

УДК 621.914.6

М.О.Ковришкін, доц., канд. техн. наук, М.Л.Рудич, асп.

Кіровоградський національний технічний університет

## Вплив кута сточування на геометрію збірних незатілованих черв'ячних фрез з поділеним профілем

Вивчено вплив переточування на геометрію ріжучої частини нових збірних незатілованих черв'ячних фрез з поділеним профілем. Визначено співвідношення параметричного кута та кута сточування. Визначено вплив кута сточування на величину зміни передніх та задніх кутів. Наведено результати розрахунків величини зміни передніх та задніх кутів в залежності від значення кута сточування.

**збірна незатілована черв'ячна фреза, поділений профіль, кут сточування**

Для виготовлення зубчастих та черв'ячних коліс широке використання знайшли черв'ячні фрези. В порівнянні з іншими інструментами вони складніші як за конструкцією, так і за технологією виробництва.

В більшості випадків зубчасті колеса нарізуються стандартними черв'ячними фрезами, у яких передній кут має нульове значення, а задні кути на бокових ріжучих лезах знаходяться в межах від 3° до 4°. Тобто, геометрія стандартних черв'ячних фрез робить їх недостатньо ефективними у практичному застосуванні з точки зору положень теорії різання.

Тому, дослідження, спрямовані на розробку черв'ячних фрез з більш раціональною геометрією, яка відповідає положенням теорії різання є актуальними.

Відомі [1] незатіловані шліцьові черв'ячні фрези, в яких задні кути зубців отримують зміщенням рейок, що шліфуються. Суттєвою перевагою таких черв'ячних фрез є відсутність операції затилування. Профіль зубців незатілованих фрез є шліфованим по всій довжині, а у затілованих фрез цього досягнути не можна. Збірні незатіловані черв'ячні фрези допускають значно більше число переточок, а їх стійкість в середньому у 6 разів перевищує стійкість стандартних цільних черв'ячних фрез [1].

Розглянемо докладніше вплив кута сточування на геометрію зубців відомих збірних незатілованих шліцьових черв'ячних фрез.

Зв'язок між максимальним кутом сточування та параметричним кутом за умови забезпечення мінімальної похибки профілю при переточуваннях в [1] визначено так:

$$\frac{1}{\cos(\beta)} - 1 = 1 - \frac{\cos(\phi_k - \beta)}{\cos(\beta)}, \quad (1)$$

де  $\beta$  – параметричний кут;

$\phi_k$  – кінцевий кут сточування.

Зв'язок між максимальним кутом сточування та досяжною кількістю зубців в роботі [1] визначається так:

$$\phi_k = \pi/z_u + (0^\circ \dots 3^\circ), \quad (2)$$

де  $z_u$  – досяжна кількість зубців.

Для збірних незатілованих шліцьових черв'ячних фрез в роботі [1] визначено ряд кутів сточування при яких величина впливу переточувань на геометрію зубця є максимальною або мінімальною:

$$\phi = 0^\circ, \phi = \beta, \phi = 2\beta, \phi = \phi_k = 2,42\beta. \quad (3)$$

Згідно з [1] величина поточного значення заднього кута на вершині зубця в залежності від кута сточування змінюється і визначається так:

$$\sin(\alpha) = \sin(\alpha_e) \frac{\cos(\phi - \beta)}{\cos(\beta)}, \quad (4)$$

де  $\alpha_e$  – раціональний з точки зору положень теорії різання задній кут на вершині зубця.

З роботи [1] відомо, що зміна величини заднього кута при переточуваннях викликає відхилення від радіальності передньої поверхні зубців незатілованих фрез, причому ця величина визначається так:

$$\sin(\Delta\gamma) = \frac{\sin(\alpha_e) [\cos(\phi - \beta) - \cos(\beta)]}{\cos(\alpha_e - \beta)}. \quad (5)$$

Стосовно зміни переднього кута при переточуваннях слід відмітити, що в роботі [1] запропоновано ефективний метод заточування в умовах якої цієї зміни практично немає. В умовах цього методу величина  $c$  зміщення площини заточувального круга відносно вісі фрези не є постійною величиною. Наприклад, для розглянутої фрези з додатнім переднім кутом при переточуваннях величина  $c$  зменшується [1].

