

## Профилиране на палцеви фрези за формообразуване на винтови повърхнини

Велико Иванов, Александър Иванов

**Abstract:** Shaping of end milling cutter for helical surface milling. In this paper the task for determining the tool surface of profile end mills for helical surface milling is solved. Concrete example is presented and the influence of base helical parameters on the straight forming profile line deviations is determined.

**Key words:** shaping method, end milling cutter, helical surfaces.

### ВЪВЕДЕНИЕ

#### 1. Обща методика за профилиране

За решаване на задачата за аналитичното профилиране на палцевите инструменти е използвана теоремата, доказана в [1, 3], според която линията на докосване на обработваната винтова повърхнина на изделието и инструментална повърхнина, в случаите, когато последната се явява ротационна повърхнина, представлява съвкупност от допирните точки, нормалите в които винаги пресичат оста на инструмента.

Нека в най-общия случай обработваната винтова повърхнина е зададена в координатната система  $Oxyz$  (фиг. 1) с векторното уравнение

$$r = f_1(\rho, \theta) \cdot i + f_2(\rho, \theta) \cdot j + f_3(\rho, \theta) \cdot k \quad (1)$$

Където  $f_1(\rho, \theta)$ ,  $f_2(\rho, \theta)$  и  $f_3(\rho, \theta)$  са уравнения съответно на  $x$ ,  $y$  и  $z$ , а  $i$ ,  $j$  и  $k$  са единични вектори. Ако палцевата фреза е ориентирана така във впадината на неподвижното изделие, че оста и на въртене да съвпада с ос  $Ox$ , то контактът между обработваната винтова и инструменталната повърхнини се осъществява по пространствена контактна линия (фиг. 2). При завъртането спрямо ос  $Ox$ , тази линия възпроизвежда ротационната инструментална повърхнина на палцевата фреза. Във всяка точка от контактната линия двете контактуващи повърхнини, винтовата повърхнина на изделието и инструменталната повърхнина, имат обща нормала, която при известно уравнение на винтовата повърхнина, се дефинира с уравнението [2]:

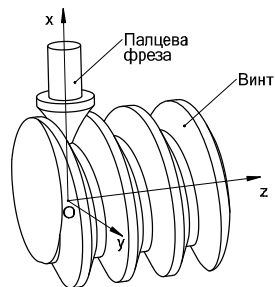
$$(X-x) / n_x = (Y-y) / n_y = (Z-z) / n_z, \quad (2)$$

в което  $x$ ,  $y$  и  $z$  са координати на контактната точка от повърхността на изделието;

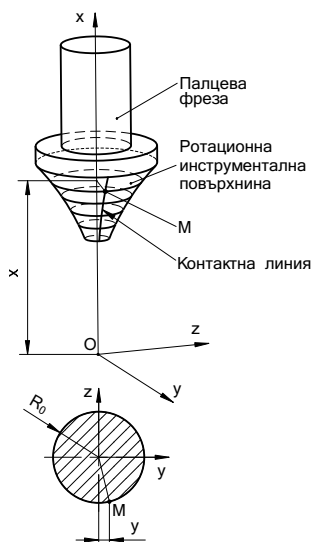
$X$ ,  $Y$ ,  $Z$  - координати на текущите точки на нормалата;

$n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  - проекции на нормалния вектор върху осите на координатната система.

Ако в качеството на текуща точка от нормалата се избере точката на пресичане с оста



Фиг.1. Схема на фрезване на винтова повърхнина с палцева фреза



Фиг.2. Изчислителна схема за профилиране на палцева фреза

на инструменталната повърхнина имаща координати  $(X, 0, 0)$ , уравнение (2) добива вида:

$$(X-x) / n_x = -y / n_y = -z / n_z . \quad (3)$$

Тогава от това уравнение се записва, че

$$y = z . n_y / n_z . \quad (4)$$

След заместване в (4) на  $y, z, n_y$  и  $n_z$ , се получава връзката между параметрите  $\rho$  и  $\theta$  във вида:

$$F(\rho, \theta) = 0 , \quad (5)$$

а линията на контакт е определена чрез уравненията

$$\begin{aligned} f_1(\rho, \theta) &= 0 \\ f_2(\rho, \theta) &= 0 \\ f_3(\rho, \theta) &= 0 \\ F(\rho, \theta) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

