

технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. Вып. 61. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2002. - С. 51-59.

16. Доброскок В.Л., Гарашенко Я.Н. Выбор параметров распределения размеров зерен шлифпорошка в соответствии с заданными требованиями по содержанию фракций // Високі технології в машинобудуванні Зб. наук. праць НТУ «ХП». - Харків. - 2001. Вип. 1(4). - С. 55-63.

17. Доброскок В.Л., Гарашенко Я.Н., Наконечный Н.Ф. Определение параметров распределения размеров зерен для абразивно-алмазных порошков по ГОСТ и ДСТУ // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ «ХПИ», 2003. - № 8, Т. 1. - С. 71-86.

18. Грабченко А.И., Федорович В.А., Пыжов И.Н., Русанов В.В. Расширение технологических возможностей изготовления алмазно-абразивных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сб. Вып. 63. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2002. - С. 41-61.

УДК 621.91.02

В.В. Вовк¹, ас., Е.Р. Липский², зам. глав. технолога, С.В. Корзун¹, студ.
1-НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г.Киев, Украина
2-ОАО „Мотор Сич”, г.Запорожье, Украина

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

В статті розв'язана задача визначення положення шліфувального круга при заточуванні різальної частини сферичних кінцевих фрез, яка забезпечує стабільні статичні геометричні параметри фрез та їх виготовлення, що є основою розробки інформаційної технології проектування та виготовлення сферичних кінцевих фрез.

In article is solved the problem of definition of position of the grinding wheel at sharpening the cutting part of radiused end mills, which provides stable static angle at manufacturing mills, that is the basis of development of information technology for designing and manufacturing of the radiused end mills.

Вступление. Одним из путей повышения работоспособности режущего инструмента является получение постоянных вдоль режущей кромки геометрических параметров. На чертежах инструмента геометрические параметры задаются в базовой точке в инструментальной системе координат, и, как правило, они не совпадают со статическими, а тем более, кинематическими геометрическими параметрами, и, кроме того, изменяются вдоль режущей кромки. В работах [1-4] рассмотрена геометрия сферических концевых фрез с наиболее простой плоской передней поверхностью и различными формами задних поверхностей, при которой статические передний и задний углы, в наибольшей степени определяющие процесс резания, непостоянны вдоль режущей кромки. Развитие станков с ЧПУ позволяет получать различные формы как передней так и задней поверхностей с требуемыми геометрическими параметрами. Так в работе [5] рассмотрены вопросы получения сферической концевой фрезы с постоянными передним и задним нормальными углами. Однако, вследствие того, что угол наклона режущей кромки таких фрез изменяется вдоль режущей кромки,

статические геометрические параметры также будут переменными. Получение постоянных статических передних и задних углов возможно в том случае, если при изготовлении фрезы нормальные углы будут переменными, а их значения будут рассчитываться исходя из требуемых значений статических параметров.

Решение задачи определения положения шлифовального круга, с целью получения требуемых геометрических параметров инструмента, является геометрическими основами разработки информационной технологии проектирования и изготовления сферических концевых фрез. В работе приведен [5] процесс заточки передних и задних поверхностей шлифовальным кругом прямого профиля, который может быть использован только для инструмента с малым количеством зубьев вследствие возможного подрезания соседних зубьев. Для инструментов с четырьмя и более зубьями более рационально применять конический шлифовальный круг, частным случаем которого будет круг прямого профиля.

Определение режущей кромки и вектора, касательного к режущей кромке.

Согласно [5] режущая кромка сферической концевой фрезы может быть получена пересечением со сферической исходной инструментальной поверхностью прямой OD (рис. 1.), лежащей в осевой плоскости, при ее винтовом движении.

Введем неподвижную систему координат XYZ , связанную с фрезой, причем ось Z направим вдоль оси фрезы. Винтовое движение прямой можно разложить на два движения – прямолинейно-поступательное движение вдоль оси фрезы и вращательное вокруг этой оси. С вращательным движением свяжем систему координат $X_1Y_1Z_1$, ось Z_1 , которой совпадает с осью Z . Рассмотрим т. А, положение которой в системе XYZ будет определяться вспомогательным угловым параметром ξ .

