

формирования изделия по длине инструменту сообщают также возвратно-поступательное движение $П_3$ со скоростью резания вдоль оси Z .

Поскольку угловые скорости заготовки и режущего инструмента равны, то он имеет три равномерно расположенных по окружности режущих лезвия 5, каждое из которых формирует соответствующую сторону треугольника Рело. Режущие лезвия имеют круглую форму, что позволяет оснащать инструмент стандартными круглыми режущими пластинками и тем самым упростить его конструкцию по сравнению с инструментом, работающим методом обката (рис. 2, а). Все пластинки должны быть одного радиуса, значение которого не зависит от геометрии формируемого профиля. Путем замены режущих пластин технически просто восстанавливается работоспособность и точность инструмента.

Благодаря круглой форме режущих лезвий их рабочие главный и вспомогательный углы в плане имеют постоянные значения на всей ширине формируемой грани изделия, что обеспечивает постоянную форму и стабильную высоту гребешков на обработанной поверхности. Согласно экспериментальным данным [2], точность ширины b профиля, формируемого методом огибания инструментом с круглыми режущими пластинками на зубодолбежном станке нормальной точности, соответствует 8–9 квалитетам, а среднее арифметическое отклонение профиля R_a составляет 1,0–1,15 мкм.

Вместо круглых могут использоваться многогранные сменные пластинки. В этом случае профиль изделия формируется методом прерывистого следа простым по конструкции инструментом [2].

Литература

1. Понкратов, П. А. Разработка эффективного долбежного инструмента для обработки сложных криволинейных поверхностей по методу обкатывания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Понкратов Павел Александрович / Юго-западн. гос. ун-т. – Курск, 2013. – 20 с.
2. Данилов, А. А. Технология формообразования наружных моментопередающих поверхностей с профилем в виде треугольника Рело на универсальных станках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Данилов Александр Алексеевич // Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2022. – 22 с.
3. Родин, П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. – Киев : Вища шк., 1977. – 192 с.
4. Способ обработки некруглых деталей с треугольным профилем равной ширины : Евраз. пат. 031383 / А. А. Данилов, В. А. Данилов. – Опубл. 28.12.2018.

УДК 621.9.01

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ПРОФИЛЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОИЗВОЛЬНОЙ СЕКУЩЕЙ ПЛОСКОСТИ

Д. В. Никитенко¹, М. И. Михайлов²

¹ОАО «Гомельское конструкторское бюро «Луч», Республика Беларусь

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Предложен универсальный алгоритм расчета координат профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости.

Ключевые слова: винтовая поверхность, секущая плоскость, сечение, профиль.

ALGORITHM FOR CALCULATING THE COORDINATES OF A HELICAL SURFACE PROFILE IN AN ARBITRARY SECTION PLANE

D. V. Nikitenko¹, M. I. Mikhailov²

¹*Open Joint-Stock Company "Gomel Design Bureau "Luch"*

²*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

A universal algorithm for calculating the coordinates of a helical surface profile in an arbitrary section plane is proposed.

Keywords: helical surface, section plane, section, profile.

Исходный профиль винтовых поверхностей деталей машин и режущих инструментов, виду их многообразия, задают в различных плоскостях. Для сверл, зенкеров, разверток профиль, как правило, задают в торцовой плоскости, а для различных резьб – в осевой плоскости. Для червяков червячных передач форма и размеры витков исходного червяка определяются также в осевой плоскости, а угол профиля витка задается в различных плоскостях [1]: в осевом сечении витка для архимедова червяка ZA ; в сечении плоскостью касательной к основному цилиндру для эвольвентного червяка ZJ ; в нормальном сечении витка для конволютного червяка $ZN1$; в нормальном сечении впадины для конволютного червяка $ZN2$; в нормальном сечении к винтовой линии на боковой поверхности для конволютного червяка $ZN3$. При проектировании режущих инструментов часто возникает необходимость в пересчете координат профиля винтовой поверхности из одной секущей плоскости в другую. Указанную задачу приходится решать в следующих случаях: при проектировании токарных резцов, дисковых фрез и резцов вихревых головок для обработки винтовых поверхностей, червячных фрез, долбяков для косозубых колес; при нахождении параметров профиля винтовой поверхности в плоскости контроля; при определении погрешности аппроксимации нелинейчатых винтовых поверхностей через линейчатые.

