

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, доц., д-р техн. наук, Хамуйєла Ж.А. Герра, проф., Ph.D., Т.О. Хамуйєла, канд. техн. наук  
Кіровоградський національний технічний університет, Університет Агостіно Нето  
(м. Луанда, Ангола)

## Удосконалення спеціальних черв'ячних фрез для обробки черв'ячних коліс

Визначено шлях удосконалення спеціальних черв'ячних фрез для обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка, що утворені за другим способом Олів'є. Знайдено рівняння для визначення максимальної кількості зубців черв'ячної фрези з поділенням профілю інструментальної рейки на довільне число частин. Розглянуті обмеження використання запропонованого способу поділення профілю інструментальної рейки.

**черв'ячна фреза, кількість зубців, черв'ячне колесо, механічна обробка, радіальна подача**

**Вступ.** Черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка відомі своєю високою навантажувальною здатністю, яка в 1,5-2,2 рази вища за навантажувальну здатність класичних черв'ячних передач з черв'яками типу ZA, ZN, ZI [1]. Причиною високої навантажувальної здатності цього виду черв'ячних передач в першу чергу є геометрія контактуючих поверхонь. Проте розповсюдження в промисловості черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка не отримали внаслідок ряду технологічних складностей виготовлення. Ці складності пов'язані з використанням спеціального зуборізного інструмента для формоутворення поверхонь витків черв'яка та зубців черв'ячного колеса, що приводить до низької технологічності таких передач в цілому. Тому, удосконалення інструментального забезпечення для виготовлення таких черв'ячних передач є актуальною задачею.

**Аналіз літературних джерел.** В роботі [1] розглянуті черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка синтезовані на основі другого способу Олів'є. В умовах цього способу черв'ячна фреза для механічної обробки зубців черв'ячного колеса є точною копією черв'яка.

В роботі [2] описано обробку черв'ячного колеса з  $m_2 = 1$  мм та числом зубців  $z_2 = 64$  способом радіальної подачі хвостовою одновитковою спеціальною черв'ячною фрезою з кількістю зубців  $z_0 = 4$  та констатується значна огранка зубців черв'ячного колеса.



Рисунок 1 – Хвостова одновиткова спеціальна черв'ячна фреза [2]

Спеціальні черв'ячні фрези, що працюють з тангенціальною подачею забезпечують більшу кількість профілюючих різів, що зменшує огранку зубців черв'ячного колеса, проте описану вище проблему це не вирішує.

Таким чином, спеціальні черв'ячні фрези для обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка потребують удосконалення.

**Мета роботи.** Поставимо за мету дослідження удосконалити спеціальні черв'ячні фрези для обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка.

**Матеріал і результати дослідження.**

Число зубців черв'ячної фрези без поділення профілю інструментальної рейки можна визначити на основі робіт [3,4].

Відомо [4], що максимально теоретично можливе число зубців черв'ячної фрези можна визначити так:

$$z_0 = 360^\circ / \varphi, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – кут, що визначається по формулі  $\cos(\varphi) = (d_{a0} - h_0) / d_{a0}$ ;

$d_{a0}$  – зовнішній діаметр, мм;

$h_0$  – висота зуба стандартної фрези, мм.

Зовнішній діаметр черв'ячної фрези з тангенціальною подачею приймаємо враховуючи діаметр вершин витків черв'яка, радіальний зазор в передачі та запас на переточування відповідно до рекомендацій, викладених в роботі [3]:

$$d_{a0} = d_{a1} + 2(C + a), \quad (2)$$

де  $d_{a1}$  – діаметр вершин витків черв'яка, мм;

$C$  – радіальний зазор в передачі, тобто  $C = 0,2m$ , мм;

$a$  – запас на переточування, тобто  $a = 0,1m$ , мм.

Діаметр вершин витків черв'яка відповідно до [4] визначаємо так:

$$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m_0, \quad (3)$$

де  $d_1$  – ділительний діаметр черв'яка, мм;

$h_a^*$  – коефіцієнт висоти головки витка,  $h_a^* = 1$ ;

$m_0$  – модуль, мм.

Ділительний діаметр черв'яка відповідно до [4] визначаємо так:

$$d_1 = m_0 q, \quad (4)$$

де  $q$  – коефіцієнт діаметра черв'яка.