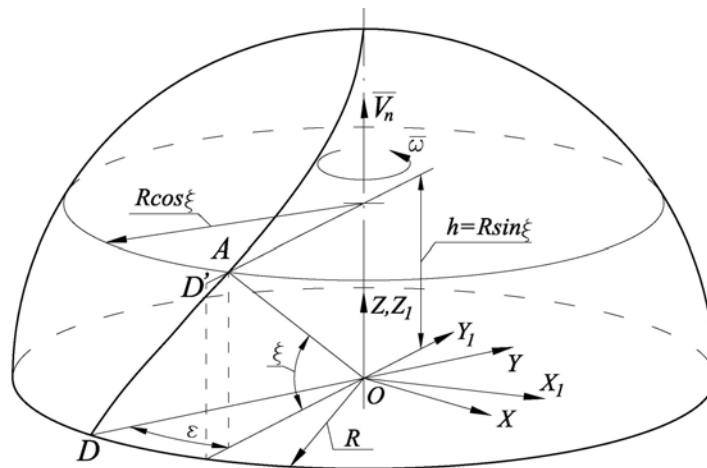


Рис. 1. Определение режущей кромки сферической концевой фрезы

Координаты т. А в системе координат $X_1Y_1Z_1$ будут:

$$\begin{aligned} X_{1A} &= 0 \\ Y_{1A} &= -R \cdot \cos \xi \\ Z_{1A} &= R \cdot \sin \xi \end{aligned}$$

Формулы перехода от системы координат $X_1Y_1Z_1$ к системе XYZ будут:

$$X = X_1 \cdot \cos \varepsilon - Y_1 \cdot \sin \varepsilon$$

$$Y = X_1 \cdot \sin \varepsilon + Y_1 \cdot \cos \varepsilon$$

$$Z = Z_1$$

где ε - угол поворота системы координат $X_1Y_1Z_1$ относительно XYZ .

При известном шаге винтового движения это угол может быть определен по зависимости:

$$\varepsilon = \frac{2\pi \cdot h}{p}$$

где $h = R \cdot \sin \xi$ - расстояние, которое пройдет точка при поступательном движении вдоль оси Z_1 .

Тогда:

$$\varepsilon = \frac{2\pi \cdot R \cdot \sin \xi}{p}$$

Если известен угол наклона винтовой линии, расположенной на радиусе R :

$$\frac{R}{p} = \frac{\operatorname{tg} \omega}{2\pi}$$

$$\varepsilon = 2\pi \cdot \sin \xi \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{2\pi} = \operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi$$

По формулам перехода координаты т.А в системе координат XYZ :

$$X = R \cdot \cos \xi \cdot \sin \varepsilon = R \cdot \cos \xi \cdot \sin(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi)$$

$$Y = -R \cdot \cos \xi \cdot \cos(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi)$$

$$Z = R \cdot \sin \xi$$

По полученным формулам определяются координаты точек режущей кромки.

При дифференцировании полученных уравнений по вспомогательному параметру ξ получим вектор, касательный к режущей кромке:

$$\vec{P} = i \cdot \frac{dX}{d\xi} + j \cdot \frac{dY}{d\xi} + k \cdot \frac{dZ}{d\xi},$$

$$\frac{dX}{d\xi} = -R \cdot \sin \xi \cdot \sin(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi) + R \cdot \cos \xi \cdot \cos(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi) \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega$$

$$\frac{dY}{d\xi} = R \cdot \sin \xi \cdot \cos(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi) + R \cdot \cos \xi \cdot \sin(\operatorname{tg} \omega \cdot \sin \xi) \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega$$

$$\frac{dZ}{d\xi} = R \cdot \cos \xi$$

Следовательно, единичный вектор, касательный к режущей кромке запишется:

$$\vec{P} = i \cdot (-\sin \xi \cdot \sin \varepsilon + \cos \xi \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega) + \\ + j \cdot (\sin \xi \cdot \cos \varepsilon + \cos \xi \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega) + k \cdot \cos \xi$$

Определение статических геометрических параметров. При изготовлении фасонных концевых фрез шлифовальный круг располагают таким образом, чтобы в

сечении, перпендикулярном к режущей кромке получить требуемые нормальные статические передний и задний углы. За счет криволинейности кромки такого инструмента статический угол наклона режущей кромки λ_c меняется вдоль нее, вследствие чего статические углы в главной секущей плоскости также будут переменны.