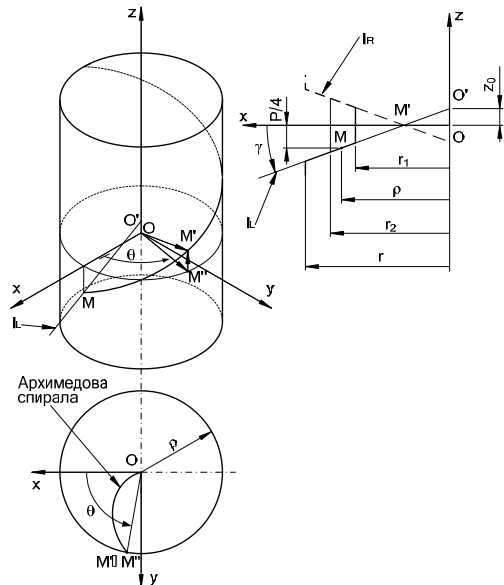
Ако през текущата точка  $M$  (фиг. 2) с координати  $x, y, z$  се прекара секуща равнина, перпендикулярна на ос  $Ox$ , отчитайки уравнение (4), се получава ротационното сечение на инструменталната повърхнина с радиус

$$R_0 = \sqrt{(x^2 + y^2)} = y \sqrt{1 + (n_y / n_z)^2} . \quad (7)$$

Тогава осевият профил на инструменталната повърхнина може да се определи чрез уравненията

$$\begin{aligned} x &= f(\rho, \theta) \\ R_0 &= y \sqrt{1 + (n_y / n_z)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

С разработената обща методика по-долу е определен осевият профил на палцева фреза за фрезование на архимедова винтова повърхнина.



Фиг. 3. Схема за определяне на уравнението на архимедова винтова повърхнина

## 2. Решение на задача за профилиране

Да се определи аналитично осевия профил на палцева фреза за фрезование на архимедов винт с осев профил, показан в табл.1.

Задачата се решава в следната последователност:

### 2.1. Дефиниране на параметрите на осевия профил на винта.

Осевият профил и необходимите за решаване на задачата стойности на параметрите му са посочени в табл.1. В таблицата се посочват и абсцисите на точките, през които се дефинира секущата равнина, в която ще се определят радиусите на ротационното сечение на палцевата фреза. В таблицата са дадени и координатите на тези точки от осевото сечение на винта ( $x = \rho, y = 0$ ).

В примера са приети 5 точки със стойности на  $\rho$  в диапазона  $(d/2 - d_1 / 2)$ .

Параметри на осевия профил на впадината на винта

Табл.1.

Схема	Параметър	Означение	Стойност
	Външен диаметър, mm	$d$	90,000
	Среден диаметър, mm	$d_2$	80,000
	Вътрешен диаметър, mm	$d_1$	68,000
	Стъпка, mm	$P$	20,000
	Брой ходове	$n$	1
	Профилен ъгъл, deg	$\alpha$	40
	Брой точки за построяване на профила,	$i$	5
	Радиус на текущите точки от профила на винтовата повърхнина в, mm	$\rho$	45,000
		$\rho$	42,500
		$\rho$	40,000
$\rho$		37,000	
$\rho$		34,000	

## 2.2. Уточняване на уравненията на винтовите повърхнини на архимедовия винт.

Впадината на винта се ограничава с две винтови архимедови повърхнини, едната с образуваща правата линия  $l_L$ , а другата – линията  $l_R$ . Поради симетричността на осевия профил по-нататък ще използваме уравненията на дясната винтова повърхнина с образуваща линията  $l_L$ , разположена в координатната система, както е показано на фиг. 3.

Тази винтовата повърхнина в координатната система  $O, x, y, z$  е дефинирана с уравненията:

$$\begin{aligned} x &= \rho \cdot \cos(\theta) \\ y &= \rho \cdot \sin(\theta) \\ z &= z_0 - \rho \cdot \tan(\theta) + p \cdot \theta \\ z_0 &= r_2 \cdot \tan(\gamma) \\ p &= n \cdot P / (2\pi) \end{aligned} \quad (9)$$

където  $r_2 = d_2/2$ , а  $\gamma = \alpha/2$ .

