

УДК 621.9.04: 621.833.38

О. Попова

Кіровоградський національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЧЕРВ'ЯЧНИХ КОЛІС ПЕРЕДАЧ З УГНУТИМ ПРОФІЛЕМ ВИТКА ЧЕРВ'ЯКА

Резюме. Вперше теоретично доведено й експериментально підтверджено необхідність та доцільність підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс шляхом застосування нових черв'ячних фрез із поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки. Встановлено, що для підвищення точності механічної обробки черв'ячного колеса профіль інструментальної рейки черв'ячної фрези необхідно поділити на три частини по висоті, а кількість зубців фрези повинна дорівнювати 12. Отримано математичні моделі процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка.

Ключові слова: точність обробки, черв'ячна фреза, черв'ячне колесо, інструментальна рейка.

О. Popova

MODELING THE ACCURACY IN THE PROCESS OF MECHANICAL TREATMENT OF WORM-WHEELS OF WORM GEARS WITH A CONCAVE PROFILE OF THE WORM TURN

Summary. For the first time it was theoretically proved and experimentally confirmed the necessity and expediency in increase of accuracy in mechanical treatment of worm-wheels using new worm hobs with a divided in three parts according to the height profile of a tool rack. It was stated that in order to increase the accuracy of mechanical treatment of a worm-wheel, the profile of a tool rack of a worm hob should be divided in three parts according to the height and the quantity of teeth of the hob should equal 12. We received mathematical models of the process of treatment of worm-wheels of cylindrical worm gears with concave profile of a worm turn. The object of the research included geometrical characteristics of a worm-wheel such as deviation of output circuit (left and right sides) of teeth of the worm-wheel F_w , μm ; deviation of pitch (left and right sides) of teeth of the worm-wheel from nominal f_p , μm ; accumulated error of a pitch (left and right sides) F_p , μm ; radial runout F_m , μm ; deviation in tooth profile of a worm-wheel (left and right sides) f_f , μm ; diameter of a wheel cave D_f , mm.

We disclosed positive dependence in the process of mechanical treatment of a worm-wheel on the quantity of parts of profile division according to the height of tool rack of a worm hob N , which under other equal conditions with the increase of N there is a redistribution of allowance between passes and a change in the scheme of metal removal out of the caves between teeth of a wheel which is being cut. As a result the quantity of passes of the hob n_{np} decreases which leads to a decrease in a wheel's tooth cut and in deviation of output circuit of the right and left sides of a tooth of a worm-wheel which increases the accuracy of treatment. Also we disclosed a considerable influence of the quantity of teeth of the worm hob on the deviation of the output circuit of a worm-wheel under mechanical treatment using tangential infeed. The increase of the number of racks increases the quantity of cuts which allows improving the accuracy of treatment. Moreover, the increase in number of racks leads to the increase of the coefficient of front overlap in machine engagement of a worm hob-blank. This allows decreasing irregularity in cutting, dynamic loading and increasing the accuracy of treatment. Due to the fact that the worm hob with a divided in three parts profile according to the height of a tool rack has located on the same helix teeth for the first, second and third passes with equal diameter of caves and different outer diameters, the treatment of a worm-wheel is carried out with one installation which improves the accuracy in treatment.

Key words: accuracy in treatment, worm hob, worm-wheel, tool rack.

Вступ. При розробленні сучасних металорізальних верстатів проблема підвищення точності як окремих механізмів так і верстата в цілому більш загострюється, коли виникає потреба в підвищенні довговічності, навантажувальної

здатності й точності роботи черв'ячного колеса черв'ячної передачі, яка входить у ланки цих механізмів.

Застосування стандартних черв'ячних фрез за ГОСТом 9324 класу точності АА та ААА з підвищеними габаритними розмірами на обробці черв'ячного колеса відображається негативно, оскільки збільшення діаметра черв'ячної фрези призводить до збільшення міжосьової відстані у відповідному верстатному зачепленні та суттєвого ослаблення зубців через більший об'єм видаленого металу.

Згідно з роботою [1] 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. Це досягається при незмінному зовнішньому діаметрі фрези зменшенням висоти зубців та розділенням профілю рейки нормального початкового контуру по висоті між фрезами для двох послідовних проходів.

Відомий зубонарізний інструмент [1], що складається з двох черв'ячних фрез, унаслідок необхідності переналагодження зубофрезерного верстата на різні міжосьові відстані для першого і другого проходів має суттєвий недолік, що зменшує досягнуту точність обробки. Необхідність переналагодження суттєво збільшує трудомісткість процесу і вносить похибки у відношенні положення першої та другої черв'ячних фрез, що потім впливає на точність оброблюваного зубчастого колеса.