В работе [2] приведены приближенные формулы, позволяющие вычислить погрешность профиля, возникающую при обработке резьбы резцом с прямолинейными режущими кромками, передняя поверхность которого расположена в плоскости нормальной к винтовой линии. С. И. Лашнев в статье [3] описал краткий алгоритм расчета параметров профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости, однако конкретные математические зависимости, необходимые для расчета, автор не привел. В работе [4] приведены формулы, позволяющие пересчитывать координаты профиля винтовой поверхности, заданные в осевом или нормальном сечении в торцовое сечение. Недостатком данной работы является невозможность расчета координат профиля, если секущая плоскость не пересекает ось винтовой поверхности.

Целью данной работы является создание универсального алгоритма расчета координат профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости.

Пусть $Oxyz$ – неподвижная система координат, $O'XYZ$ – подвижная система координат, совершающая винтовое движение вокруг оси Oz . Если $X = f(u)$, $Y = f(u)$, $Z = f(u)$ функции одного переменного параметра u , то мы имеем линию (образующую) в системе координат $O'XYZ$, которая при винтовом движении опишет винтовую поверхность:

$$\begin{cases} x = X \cos u - Y \sin u; \\ y = X \sin u + Y \cos u; \\ z = Z + pu, \end{cases} \quad (1)$$

где u – угол поворота системы координат $O'XYZ$ вокруг оси Oz ; p – винтовой параметр, $p = P/\pi$, где P – шаг винтовой поверхности.

Нормальное уравнение плоскости, рассекающей винтовую поверхность

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma - d = 0, \quad (2)$$

где α, β, γ – углы, образуемые нормальным вектором секущей плоскости с осями координат x, y, z соответственно; d – расстояние от начала координат O до секущей плоскости.

Величину d удобно вычислять по формуле

$$d = x_0 \cos \alpha + y_0 \cos \beta + z_0 \cos \gamma, \quad (3)$$

а косинусы углов α, β, γ по формулам:

$$\cos \alpha = \sin \theta \cos \varphi, \quad \cos \beta = \sin \theta \sin \varphi, \quad \cos \gamma = \cos \theta, \quad (4)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты начала системы координат, две из осей которой расположены в секущей плоскости; θ, φ – углы между нормалью к секущей плоскости и осями Oz и Ox соответственно.

После подстановки x, y, z в уравнение (2) получаем:

$$[X \cos u - Y \sin u] \cos \alpha + [X \sin u + Y \cos u] \cos \beta + [Z + pu] \cos \gamma - d = 0. \quad (5)$$

Трансцендентное уравнение (5), в общем случае, не имеет аналитического решения, однако при некоторых положениях секущей плоскости аналитическое решение возможно. С целью создания универсального алгоритма расчета координат профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости предлагается решать его численным методом.

Решая уравнение (5) относительно u и подставляя полученное значение в (1), можно найти координаты профиля винтовой поверхности x, y, z в системе координат $Oxyz$. Для преобразования координат профиля винтовой поверхности из системы координат $Oxyz$ в систему координат O', x', y', z' , две из осей которой расположены в секущей плоскости, необходимо выполнить преобразование координат по [5]:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

При подстановке параметров $x_0, y_0, z_0, \theta, \varphi$ в (6) необходимо учитывать правило знаков из [5]. Проверкой правильности преобразования координат является равенство нулю одной из координат x', y', z' .

Алгоритм расчета координат профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости состоит из следующих этапов:

- расчет координат образующей винтовой поверхности $X = f(u), Y = f(u), Z = f(u)$ в системе координат $O'XYZ$;
- решение трансцендентного уравнения (5) относительно параметра u ;
- определение координат профиля винтовой поверхности (1) в неподвижной системе координат $Oxyz$;
- пересчет координат профиля винтовой поверхности из системы координат $Oxyz$ в систему координат $O''x'y'z'$ по (6).

Для архимедовой винтовой поверхности образующую удобно представить в виде уравнений с независимым параметром u , изменяющемся от 0 до 1:

– для образующих левой и правой стороны винтовой поверхности (знак «+» соответствует правой образующей):

$$X = r_f + h_u, Y = 0, Z = \pm \left[\frac{b}{2} + \frac{h}{\operatorname{ctg} \alpha_x} u \right], \quad (7)$$

– для образующей дна винтовой поверхности:

$$X = r_f, Y = 0; Z = \frac{-b}{2} + bu, \quad (8)$$

где b – ширина впадины; h – высота профиля; r_f – радиус впадины; α_x – угол профиля (половина угла профиля для резьбы).