Після підстановки (4) та (3) до (2) та відповідних математичних перетворень отримаємо:

$$d_{a0} = m_0 (q + 2,6). \quad (5)$$

Відомо [5], що максимальне число зубців черв'ячної фрези з поділенням по висоті на дві частини профілем інструментальної рейки визначається фрезою для першого проходу. Враховуючи те, що висота зуба фрези для першого проходу складає половину від висоти зуба стандартної фрези  $h_0$  плюс перекриття на величину  $e = 0,25m_0$  [5], то максимальне число зубців такої фрези  $z_{0max}$  визначатиметься так:

$$z_{0max} = \frac{360^\circ}{\arccos \left[ \frac{d_{a0} - \frac{h_0}{2} - \left[ \frac{h_0}{2} + e \right]}{d_{a0} - \frac{h_0}{2}} \right]}. \quad (6)$$

Відомо [6], що максимальне число зубців черв'ячної фрези з поділенням по висоті на три частини профілем інструментальної рейки визначається фрезою для першого проходу. Враховуючи те, що висота зуба фрези для першого проходу складає

третину від висоти зуба стандартної фрези  $h_0$  плюс перекриття на величину  $e = 0,25m_0$  [6], то максимальне число зубців такої фрези  $z_{0\max}$  визначатиметься так:

$$z_{0\max} = \frac{360^\circ}{\arccos \left[ \frac{d_{a0} - \frac{2h_0}{3} - \left[ \frac{h_0}{3} + e \right]}{d_{a0} - \frac{h_0}{3}} \right]} \quad (7)$$

Нехай інструментальна рейка буде поділена на  $n$  частин по висоті. Тоді, максимальне число зубців черв'ячної фрези з поділенням по висоті на  $n$  частин профілем інструментальної рейки визначається фрезою для першого проходу. Враховуючи те, що висота зуба фрези для першого проходу складатиме  $h_0/n$  від висоти зуба стандартної фрези  $h_0$  плюс перекриття на величину  $e$ , то максимальне число зубців такої фрези  $z_{0\max}$  визначатиметься так:

$$z_{0\max} = \frac{360^\circ}{\arccos \left[ \frac{d_{a0} - \frac{(n-1)h_0}{n} - \left[ \frac{h_0}{n} + e \right]}{d_{a0} - \frac{(n-1)h_0}{n}} \right]} \quad (8)$$

Після математичних перетворень (8) отримаємо:

$$z_{0\max} = \frac{360^\circ}{\arccos \left[ 1 - \frac{h_0 + ne}{nd_{a0} - (n-1)h_0} \right]} \quad (9)$$

На основі наведеної вище формули (9) проводилися відповідні розрахунки за допомогою MathCAD.

Розрахункові значення коефіцієнта діаметра черв'яка приймалися відповідно до ГОСТ 2144 та нормалі верстатобудування Н24-5.

Результати розрахунків максимального числа зубців спеціальної черв'ячної фрези в залежності від обраного поділення профілю інструментальної рейки наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

$m_0$ , мм	$q$	$z_{0\max}$ без поділення, шт.	$z_{0\max}$ з поділенням, шт.			
			$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$
1	2	3	4	5	6	7
1	30	11	20	23	26	28
	22	10	17	20	22	24
	20	9	16	19	21	23
	16	8	14	17	19	20
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
2	26	11	18	22	24	26
	19	9	16	18	21	22
	16	8	14	17	19	20

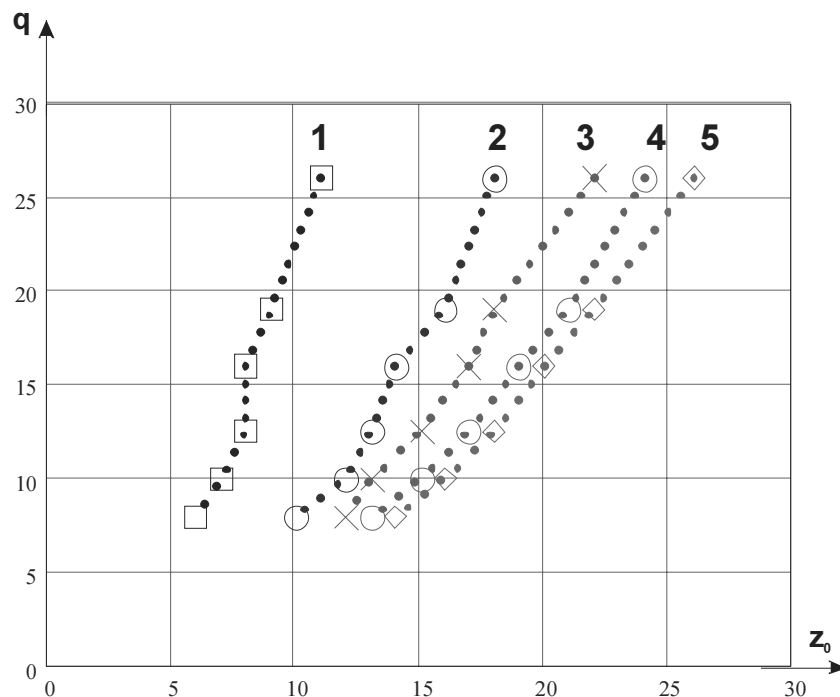
Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
2,5	24	10	18	21	23	25
	18	9	15	18	20	22
	16	8	14	17	19	20
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
3	22	10	17	20	22	24
	17	9	15	17	19	21
	16	8	14	17	19	20
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
3,5	20	9	16	19	21	23
	16	8	14	17	19	20
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
	4	19	9	16	18	21
15		8	14	16	18	20
12,5		8	13	15	17	18
10		7	12	13	15	16
8		6	10	12	13	14
5		18	9	15	18	20
	14	8	14	16	18	19
	12,5	8	13	15	17	18
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
	6	17	9	15	17	19
13		8	13	15	17	18
12,5		8	13	15	17	18
10		7	12	13	15	16
8		6	10	12	13	14
8		15	8	14	16	18
	11	7	12	14	16	17
	10	7	12	12	15	16
	8	6	10	12	13	14
10	15	8	14	16	18	20
	11	7	12	14	16	17
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14
12	15	8	14	16	18	20
	11	7	12	14	16	17
	10	7	12	13	15	16