Таким образом, зная величину λ_c можно для каждой точки определить такое значение нормальных геометрических параметров, при которых статические передний и задний углы будут постоянными вдоль режущей кромки.

Определим статический угол наклона режущей кромки в произвольной точке А.

Для этого определяем направление вектора скорости главного движения резания в системе XYZ:

$$\vec{V} = \vec{i} \cdot \cos \varepsilon + \vec{j} \cdot \sin \varepsilon$$

Статический угол наклона режущей кромки тогда может быть определен по зависимости:

$$\sin \lambda_c = \frac{(\vec{V} \cdot \vec{\beta})}{|\vec{V}| \cdot |\vec{\beta}|}$$

$$\begin{aligned} \vec{V} \cdot \vec{\beta} &= -\sin \xi \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon + \cos^2 \xi \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \omega + \sin \xi \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \varepsilon + \cos^2 \xi \cdot \sin^2 \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \omega = \\ &= \cos^2 \xi \cdot \operatorname{tg} \omega \cdot (\cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon) = \cos^2 \xi \cdot \operatorname{tg} \omega \end{aligned}$$

$$|\vec{V}| = \sqrt{\cos^2 \varepsilon + \sin^2 \varepsilon} = 1$$

$$|\vec{\beta}| = \sqrt{(-\sin \xi \cdot \sin \varepsilon + \cos \xi \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega)^2 + (\sin \xi \cdot \cos \varepsilon + \cos \xi \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \xi \cdot \operatorname{tg} \omega)^2 + \cos^2 \xi}$$

Упростив, получим:

$$|\vec{\beta}| = \sqrt{1 + \cos^4 \xi \cdot \operatorname{tg}^2 \omega}$$

Следовательно:

$$\sin \lambda_c = \frac{\cos^2 \xi \cdot \operatorname{tg} \omega}{\sqrt{1 + \cos^4 \xi \cdot \operatorname{tg}^2 \omega}}$$

В вершинной точке фрезы $\xi = 90^\circ$:

$$\sin \lambda_c = \frac{\cos^2 90^\circ \cdot \operatorname{tg} \omega}{\sqrt{1 + \cos^4 90^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \omega}} = 0, \lambda_c = 0$$

На периферии режущей кромки фрезы $\xi = 0^\circ$:

$$\sin \lambda_c = \frac{\cos^2 0^\circ \cdot \operatorname{tg} \omega}{\sqrt{1 + \cos^4 0^\circ \cdot \operatorname{tg}^2 \omega}} = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \omega}} = \operatorname{tg} \omega \cdot \cos \omega = \sin \omega, \lambda_c = \omega$$

Тогда требуемые нормальные передний и задний углы можно определить по зависимостям:

$$\operatorname{tg} \gamma_{nc} = \operatorname{tg} \gamma_c \cdot \cos \lambda$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{nc} = \operatorname{ctg} \alpha_c \cdot \cos \lambda_c$$

Определение положения шлифовального круга при заточке передней и задней поверхностей концевой фрезы. Исходными данными при определении положения шлифовального круга в рассматриваемой точке режущей кромки является направление вектора, касательного к режущей кромке, и передний и задний углы которые необходимо получить.

Рассмотрим на режущей кромке т. А (рис. 2), положение которой в системе XYZ определяется вспомогательным угловым параметром ξ .

В рассматриваемой точке А режущей кромки введем систему координат $X_3Y_3Z_3$, плоскость X_3Z_3 которой лежит в статической плоскости резания P_{nc} , а ось Z_3 направим вдоль касательного вектора \vec{P} . Плоскость X_3Y_3 этой системы координат будет нормальной секущей плоскостью, в которой и будут задаваться требуемые нормальные статические передний и задний углы.