На рис. 1 изображена винтовая поверхность, соответствующая резьбе Тр30х10 и секущая плоскость. На рис. 2, а представлен профиль образующей винтовой поверхности, а на рис. 2, б – профиль винтовой поверхности в секущей плоскости, положение которой определяется параметрами $x_0 = -2$ мм, $y_0 = -2$ мм, $z_0 = -2$ мм, $\theta = 30^\circ$, $\varphi = 70^\circ$.

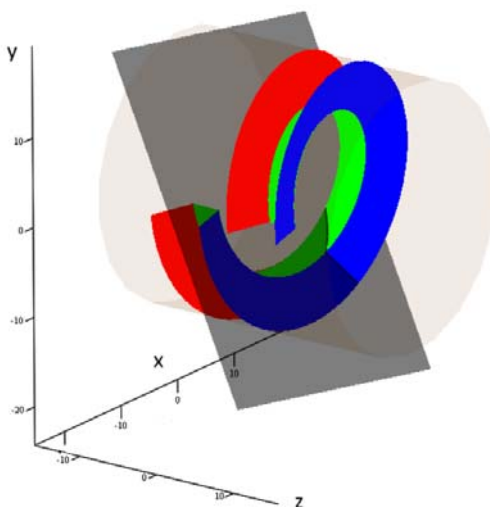


Рис. 1. Винтовая поверхность в системе координат $Oxyz$

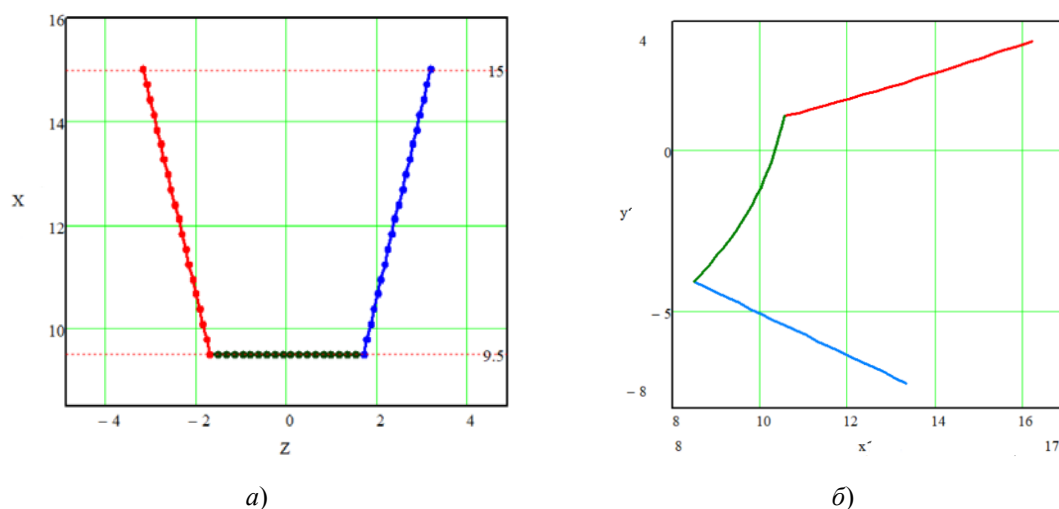


Рис. 2. Профиль винтовой поверхности:
а – профиль образующей; б – профиль в сечении

Литература

1. Сандлер, А. И. Производство червячных передач / А. И. Сандлер, С. А. Лагутин, А. В. Верховский ; под общ. ред. С. А. Лагутина. – М. : Машиностроение, 2008. – 271 с.
2. Riegel, F. Rechnen an spanenden Werkzeugmaschinen. Ein Lehr- und Handbuch zum Gebrauch in Werkstatt, Büro und Schule. Erster Band. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1958.
3. Лашнев, С. И. Расчет параметров профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости / С. И. Лашнев, А. Н. Борисов // Станки и инструмент. – 1984. – № 12. – С. 22–23.
4. Панкратов, Ю. М. Профилирование обкатных инструментов / Ю. М. Панкратов. – СПб. : Политехника-сервис, 2010. – 158 с.
5. Решетов, Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.

УДК 621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ СМАЗЫВАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

В. В. Скакун, Э. Ш. Джемилов, Р. М. Джемалидинов, И. Э. Теминдаров

*Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова,
г. Симферополь, Российская Федерация*

Проведены стойкостные испытания режущего инструмента без покрытия и с износостойким покрытием TiN. В качестве технологических сред были использованы следующие масла: минеральное масло И-20А, растительные (подсолнечное, кукурузное) масла, а также животный (свиной) жир.

Ключевые слова: стойкость, износостойкие покрытия, СОТС, окружающая среда, износ, точение.