1	2	3	4	5	6	7
	8	6	10	12	13	14
16	15	8	14	16	18	20
	11	7	12	14	16	17
	10	7	12	13	15	16
	8	6	10	12	13	14

Аналіз табл.1 показує, що найбільше зростання кількості зубців спеціальних черв'ячних фрез забезпечує поділ інструментальної рейки на дві частини.

Для розглянутої на початку статті в якості прикладу спеціальної фрези динаміку приросту кількості зубців в залежності від кількості поділів інструментальної рейки наведено на рис.2.



1 – без поділення; 2 – поділення на 2 частини; 3 – поділення на 3 частини; 4 – поділення на 4 частини; 5 – поділення на 5 частин

Рисунок 2 – Максимальне число зубців одновиткової спеціальної черв'ячної фрези з  $m_0=1$  мм

Поділ інструментальної рейки на три частини призводить до подальшого збільшення кількості зубців.

Поділ інструментальної рейки на чотири або п'ять частин призводить до збільшення кількості зубців але суттєво меншими темпами.

Обираючи той чи інший спосіб поділення треба враховувати зростання довжини черв'ячної фрези та збільшення витрати інструментального матеріалу.

Таким чином, поділ інструментальної рейки на частини по висоті є дієвим засобом удосконалення спеціальних черв'ячних фрез для обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка.

Тобто, мета даної роботи досягнута.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень було встановлено, що:

1. Поділ інструментальної рейки на частини по висоті є дієвим засобом удосконалення спеціальних черв'ячних фрез для обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка;

2. Найбільшій приріст максимальної кількості зубців дає поділ інструментальної рейки на дві частини по висоті;

3. При поділу інструментальної рейки більше ніж на три частини темпи приросту кількості зубців значно уповільнюються.

Скориставшись результатами проведених досліджень можна підвищувати точність механічної обробки черв'ячних коліс спеціальними черв'ячними фрезами.

## Список літератури

1. Ж.А.Хамуйєла Герра, Ковришкін М.О. Синтез нових черв'ячних передач // Збірник Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип. №17. – С.190-194.
2. Ковришкін М.О., Ж.А.Хамуйєла Герра, Помазан Т.І. Інструментальне забезпечення обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка/ Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання науки та практики: досягнення та перспективи – 2007» 3-7 грудня м.Полтава. – Полтава: АНП, 2007. – С.85-88.
3. Справочник инструментальщика / И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
4. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учеб. пособие для вузов / О.В.Таратынов, Г.Г.Земсков, Ю.П.Тарамыкин и др.; Под ред. О.В.Таратынова, Ю.П.Тарамыкина. – М.: Высш.шк., 1991. – 423 с.
5. Грицай І.С. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу // Проблеми створення нових машин і технологій: Науч. тр. Кременчук. гос. политехн. ун-та. - 2001 – 10, вып.1. – С. 418 - 422.
6. Ковришкін Н.А., Садченко О.И. Інструментальне забезпечення для виготовлення черв'ячних коліс черв'ячних передач з вогнутим профілем витка // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Проблеми механічного привода. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып.29. – С.69-76.

Определен путь усовершенствования специальных червячных фрез для обработки червячных колес червячных передач с вогнутым профилем витка червяк, которые синтезированы на основе второго способа Оливье. Найдено уравнение для определения максимального числа зубьев червячной фрезы с разделением профиля инструментальной рейки на произвольное число частей. Рассмотрены ограничения по использованию предложенного способа разделения профиля инструментальной рейки.

The way of improvement of special worm mills for processing of worm wheels of worm gears with concave profile of a worm which are synthesized on the basis of the second way by Olivier is determined. The equation for definition of the worm mill maximal teeth quantity with division of a structure tool on any number of parts is found. Restrictions on use of the suggested way of a structure tool division are considered.