Для не переточеної фрези величина  $c$  згідно з [1] визначається так:

$$c = R_e \sin(\gamma_e), \quad (6)$$

де  $R_e$  – радіус вершин зубців фрези;

$\gamma_e$  – раціональний з точки зору положень теорії різання передній кут на вершині зубця.

В процесі переточування відбувається зміна величини  $R_e$ , поточне значення якої визначається відповідно до [1] так:

$$R_{e'} = R_e [\cos(\alpha_e) - \sin(\alpha_e) \operatorname{tg}(\phi - \beta)]. \quad (7)$$

Відомі [2–5] високоефективні черв'ячні фрези з поділим профілем.

Згідно з роботами [2,3] усунення або часткове зменшення негативного впливу на процес зубообробки факторів, присутніх у схемі різання черв'ячних фрез стандартної конструкції, можливе за рахунок збільшення кількості стружкових канавок і рейок.

В роботі [4] виконані дослідження щодо визначення кількості зубців та задніх кутів на бокових ріжучих лезах суцільної черв'ячної фрези для обробки черв'ячних коліс методом тангенціальної подачі. В роботі [4] доведено, що кількість зубців цих черв'ячних фрез вдвічі перевищує відповідний показник для стандартних черв'ячних фрез. Проте, задні кути на бокових ріжучих лезах суцільних черв'ячних фрез, що розглянуті в роботі [4], мають значення в межах від  $2,31^\circ$  до  $4,53^\circ$ .

В роботі [5] поєднано позитивні властивості черв'ячних фрез, що розглянуті в роботах [1,4], і отримано нові незатіловані черв'ячні фрези для яких радіус вершин технологічного та робочого черв'яка співпадають. Наступним етапом дослідження нових незатілованих черв'ячних фрез з поділим профілем є визначення впливу переточування на геометрію їх ріжучої частини.

Прийmemo за мету роботи дослідження впливу переточування на геометрію ріжучої частини нових збірних незатілованих черв'ячних фрез з поділим профілем.

Для досягнення мети дослідження вирішимо наступні задачі:

а) визначити оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута;

б) встановити досяжну кількість зубців для визначеного співвідношення кута сточування та параметричного кута;

в) визначити вплив кута сточування на величину зміни передніх та задніх кутів;

г) розрахувати величину зміни передніх та задніх кутів в залежності від значення кута сточування;

д) порівняти характеристики нової черв'ячної фрези з відповідними показниками стандартної черв'ячної фрези за ГОСТ 9324-80Е.

Для розв'язання першої задачі скористаємося роботою [5].

Врахувавши, що  $\beta < \phi_k$  та розв'язавши рівняння (1) стосовно  $\phi_k$  отримаємо:

$$\phi_k = \beta + \arccos(2 \cos(\beta) - 1). \quad (8)$$

В роботі [5] зазначено, що радіус вершин технологічного та робочого черв'яка співпадають за умови виконання співвідношення:

$$\beta = \frac{\alpha_e}{2}. \quad (9)$$

Слід відмітити [5], що для обробки бронзового вінця черв'ячного колеса  $\alpha_e = 8^\circ$ . Тобто, параметричний кут для обробки бронзового вінця черв'ячного колеса такий:

$$\beta = 4^\circ. \quad (10)$$

Після підстановки (10) до (8) та проведення відповідних математичних перетворень отримаємо:

$$\phi_k = 9,658^\circ. \quad (11)$$

На основі (10) та (11) визначаємо оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута:

$$\phi_k = 2,4145\beta. \quad (12)$$

Тобто, для досліджуваних збірних незатілованих черв'ячних фрези ряд кутів сточування (3) при яких величина впливу переточувань на геометрію зубця є максимальною або мінімальною матиме вигляд:

$$\phi = 0^\circ, \phi = \beta, \phi = 2\beta, \phi = \phi_k = 2,4145\beta. \quad (13)$$