## 2.3. Определяне на уравненията на проекциите на нормалния вектор

Използвайки уравненията за определяне на проекциите на нормалния вектор[2]:

$$\begin{aligned} n_x &= (\partial y / \partial \rho) \cdot (\partial z / \partial \theta) - (\partial y / \partial \theta) \cdot (\partial z / \partial \rho) \\ n_y &= (\partial z / \partial \rho) \cdot (\partial x / \partial \theta) - (\partial z / \partial \theta) \cdot (\partial x / \partial \rho) \\ n_z &= (\partial x / \partial \rho) \cdot (\partial y / \partial \theta) - (\partial x / \partial \theta) \cdot (\partial y / \partial \rho) \end{aligned} \quad (10)$$

и отчитайки (9), проекциите на нормалния вектор (10) след преработване добиват вида:

$$\begin{aligned} n_x &= \rho \cdot \sin(\theta) + \rho \cdot \tan(\gamma) \cos(\theta) \\ n_y &= -\rho \cdot \cos(\theta) + \rho \cdot \tan(\gamma) \sin(\theta) \\ n_z &= \rho \end{aligned} \quad (11)$$

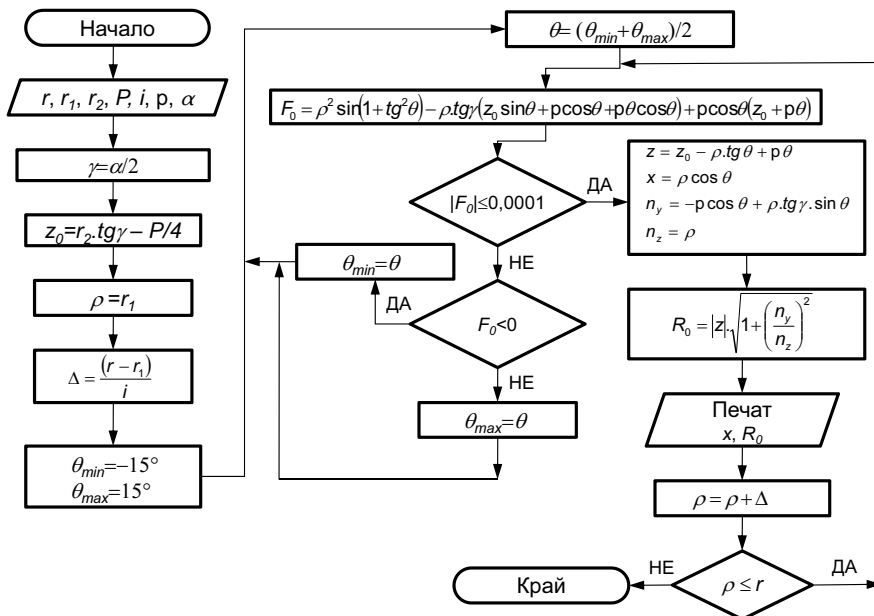
## 2.4. Определяне на връзката между параметрите $\rho$ и $\theta$ .

След заместване на уравнения (9) и (11) в (4) и преработване, за връзката между параметрите  $\rho$  и  $\theta$  се получава трансцендентното уравнение:

$$F(\rho, \theta) = \rho^2 \sin(\theta) \cdot (1 + \tan^2(\gamma)) - \rho \cdot \tan(\gamma) \cdot (z_0 \cdot \sin(\theta) + p \cdot \cos(\theta) + p \cdot \theta \cdot \sin(\theta)) + p \cos(\theta) \cdot (z_0 + p \cdot \theta) = 0 \quad (12)$$

Решението на уравнението (12) се реализира чрез разработена по блок-схемата от фиг.4 програма, като при всяка стойност на параметъра  $\rho$ , посочени в табл.1, се определят такива стойности параметъра  $\theta$  в диапазона ( $\theta_{min} = -15^\circ$ ,  $\theta_{max} = +15^\circ$ ), при които се изпълнява условието  $F_0 \leq 0,0001$  и се определят координатите на

контактните точки в координатната система  $R_0, x$  (Фиг.5). Получените стойности на  $R_{0i}$  и  $x_i$  са дадени в табл.2.