Пропонується скористатися розділенням профілю рейки нормального початкового контуру по висоті на три частини між фрезами для трьох послідовних проходів (рис.1). Причому у фрези для першого проходу зубці відповідають профілю ніжки зубців рейки нормального початкового контуру, а зубці фрези для третього проходу відповідають головці зубців профілю нормального початкового контуру. Черв'ячна фреза з поділим профілем по висоті на три частини інструментальної рейки одночасно містить розташовані на одній гвинтовій поверхні зубці для першого, другого та третього проходів з однаковим діаметром западин та різними зовнішніми діаметрами [2, 3, 4].

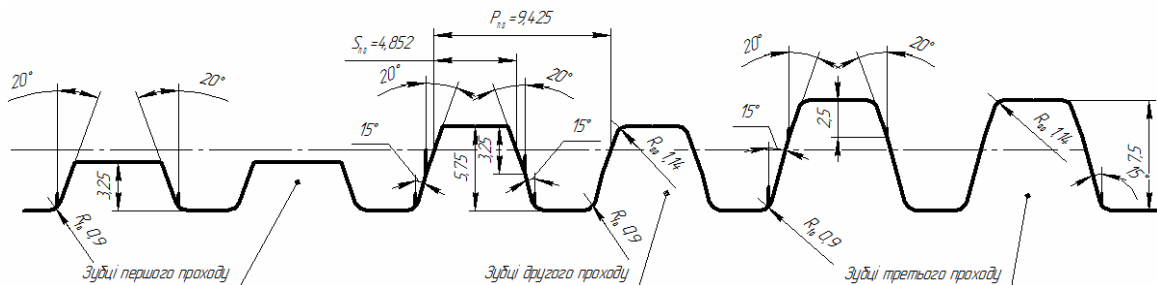


Рисунок 1. Профіль інструментальної рейки нової черв'ячної фрези $m=3$ мм, $d_a=58,5$ мм

Figure 1. The profile of a tool rack of a new worm hob $m=3$ mm, $d_a=58,5$ mm

Мета роботи. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс для передач з угнутих профілем витка черв'яка за рахунок використання конструкції черв'ячної фрези з поділим по висоті профілем інструментальної рейки.

Завдання дослідження. Розроблення способу поділення профілю інструментальної рейки черв'ячної фрези та визначення раціональних параметрів інструмента; розроблення математичної моделі процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка; експериментальна перевірка працездатності запропонованої конструкції інструмента.

Результати досліджень. З метою дослідження точності процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутих профілем витка

черв'яка передбачалося виконання експериментів в умовах моделювання процесу на заготовках із бронзи О5С5Ц5. Результатом дослідження були математичні моделі даних характеристик, які зумовлюють багатофакторний зв'язок з режимами обробки, а також з геометричними параметрами черв'ячної фрези, зокрема з геометричними параметрами обробленого черв'ячного колеса.

Об'єктом дослідження були такі геометричні характеристики черв'ячного колеса: відхилення вихідного контуру (лівої та правої сторони) зубців черв'ячного колеса F_{α} , мкм; відхилення кроку (лівої та правої сторони) зубців черв'ячного колеса від номіналу f_{Pt} , мкм; накопичена похибка кроку (лівої та правої сторони) F_P , мкм; радіальне биття F_n , мкм; відхилення профілю зуба черв'ячного колеса (лівої та правої сторони) f_f , мкм; діаметр впадини колеса D_f , мм.

На підставі апріорної інформації було вибрано три фактори, які повинні впливати на процес нарізування черв'ячних коліс: кількість частин поділення профілю інструментальної рейки черв'ячної фрези N , шт; кількість зубців Z , шт; кількість проходів черв'ячної фрези при обробці черв'ячного колеса методом тангенціальної подачі n_{np} , кількість проходів.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту

Робоча матриця (план $2^3/8$)															
Фактори		N , шт	Z , шт	n_{np}	F_{α} , мкм		f_{Pt} , мкм		F_P , мкм		F_n , мкм	f_f , мкм		D_f , мм	
Основний рівень (X_{i0})		2	9	2	Ліва сторона	Права сторона	Ліва сторона	Права сторона	Ліва сторона	Права сторона		Ліва сторона	Права сторона		
Інтервал варіювання (ΔX_i)		1	3	1											
Верхній рівень ($X_i = +1$)		3	12	3											
Нижній рівень ($X_i = -1$)		1	6	1											
Код		x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	
Номер досліді	1	3	12	3	489	545	29	26	186	197	230	1,344	1,366	124,223	
	2	1	12	3	525	615	22	24	205	264	235	1,531	1,532	123,597	
	3	3	6	3	493	525	32	28	189	200	249	1,352	1,368	124,223	
	4	1	6	3	530	625	24	24	159	233	220	1,477	1,479	123,597	
	5	3	12	1	422	527	15	23	161	165	195	1,144	1,145	123,933	
	6	1	12	1	531	625	24	22	147	231	134	1,455	1,455	122,497	
	7	3	6	1	436	547	20	20	165	177	196	1,244	1,245	123,997	
	8	1	6	1	534	627	26	24	149	233	134	1,465	1,459	122,597	
	0	2	9	2	439	553	20,5	20,5	202,25	263	201,75	1,1405	1,13725	121,1325	
Досліди у центрі плану	Номер повторного досліді	1	0	0	0	438	552	21	21	203	261	200	1,137	1,136	121,131
		2	0	0	0	441	555	20	21	200	265	204	1,142	1,136	121,135
		3	0	0	0	439	551	21	20	202	265	200	1,144	1,139	121,133
		4	0	0	0	438	554	20	20	204	261	203	1,139	1,138	121,131
					\bar{y}	439	553	20,5	20,5	202,25	263	201,75	1,1405	1,13725	121,1325
					s^2	2	3,3333	0,3333	0,3333	2,9166	5,3333	4,25	9,67E-	2,25E-	3,67E-06
					s	1,41421	1,8257	0,5773	0,5773	1,7078	2,3094	2,06155	0,00311	0,0015	0,00192