Розв'язавши рівняння (2) стосовно  $z_u$  отримаємо:

$$z_u = \frac{180^\circ}{\phi_k - (0^\circ \dots 3^\circ)}. \quad (14)$$

Після підстановки (11) до (14) та врахувавши, що  $z_u$  є цілим числом, отримаємо:

$$z_u = 18 \dots 27. \quad (15)$$

Визначимо вплив кута сточування на величину зміни задніх кутів на зубцях досліджуваної черв'ячної фрези. В першому наближенні вважатимемо, що  $\gamma_e = 0^\circ$ .

Згідно з [5] величина раціонального з точки зору положень теорії різання заднього  $\alpha_e$  кута повинна призначатися на зубцях для другого проходу, тобто:

$$\alpha_{e2} = \alpha_e. \quad (16)$$

Оскільки раціональний задній кут призначається на вершині зубців для другого проходу, а максимальна його зміна при переточуваннях відбувається на вершинах зубців для третього проходу, то величина зміни заднього кута для  $j$ -го переточування визначатиметься так:

$$\Delta\alpha_{e3j} = \alpha_{e3} - \alpha_{e3j}, \quad (17)$$

де  $\alpha_{e3j}$  – задній кут на вершинах зубців третього проходу після  $j$ -го переточування;

$\alpha_{e3}$  – задній кут на вершинах зубців третього проходу не переточеної фрези.

Величина  $\alpha_{e3}$  згідно з [5] визначається так:

$$\alpha_{e3} = \arctg \left[ \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{e2})}{1 - \frac{(-h_{03} + e)}{R_{e2}} [1 + \operatorname{tg}(\beta)\operatorname{tg}(\alpha_{e2})]} \right], \quad (18)$$

де  $h_{03}$  – висота зубців для третього проходу;

$e$  – величина перекриття між зубцями другого та третього проходу [5];

$R_{e2}$  – радіус вершин зубців другого проходу.

Після підстановки (18) з урахуванням (16) до (4), а потім до (17) та після необхідних математичних перетворень для  $j$ -го переточування отримаємо:

$$\Delta\alpha_{e3j} = \alpha_{e3} - \arcsin \left[ \sin(\alpha_{e3}) \frac{\cos(\phi_j - \beta)}{\cos(\beta)} \right]. \quad (19)$$

Після підстановки (9) до (5) та після відповідних математичних перетворень для  $j$ -го переточування отримаємо:

$$\Delta\gamma_{\alpha j} = \arcsin \left[ \frac{\sin(\alpha_{e3}) [\cos(\phi_j - \beta) - \cos(\beta)]}{\cos(\alpha_{e3} - \beta)} \right]. \quad (20)$$

Аналіз формули (20) показує, що при  $\phi = \beta$  величина  $\Delta\gamma_{\alpha j}$  матиме додатне значення, а при  $\phi = \phi_k = 2,4145\beta$  – від'ємне, як це зображено на рис.1. За умови, що  $\phi = 0^\circ$  або  $\phi = 2\beta$ ,  $\Delta\gamma_{\alpha j} = 0^\circ$ .

В процесі переточування відбувається зміна величини  $R_{e3}$ , поточне значення якої визначається підстановкою (18) до (7):

$$R_{e3j} = R_{e3} [\cos(\alpha_{e3j}) - \sin(\alpha_{e3j}) \operatorname{tg}(\phi_j - \beta)], \quad (21)$$

де  $R_{e3}$  – радіус вершин зубців третього проходу.