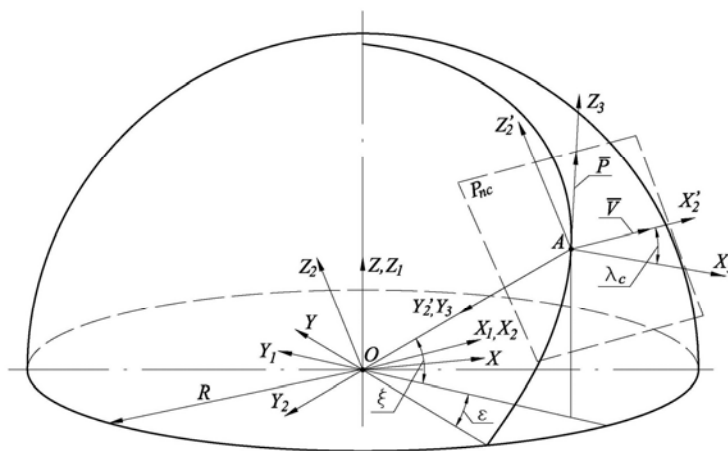


Рис.2. Системы координат, используемые при определении положения нормальной секущей плоскости и шлифовального круга

Введем систему координат $X_2'Y_2'Z_2'$, ось Y_2' которой совпадает с осью Y_3 , а ось X_2' направим вдоль вектора скорости главного движения резания \vec{V} . Угол между осями X_2' и X_3 является статическим углом наклона режущей кромки λ_c .

Формулы перехода от системы координат $X_3Y_3Z_3$ к системе $X_2'Y_2'Z_2'$ будут:

$$X_2' = X_3 \cdot \cos \lambda_c + Z_3 \cdot \sin \lambda_c$$

$$Y_2' = Y_3$$

$$Z_2' = Z_3 \cdot \cos \lambda_c - X_3 \cdot \sin \lambda_c$$

Введем систему координат $X_2Y_2Z_2$, смещенную вдоль оси Y_2' на величину R в точку О.

Формулы перехода от системы координат $X_2'Y_2'Z_2'$ к системе $X_2Y_2Z_2$:

$$X_2 = X_2'$$

$$Y_2 = Y_2' - R$$

$$Z_2 = Z_3'$$

Введем систему координат $X_1Y_1Z_1$, которая повернута вокруг оси X_2 на угол ξ относительно системы координат $X_2Y_2Z_2$.

Формулы перехода от системы координат $X_2Y_2Z_2$ к системе $X_1Y_1Z_1$ будут:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_2 \\ Y_1 &= Y_2 \cdot \cos \xi + Z_2 \cdot \sin \xi \\ Z_1 &= Z_2 \cdot \cos \xi - Y_2 \cdot \sin \xi \end{aligned}$$

Система координат $X_1Y_1Z_1$ повернута относительно системы XYZ , связанной с фрезой на угол ε вокруг оси Z .

Формулы перехода от системы координат $X_1Y_1Z_1$ к системе XYZ будут:

$$\begin{aligned} X &= X_1 \cdot \cos \varepsilon - Y_1 \cdot \sin \varepsilon \\ Y &= X_1 \cdot \sin \varepsilon + Y_1 \cdot \cos \varepsilon \\ Z &= Z_1 \end{aligned}$$

Полученные формулы перехода позволяют определить положения точек и направление векторов системы $X_3Y_3Z_3$ в неподвижной системе координат XYZ , связанной с фрезой.

Определим положения шлифовального круга при заточке передней и задней поверхностей, при которых будут получены требуемые нормальные статические передний и задний углы.

В системе координат, связанной с фрезой, положение шлифовального круга можно задать направлением вектора оси и положением базовой точки оси круга C , расположенной на торце.

Определим положение конического шлифовального круга при заточке передней поверхности с требуемым нормальным передним углом γ_{nc} (рис. 3).

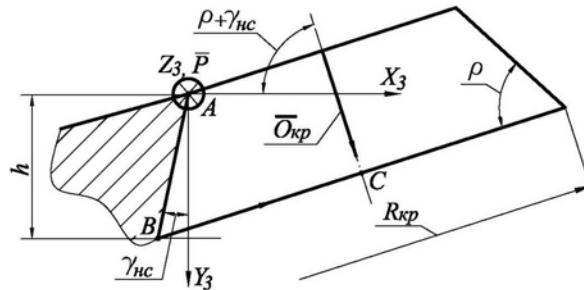


Рис. 3. Определение положения шлифовального круга при заточке передней поверхности фрезы

Единичный вектор направления оси конического круга в системе $X_3Y_3Z_3$ запишется:

$$\vec{O}_{кр} = \vec{i} \cdot \cos(\rho + \gamma_{nc}) + \vec{j} \cdot \sin(\rho + \gamma_{nc})$$

