

Формообразование профиля винтовой канавки концевого инструмента

д.т.н. Н. А. Чемборисов, А. И. Фасхутдинов

// ЦНЭКА (КамПИ), ОАО "Камазинструментспецмаш", г. Набережные Челны

Для обработки канавок с винтовой поверхностью в деталях типа спиральные сверла, концевые фрезы и др. широко применяют профильные шлифовальные круги (ШК). Определение профиля такого инструмента в его диаметральном сечении — достаточно сложная задача, решаемая с учетом профиля детали, параметра винтовой поверхности, положения инструмента относительно детали и его габаритных размеров [1]. Существуют следующие методы определения профиля инструмента: 1) путем определения сопряженных точек с помощью общих нормалей и касательных; 2) путем определения профиля как огибающей совмещенных круговых проекций сечения детали. Недостатками указанного способа обработки являются: сложность расчетов; трудоемкость придания необходимой формы ШК, увеличивающаяся при использовании алмазного круга; при частом профилировании ШК происходит его быстрый износ из-за правки.

Таким образом, профилирование винтовых канавок ШК с простым профилем является актуальной задачей.

Частично данный способ обработки рассмотрен в работе [2], где предложено применять его только для нарезания зубьев борфрез. Решается кинематическая задача, суть которой в том, что по заданному массиву точек касания определяют координаты центра ШК в процессе шлифования зубьев на режущей части инструмента. Показан порядок решения кинематической задачи. На чертеже каждой борфрезы задана форма производящей поверхности, т. е. в любом сечении известны значения радиуса r_i и угол θ положения касательной в произвольной точке M .

Значения радиуса r_M определяют по формуле:

$$r_M = f(l_i) - h_i = r_i - h_{\max} r_i / r_{\max},$$

где r_{\max} и h_{\max} — соответственно радиус и глубина канавки в исходном сечении; r_i и h_i — то же для про-

извольного торцового сечения; $r_i = f(l_i)$ — закономерность, определяющая осевой профиль производящей поверхности борфрезы.

Угол θ определяют по формуле:

$$\theta = \arctg \frac{dr}{dl_i}. \quad (1)$$

Формула (1) приобретает конкретное выражение в зависимости от вида функции $r_i = f(l_i)$.

Целесообразно применение данного способа для обработки широкой номенклатуры осевого режущего инструмента.

Перемещением ШК по винтовой линии можно обеспечить профиль канавки, заданный в радиальном сечении (рис. 1) [3].

Профиль канавки образован двумя кривыми 1 и 2 (рис. 2 и 3). Кривая 1 (см. рис. 2) образована

Рис. 1. Профиль канавки

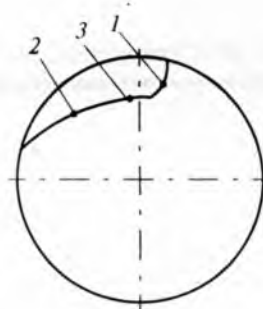
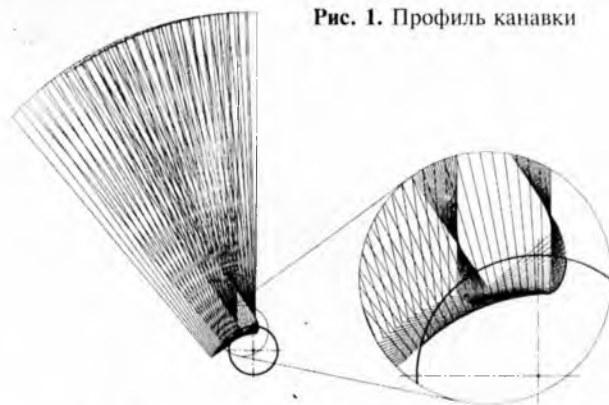


Рис. 2. Кривые 1 и 2, образующие профиль канавки (3 — точка перехода кривых)