Для  $j$ -го переточування величина  $c$  на основі (6) визначається так:

$$c_j = R_{e3j} \sin(\gamma_e). \quad (22)$$

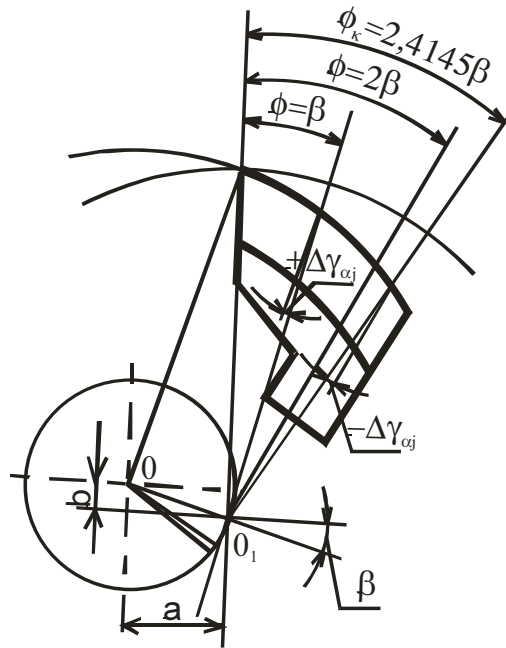


Рисунок 1 – Схема зміни величини  $\Delta\gamma_{\alpha j}$  в процесі переточування зубців фрези

Для  $j$ -го переточування величина  $c$  на основі (6) визначається так:

$$c_j = R_{e3j} \sin(\gamma_e). \quad (22)$$

Враховуючи, що значення  $c_j$  витримується на верстаті з певною точністю, наприклад, 0,001 мм, 0,005 мм або 0,01 мм, то при округленні  $c_j$  до  $c_{0j}$  виникатиме похибка  $\Delta\gamma_{oj}$  значення переднього кута  $\gamma_e$ , яка для досліджуваної фрези визначатиметься так:

$$\Delta\gamma_{oj} = \arcsin\left(\frac{c_j - c_{0j}}{R_{e3j}}\right). \quad (23)$$

Схема виникнення похибки  $\Delta\gamma_{oj}$  при округленні величини  $c_j$  до  $c_{0j}$  зображена на рис.2.

Таким чином, зміна переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні буде такою:

$$\Delta\gamma_j = \Delta\gamma_{\alpha j} + \Delta\gamma_{oj}. \quad (24)$$

Аналіз формули (24) показує, що результуюче відхилення від радіальності передньої поверхні для нових черв'ячних фрез може бути зменшеним, якщо складові формули (24) будуть мати різні знаки. При  $\phi = 0^\circ \dots 2\beta$  величину  $c_j$  необхідно округляти в більшу сторону викликаючи від'ємне значення  $\Delta\gamma_{oj}$  при додатному значенні  $\Delta\gamma_{\alpha j}$ , а при  $\phi = 2\beta \dots 2,4145\beta$  величину  $c_j$  необхідно округляти в меншу сторону викликаючи додатне значення  $\Delta\gamma_{oj}$  при від'ємному значенні  $\Delta\gamma_{\alpha j}$ .

Розрахунки проводилися для черв'ячних фрез з наступними показниками:

– модуль  $m = 4$  мм, радіус зубців для третього проходу  $R_{e3} = 43$  мм, величина перекриття  $e = 1$  мм, задній кут  $\alpha_e = 8^\circ$ , передній кут  $\gamma_e = 10^\circ$ ;

– модуль  $m = 8$  мм, радіус зубців для третього проходу  $R_{e3} = 70$  мм, величина перекриття  $e = 2$  мм, задній кут  $\alpha_e = 8^\circ$ , передній кут  $\gamma_e = 10^\circ$ ;

– модуль  $m = 12$  мм, радіус зубців для третього проходу  $R_{e3} = 105$  мм, величина перекриття  $e = 3$  мм, задній кут  $\alpha_e = 8^\circ$ , передній кут  $\gamma_e = 10^\circ$ .

Результати розрахунків наведені в табл.1.