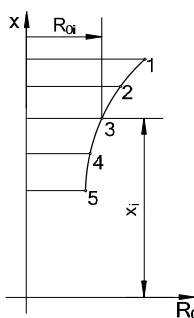
Фиг. 4. Блок – схема за решаване на определяне координатите на контактните

Табл.2. Координати на осевия профил на инструменталната повърхнина на палцева фреза

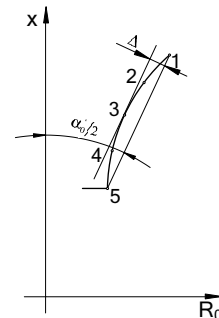
ка	i	5	193	807	556	5	716
1	250	83	331	099	250	760	
2	500	168	858	507	500	833	
3	750	45	390	193	750	946	
4	4	10	925	372	4	114	

### 2.5. Определяне на осевия профил на инструменталната повърхнина

Чрез използване на получените стойности на  $\theta$  при зададените стойности на  $\rho$ , по уравнения (8) и (11) се определят стойностите на  $x$  и  $R_0$  (табл. 2), с които се изчертава осевия профил на инструменталната повърхнина на палцевата фреза (фиг.5).



Фиг. 5. Осев профил на инструменталната повърхнина на палцева фреза



Фиг. 6. Криволинейност  $\Delta$  и профилен ъгъл  $\alpha_0'$  на профила на инструменталната повърхнина

### 3. Някои изследвания на зависимостта на профила на инструменталната повърхнина от параметрите на винта

Изследвано е влиянието на профилния ъгъл на формираната архимедовата винтова повърхнина върху отклонението от праволинейността, дефинирано като максимално отклонение от правата линия, свързваща от крайните точки 1 и 5 на определения профил на инструменталната повърхнина и отклонението на наклона на същата права от профилния ъгъл, определено като разликата

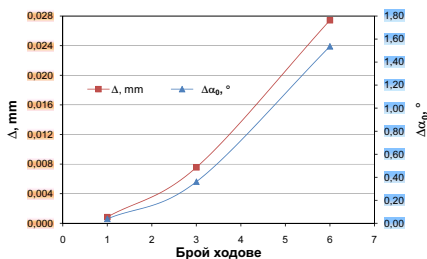
$$\Delta \alpha_0' = \alpha - \alpha_0'$$

Получените чрез проведеното изследване резултати са илюстрирани на фигури 7, 8 и 9. Тези резултати дават основания да се направят следните изводи:

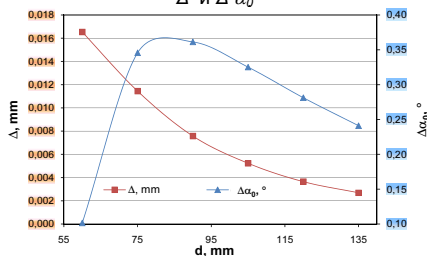
- Осевият профил на инструментална повърхнина се отличава от този на профила на архимедовия винт - първият е криволинеен, вдлъбнат, а вторият - праволинеен.

- Криволинейността се увеличава с увеличаване на профилния ъгъл  $\alpha$  на винта и броя на ходовете, респективно ъгъла на подем на винтовата линии по делителния цилиндър на винта. Криволинейността намалява с увеличаване на диаметъра на винта. За изследвания диапазон от параметри на винта получаваната криволинейност е малка и може да не се отчита при реализиране профила на реалната инструментална повърхнина

- Профилният ъгъл  $\alpha_0'$  на инструменталната повърхнина, дефиниран чрез ъгъла на правата линия 1-5, (фиг.6) се получава по-малък от профилния ъгъл на винта, а отклонението  $\Delta \alpha_0'$  се увеличава с увеличаване на  $\alpha$  и броя на ходовете. Отклонението  $\Delta \alpha_0'$ , обаче, е по-значително и трябва да се отчита при определянето на профила на реалната инструментална повърхнина



Фиг.7. Влияние на броя на ходовете на винтана  $\Delta$  и  $\Delta \alpha_0'$



Фиг.8. Влияние на диаметъра на винта  $d$  на  $\Delta$  и  $\Delta \alpha_0'$

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений. Москва, „Наука“, 1968.
- [2] Ханс-Иохен Барч. Математически формули. София, „Наука и изкуство“, 1986.
- [3] Кирсанов Г. Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. М., Мосстанкин, 1997.
- [4] Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. Киев, „Вища школа“, 1977.

## За контакти:

Проф. д-н Велико Колев Иванов, Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 714, e-mail: vivanov@uni-ruse.bg

Гл. ас. д-р инж. Александър Кирилов Иванов, Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 714, e-mail: akivanov@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**