точкой на торце ШК и задана уравнениями (обозначения см. на рис. 3 и 4):

$$X = X_c \cos \chi - Y_c \sin \chi;$$

$$Y = Y_c \cos \chi + X_c \sin \chi,$$

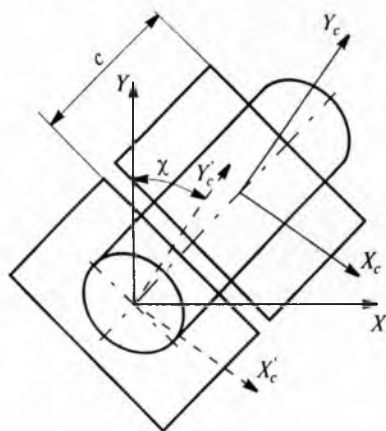


Рис. 3. Схема преобразования системы координат: $X, Y, X_c, Y_c; X'_c, Y'_c$

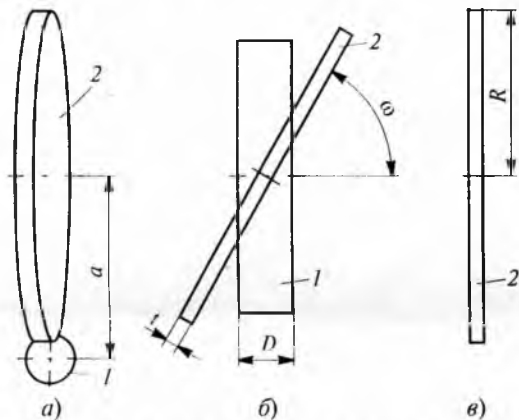


Рис. 4. Схема обработки канавки: a — взаимное расположение заготовки 1 и ШК 2; b — вид сверху относительного расположения заготовки 1 и ШК 2; c — ШК простого профиля (D — диаметр заготовки)

где

$$X_c = t/\sin \omega + c/\operatorname{tg} \omega + b;$$

$$Y_c = a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c + t \sin \omega}{\sin \omega}\right)^2}; \quad \chi = \frac{c}{H} 360^\circ - \delta.$$

Здесь t и R — толщина и радиус ШК; ω — угол наклона ШК; a — межосевое расстояние; b — смещение ШК; c — смещение плоскости сечения; χ — угол поворота системы координат; δ — угол технологического поворота заготовки.

Кривая 2 (см. рис. 2) представляет собой огибающую ряда положений сечения периферии ШК,

заданного уравнениями:

$$Y - \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} X - Y_1 + X_1 \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = 0,$$

где:

$$X_1 = \left(\frac{t}{\sin \omega} + \frac{c}{\operatorname{tg} \omega} + b\right) \cos \chi -$$

$$- \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c + t \sin \omega}{\sin \omega}\right)^2} \right] \sin \chi;$$

$$Y_1 = \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c + t \sin \omega}{\sin \omega}\right)^2} \right] \cos \chi +$$

$$+ \left(\frac{t}{\sin \omega} + \frac{c}{\operatorname{tg} \omega} + b\right) \sin \chi;$$

$$X_2 = \left(\frac{c}{\operatorname{tg} \omega} + b\right) \cos \chi - \left(a - \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{\sin^2 \omega}} \right) \sin \chi;$$

$$Y_2 = \left(a - \sqrt{R^2 - \frac{c^2}{\sin^2 \omega}} \right) \cos \chi + \left(\frac{c}{\operatorname{tg} \omega} + b\right) \sin \chi.$$

Координаты точек кривой 2 определяют по формуле:

$$X = (b_2 - b_1)/(k_1 - k_2); \quad Y = k_1 X + b$$

$$\text{где } k_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}; \quad b_1 = Y_1 - X_1 \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}.$$

Выполнение концевой фрезы со стружечными канавками, профиль которых задан указанными уравнениями позволит обработать канавки ШК простой формы при его винтовом движении относительно заготовки (см. рис. 4).

Профиль обрабатываемого инструмента (фрезы) характеризуется следующими параметрами: z — число зубьев фрезы; H — шаг винтовой линии; D — диаметр фрезы; γ — передний угол; h_1 — высота передней поверхности зуба; h — глубина канавки; l — ширина ленточки. На этом профиле (рис. 5) можно выделить ключевые точки 1, 2, 3, 4, координаты которых определяют по следующим формулам:

$$1) \text{ для точки } 1 \quad x = 0; \quad y = 0,5D.$$

$$2) \text{ для точки } 2 \quad x = h_1 \operatorname{tg} \gamma; \quad y = 0,5D - h_1.$$

$$3) \text{ для точки } 3 \quad x = h_1 \operatorname{tg} \gamma - r_1 \cos \gamma; \quad y = 0,5D - h.$$

$$4) \text{ для точки } 4 \quad x = -0,5D \cos \beta; \quad y = 0,5D \sin \beta,$$

$$\text{где } \beta = \frac{360^\circ}{z} - \alpha; \quad \alpha = \frac{360^\circ l}{R}.$$