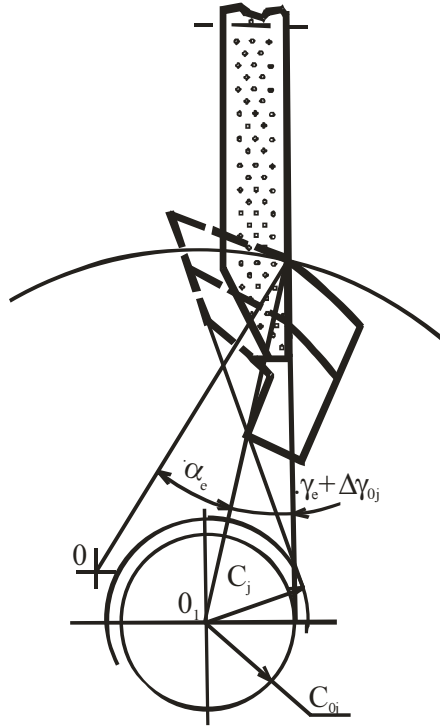


Рисунок 2 – Схема виникнення похибки  $\Delta\gamma_{0j}$  при округленні величини  $c_j$  до  $c_{0j}$

Таблиця 1 – Зміна передніх та задніх кутів при переточуванні нових фрез

$m$ , мм	$\phi$ , °	$R_{e3}$ , мм	$\Delta\alpha_{e3}$ , "	$\Delta\gamma_{\alpha}$ , "	$c$ , мм	$c_0$ , мм	$\Delta\gamma_0$ , "	$\Delta\gamma$ , "
4	4	42,6256	-66,91	+66,29	7,40185	7,402	-0,72	+65,57
						7,405	-15,24	+51,05
						7,41	-39,43	+26,86
	9,658	42,0646	+66,91	-66,29	7,30444	7,304	+2,14	-64,15
						7,30	+21,76	-44,53
						7,30	+21,76	-44,53
8	4	69,4062	-66,03	+65,43	12,05226	12,053	-2,20	+63,23
						12,055	-8,15	+57,28
						12,06	-23,01	+42,42
	9,658	68,5048	+66,03	-65,43	11,89531	11,895	+2,20	-63,23
						11,89	+17,26	-48,17
						11,89	+17,26	-48,17
12	4	104,1093	-66,02	+65,42	18,07840	18,079	-1,20	+64,22
						18,08	-3,18	+62,24
						18,08	-3,18	+62,24
	9,658	102,7573	+66,02	-65,42	17,84361	17,843	+1,23	-64,19
						17,84	+7,25	-58,18
						17,84	+7,25	-58,18

Аналіз табл.1 показує, що при переточуваннях величина зміни заднього кута становить близько  $\pm 1'$ , як і викликана цим величина зміни переднього кута. На зміну переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні, можна суттєво вплинути округленням величини  $c_0$ .

Для порівняння черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е та нових незатілованих черв'ячних фрез з поділимим профілем проводився перерахунок значення  $\Delta\gamma$  у нормоване відхилення профілю передньої поверхні  $f_\gamma$  в такий спосіб:

$$f_\gamma = 2,5m[\sin(\Delta\gamma_2) - \sin(\Delta\gamma_4)], \quad (25)$$

де  $\Delta\gamma_2$  – зміна переднього кута під час переточування до кута сточування  $\phi = \beta$ ;

$\Delta\gamma_4$  – зміна переднього кута під час переточування до кута сточування  $\phi = \phi_k = 2,4145\beta$ .

Результати розрахунків наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Відхилення профілю передньої поверхні  $f_\gamma$

m, мм	$f_\gamma$ , МКМ				
	черв'ячні фрези за ГОСТ 9324-80Е класу точності			досліджувані черв'ячні фрези	
	AAA	AA	A	точність округлення c, мм	$f_\gamma$ , МКМ
4	12	20	32	0,001	6,3
				0,005	4,6
				0,010	6,0
8	16	25	40	0,001	12,3
				0,005	10,2
				0,010	8,8
12	–	32	50	0,001	18,7
				0,005	17,5
				0,010	10,6

Аналіз табл.2 показує, що за показником відхилення профілю передньої поверхні  $f_\gamma$  досліджувані черв'ячні фрези є точнішими черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е та більше відповідають головній вимозі до таких інструментів – забезпечення мінімальної похибки профілю при переточуваннях.