Координаты т.В в которой будет формироваться дно канавки, при заданной глубине канавки:

$$\begin{aligned} X_{3B} &= -h \cdot \sin(\rho + \gamma_{nc}) \\ Y_{3B} &= h \cdot \cos(\rho + \gamma_{nc}); \quad Z_{3B} = 0. \end{aligned}$$

По найденным координатам т.В координаты точки C круга:

$$X_{3C} = X_{3B} + R_{кр} \cdot \sin(\rho + \gamma_{нс}) = -h \cdot \sin(\rho + \gamma_{нс}) + R_{кр} \cdot \sin(\rho + \gamma_{нс})$$

$$Y_{3C} = X_{3B} - R_{кр} \cdot \cos(\rho + \gamma_{нс}) = -h \cdot \sin(\rho + \gamma_{нс}) - R_{кр} \cdot \cos(\rho + \gamma_{нс})$$

$$Z_{3C} = 0$$

По формулам перехода координат определяется положение шлифовального в системе координат XYZ .

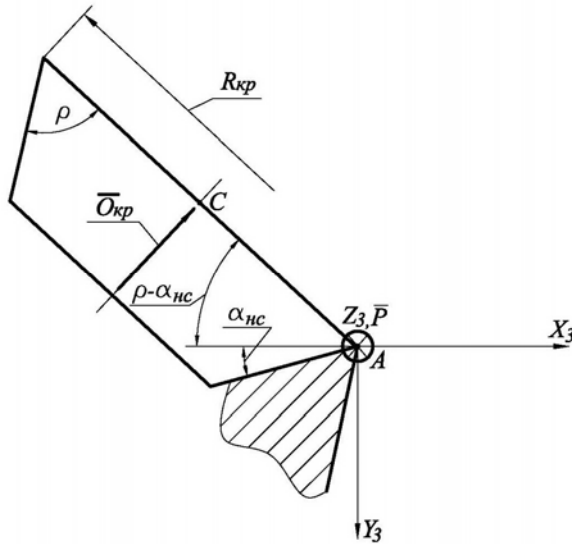


Рис. 4. Определение положения шлифовального круга при заточке задней поверхности фрезы

Определим положение конического шлифовального круга при заточке задней поверхности с требуемым нормальным задним углом $\alpha_{нс}$ (рис.4).

Единичный вектор направления оси конического круга в системе $X_3Y_3Z_3$ запишется:

$$\vec{O}_{кр} = i \cdot \sin(\rho - \alpha_{нс}) - j \cdot \cos(\rho - \alpha_{нс})$$

Координаты т. С круга:

$$X_{3C} = -R_{кр} \cdot \cos(\rho - \alpha_{нс})$$

$$Y_{3C} = -R_{кр} \cdot \sin(\rho - \alpha_{нс})$$

$$Z_{3C} = 0$$

По формулам перехода координат определяется положение шлифовального круга в системе координат XYZ .

Выводы. В статье решена задача определения положения шлифовального круга при заточке режущей части сферических концевых фрез, которая обеспечивает стабильные геометрические параметры фрез и их изготовление, что является основой разработки информационной технологии проектирования и изготовления сферических концевых фрез.

Список литературы

1. Равская Н.С., Николаенко Т.П., Вовк В.В. Геометрия передней поверхности фасонных концевых фрез // Вестник НТУУ "КПИ". Серия "Машиностроение". – Вып. 45. – 2004. С. 83-86.
2. Вовк В.В. Геометрия задней поверхности концевых фасонных фрез // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, вип. № 16, 2004.- С. 18-25.
3. Вовк В.В., Красновид Д.А. Определение геометрических параметров передней поверхности концевой инструмента // Вестник ДГМА. - 2007. , вып. № 3(9).- С. 32- 38.
4. Sadeghi M.H., Haghghat H., Elbestawi M.A. A solid modeler based ball-end milling process simulation // Int J Adv Manuf Technol (2003) 22: 775-785.
5. Yi Lu, Yoshimi Takeuchi, Ichiro Takahashi, Masahiro Anzai. An integrated system development for ball end mill design, creation and evaluation // Int J Adv Manuf Technol (2005) 25: 628-646.