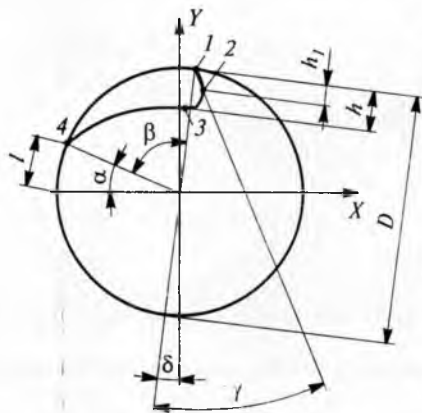


Рис. 5. Параметры инструмента, определяющие профиль канавки: X и Y — оси координат; D — диаметр инструмента; h — глубина канавки; h_1 — высота передней поверхности зуба; l — ширина ленточки; 1, 2, 3, 4 — ключевые точки профиля канавки; α , β , γ — углы

Указанные данные по каждой из этих точек позволяют составить два уравнения с переменными: a , b , ω , β , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , где c_1 , c_2 , c_3 , c_4 — величины смещения плоскостей сечения для каждой точки.

В результате получаем систему уравнений:

$$\left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_1}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \cos\chi_1 - \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_1 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] = 0;$$

$$\left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_1 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] \cos\chi_1 + \left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_1}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \sin\chi_1 = 0,5D;$$

$$\left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_2}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \cos\chi_2 - \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_2 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] = h_1 \operatorname{tg}\gamma;$$

$$\left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_2 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] \cos\chi_2 + \left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_2}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \sin\chi_2 = 0,5D - h_1;$$

$$\left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_3}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \cos\chi_3 - \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_3 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] = h_1 \operatorname{tg}\gamma - r_1 \cos\gamma;$$

$$\left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_3 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] \cos\chi_3 + \left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_3}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \sin\chi_3 = 0,5D - h;$$

$$\frac{b_2 - b_1}{k_1 - k_2} = -0,5D \cos\beta;$$

$$k_1 x_1 + b_1 = 0,5D \sin\beta.$$

Здесь:

$$k_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}; \quad b_1 = Y_1 - X_1 \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2};$$

$$X_1 = \left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_4}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \cos\chi_4 - \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_4 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] \sin\chi_4;$$

$$Y_1 = \left[a - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c_4 + t\sin\varphi}{\sin\omega}\right)^2}\right] \cos\chi_4 + \left(\frac{t}{\sin\omega} + \frac{c_4}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \sin\chi_4;$$

$$X_2 = \left(\frac{c_4}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \cos\chi_4 - \left[a - \sqrt{R^2 - \frac{c_4^2}{\sin^2\omega}}\right] \sin\chi_4;$$

$$Y_2 = \left[a - \sqrt{R^2 - \frac{c_4^2}{\sin^2\omega}}\right] \cos\chi_4 + \left(\frac{c_4}{\operatorname{tg}\omega} + b\right) \sin\chi_4,$$

где χ_1 , χ_2 , χ_3 , χ_4 — угол поворота системы координат, соответствующий c_1 , c_2 , c_3 , c_4 .

Приведенная система может быть решена численными методами с применением компьютера. Решение системы уравнений позволяет получить параметры установки ШК относительно заготовки, которые могут быть использованы для моделирования процесса обработки (рис. 6).



Рис. 6. Трехмерное изображение профиля канавки

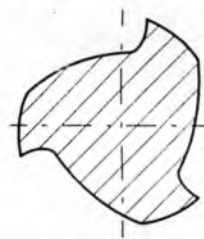


Рис. 7. Торцевое сечение полученного инструмента

Данный метод позволяет получить любой профиль инструмента. Изменение параметров установки позволит влиять на получаемый профиль.

На рис. 7 в качестве примера показано торцевое сечение инструмента, полученное данным способом обработки.

Список литературы

1. Кожевников Д. В. Режущий инструмент. — М.: Машиностроение, 2005. — 380 с.
2. Истоцкий В. В. Принципы подготовки управляющих программ при изготовлении зубьев фасонных борфрез на заточных полуавтоматах с ЧПУ // Известия ТулГУ. — Машиноведение. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. — С. 115—117.
3. Чемборисов Н. А. Обработка винтовых канавок концевого инструмента // Ученые записки АГНИ. — Альметьевск: Изд-во АГНИ, 2007. — С. 87—89.