Тобто, мета дослідження досягнута шляхом розв'язання усіх поставлених задач.

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено, що:

а) оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута становить  $\phi_k = 2,4145\beta$ ;

б) досяжна кількість зубців для визначеного співвідношення кута сточування та параметричного кута становить  $z_u = 18 \dots 27$ ;

в) кут сточування впливає на величину зміни передніх та задніх кутів;

г) величина зміни задніх кутів при переточуваннях визначається за формулою (19);

д) величина зміни передніх кутів при переточуваннях визначається за формулою (24);

е) при переточуваннях величина зміни заднього кута становить близько  $\pm 1'$ , як і викликана цим величина зміни переднього кута;

є) на величину зміни переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні, можна суттєво вплинути округленням величини  $c_0$ ;

ж) при значеннях кута сточування в діапазоні  $\phi = 0^\circ \dots 2\beta$  величину  $c_j$  необхідно округляти в більшу сторону викликаючи від'ємне значення  $\Delta\gamma_{oj}$  при додатному значенні  $\Delta\gamma_{oj}$ , а при значеннях кута сточування в діапазоні  $\phi = 2\beta \dots 2,4145\beta$  величину  $c_j$  необхідно округляти в меншу сторону викликаючи додатне значення  $\Delta\gamma_{oj}$  при від'ємному значенні  $\Delta\gamma_{oj}$ ;

з) за показником відхилення профілю передньої поверхні  $f_\gamma$  досліджувані черв'ячні фрези є точнішими черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е.

Результати досліджень можна застосувати при розрахунках, профілюванні та виготовленні нових незатіланих черв'ячних фрез з поділенням профілем для обробки черв'ячних коліс.

## Список літератури

1. Иноземцев Г.Г. Незатылованные шлицевые червячные фрезы / Г.Г. Иноземцев, Н.И. Иванов. – М.: Машиностроение, 1973. – 152 с.
2. Грицай І.Є. Прогресивний спосіб дво перехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу / І.Є. Грицай // Проблеми створення нових машин і технологій: Науч. тр. Кременчук. гос. политехн. ун-та. – 2001. – Вип. 10, частина 1. – С. 418 - 422.
3. Грицай І.Є. Основи підвищення ефективності процесу нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 "Процеси механічної обробки, верстати та інструменти" / І.Є. Грицай. – Львів, 2003. – 34 с.
4. Ковришкін М.О. Черв'ячна фреза з поділенням профілем інструментальної рейки для обробки черв'ячних коліс методом тангенціальної подачі / М.О. Ковришкін, О.І. Садченко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6/2008 (53) частина 1. – С.69–73.
5. Ковришкін М.О. Зборна незатілована черв'ячна фреза з поділенням профілем для обробки черв'ячних коліс / М.О. Ковришкін, М.Л. Рудич // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 6/2009 (59) частина 1. – С.52–56.

*Н. Ковришкін, М. Рудич*

**Влияние угла стачивания на геометрию сборных незатылованных червячных фрез с разделенным профилем**

Изучено влияние переточек на геометрию режущей части новых сборных незатылованных червячных фрез с разделенным профилем. Определено соотношение параметрического угла и угла стачивания. Определено влияние угла стачивания на величину изменения передних и задних углов. Приведены результаты расчетов величины изменения передних и задних углов в зависимости от значения угла стачивания.

*M. Kovryshkin, M. Rudich*

**Influence of a corner of grinding on geometry modular worm mills with the divided structure**

Influence of grinding on geometry of a cutting part new modular worm mills with the divided structure is investigated. The ratio of a parametrical corner and a corner of grinding is determined. Influence of a corner of grinding on size of change of forward and back corners is determined. Results of calculations of size of change of forward and back corners are resulted depending on value of a corner of grinding.

Одержано 06.04.10