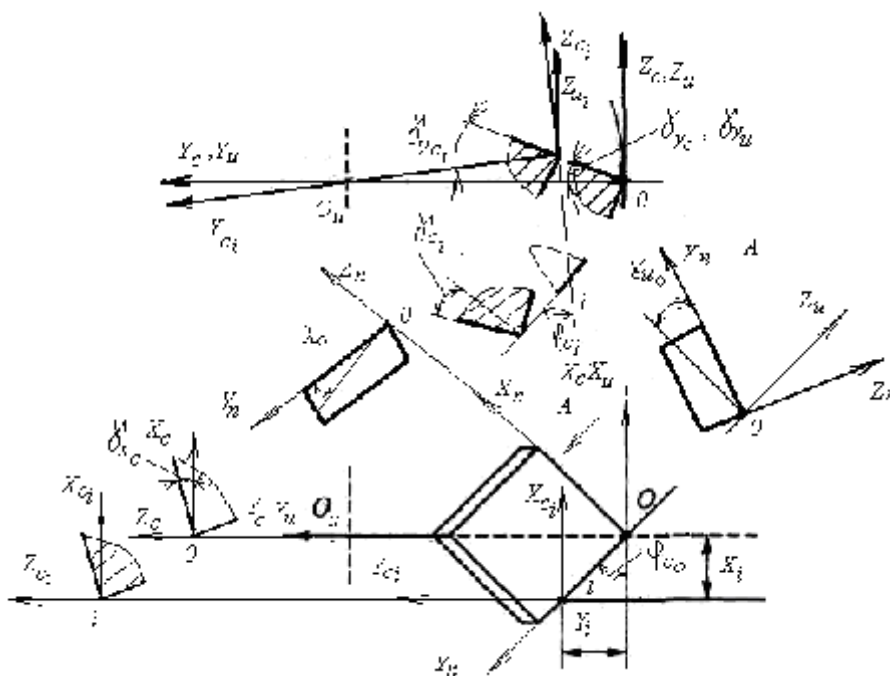


Рис. 6. Схема к расчету статических углов осевого инструмента

Тогда статические углы ориентации СМП в точке O были определены по следующим зависимостям:

$$\operatorname{tg} \gamma_{x_c} = (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \lambda_n \sin \gamma_n - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \cos \gamma_n) / (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} (\sin \varphi_n \cos \gamma_n + \cos \varphi_n \sin \lambda_n \sin \gamma_n) - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \cos \varphi_n \cos \gamma_n - \sin \varphi_n \sin \gamma_n - \cos \varphi_n \sin \lambda_n \cos \gamma_n); \quad (24)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{y_c} = (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \lambda_n \sin \gamma_n - \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \lambda_n + \cos \lambda_n \cos \gamma_n) / (\operatorname{tg} \gamma_{x_n} (\cos \varphi_n \cos \gamma_n + \sin \varphi_n \sin \lambda_n \sin \gamma_n) + \operatorname{tg} \gamma_{y_n} \sin \varphi_n \cos \gamma_n + \sin \varphi_n \sin \lambda_n \cos \gamma_n - \cos \varphi_n \sin \gamma_n). \quad (25)$$

На рис. 6 приведена схема к расчету статических углов зуба инструмента. Используя принятые обозначения и данные рис. 6, получим зависимости для углов в статической системе координат:

$$\operatorname{tg} \gamma_{c_i} = \operatorname{tg} \gamma_{x_n} \cos \varphi_{c_i} + \operatorname{tg}(\operatorname{arccos} \frac{Y_{n_i}}{r_i} + \gamma_{y_{n_i}}) \sin \varphi_{c_i}; \quad (26)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_{c_i} = -\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \sin\varphi_{c_i} + \operatorname{ctg}\left(\alpha_{y_{n_i}} - \arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i}\right)\cos\varphi_{c_i}, \quad (27)$$

где

$$\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} = (\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \cos\lambda_n \sin\gamma_n - \operatorname{ctg}\alpha_{y_n} \sin\lambda_n + \cos\lambda_n \cos\gamma_n) / (\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} (\sin\varphi_n \cos\gamma_n + \cos\varphi_n \sin\lambda_n \sin\gamma_n) - \operatorname{ctg}\alpha_{y_n} \cos\varphi_n \cos\gamma_n - \sin\varphi_n \sin\gamma_n - \cos\varphi_n \sin\lambda_n \cos\gamma_n); \quad (28)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_{y_n} = (\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} \cos\lambda_n \sin\gamma_n - \operatorname{ctg}\alpha_{y_n} \sin\lambda_n + \cos\lambda_n \cos\gamma_n) / (\operatorname{ctg}\alpha_{x_n} (\cos\varphi_n \cos\gamma_n + \sin\varphi_n \sin\lambda_n \sin\gamma_n) + \operatorname{ctg}\alpha_{y_n} \sin\varphi_n \cos\gamma_n + \sin\varphi_n \sin\lambda_n \cos\gamma_n - \cos\varphi_n \sin\gamma_n); \quad (29)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{c_i} = Y_{n_i}/r_i \operatorname{tg}\varphi_n + Z_{n_i}/r_i \operatorname{tg}\gamma_{x_n}. \quad (30)$$

Зависимости между углами в кинематической системе координат примут вид:

$$\operatorname{tg}\gamma_k = \operatorname{tg}(\gamma_{x_n} + \operatorname{arctg}\frac{S_o}{\pi d_i})\cos\varphi_k + \operatorname{tg}(\arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i} + \gamma_{y_{n_i}})\sin\varphi_k, \quad (31)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha_k = -\operatorname{ctg}(\alpha_{x_n} - \operatorname{arctg}\frac{S_o}{\pi d_i})\sin\varphi_k + \operatorname{ctg}(\alpha_{y_{n_i}} - \arccos\frac{Y_{n_i}}{r_i})\cos\varphi_k, \quad (32)$$

$$\text{где } \operatorname{ctg}\varphi_k = \operatorname{ctg}\varphi_c / \sqrt{1 + S_o^2/\pi^2 d_i^2} + \operatorname{tg}\gamma_{y_c} / \sqrt{1 + \pi^2 d_i^2/S_o^2}. \quad (33)$$

Заключение

Таким образом, приведенные системы расчетных формул позволяют проводить дискретный геометрический анализ всей номенклатуры инструментов со сменными многогранными пластинами и на этой основе осуществлять целенаправленное совершенствование их конструкций. Полученные выражения адаптированы для компьютерных расчетов и являются основой математического обеспечения специализированной САПР сборных режущих инструментов.

Литература

1. Родин, П. Р. Основы проектирования режущих инструментов : учеб. пособие / П. Р. Родин. – Киев : Вища шк., 1990. – 424 с.
2. Лашнев, С. И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / С. И. Лашнев, М. И. Юликов. – М. : Машиностроение, 1980. – 208 с.
3. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. Хаета [и др.] ; под общ. ред. Г. Л. Хаета. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.
4. Материалы каталогов фирмы «Sandvik Coromant»: Tool monitoring System. IntelliTool.
5. Материалы каталогов фирмы «Sandvik Coromant»: Tool monitoring System. Multi-channel Tool Monitor Unit.
6. Материалы каталогов фирмы «Sandvik Coromant»: Tool monitoring System. Single-channel Tool Monitor Unit.
7. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.

8. Михайлов, М. И. Методика автоматизированного расчета углов фасонного резца / М. И. Михайлов // Машиностроение : сб. науч. тр. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – Вып. 18. – С. 60–63.

Получено 17.11.2010 г.