Інші параметри процесу були зафіксовані на таких постійних рівнях: тангенціальний метод обробки; режими різання: $V=30$ мм/хв, $S_m=1,7$ мм/об, $n=160$ хв⁻¹; зубофрезерний верстат 5К32А.

У результаті експериментальних досліджень та вимірювання отримано математичні моделі процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка (табл.2) [5].

Таблиця 2

Математичні моделі процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка

№ моделі	Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
1	2	3
1	$F_{\text{овіт}}=495-35x_1+16,75x_1x_3+14,25x_3-3,25x_2+1,5x_1x_2x_3-1,25x_1x_2$	
2	$F_{\text{оправ}}=597,5-43,5x_1+6x_1x_2x_3+4x_2x_3-2x_3-1,5x_2+1,5x_1x_2$	$x_1 = 1(X_1 - 2);$ $x_2 = 0,333333(X_2 - 9);$
3	$f_{\text{овіт}}=24+3,75x_1x_3+2,75x_3-1,5x_2-0,5x_1x_2$	
4	$f_{\text{оправ}}=23,875+1,625x_3+1,125x_1x_3-0,875x_1x_2x_3$	
5	$F_{\text{овіт}}=170,125+14,625x_3-6,375x_1x_2+6,125x_2x_3-5,875x_1x_2x_3$	
6	$F_{\text{оправ}}=212,5-27,75x_1+11x_3-5,5x_2x_3+5,25x_2x_3-3x_1x_2x_3+2,75x_1x_3$	
7	$F_n=199,125+34,375x_3+18,375x_1-12,375x_1x_3-4,375x_1x_2-4,125x_1x_2x_3$	
8	$f_{\text{овіт}}=1,3765-0,1055x_1+0,0495x_3+0,0275x_1x_3+0,0195x_2x_3-0,019x_1x_2-0,00799999x_2$	
9	$f_{\text{оправ}}=0,38113-0,100125x_1+0,055125x_3+0,030875x_1x_3+0,019375x_2x_3-0,018875x_1x_2-0,006625x_2$	
10	$D_f=123,583+0,511x_1+0,327x_3-0,198x_1x_3-0,0205002x_2+0,0205002x_2x_3+0,00449944x_1x_2$	

Встановлено, що відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса, обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки, обробленого за один прохід методом тангенціальної подачі в 1,1...1,26 рази менше, ніж відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса, обробленого іншими черв'ячними фрезами (рис.2, рис.3).

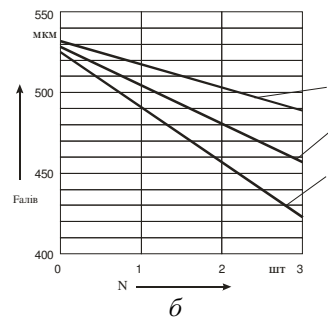
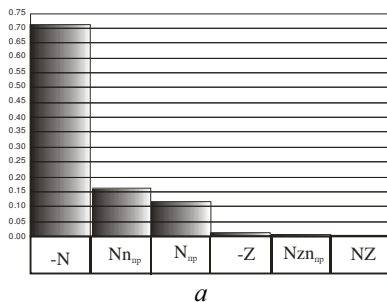


Рисунок 2. Відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса лівої сторони $F_{\text{аліє}}$, мкм: а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність $F_{\text{аліє}}$ від N та n_{np} ($Z=12$), 1 – $n_{\text{np}}=1$; 2 – $n_{\text{np}}=2$; 3 – $n_{\text{np}}=3$ проходи

Figure 2. Deviation of the output circuit of a worm-wheel of the left side F_{alief} , μm : а – degree of influence of variable factors; б – dependence of F_{alief} on N and n_{np} ($Z=12$), 1 – $n_{\text{np}}=1$; 2 – $n_{\text{np}}=2$; 3 – $n_{\text{np}}=3$ passes

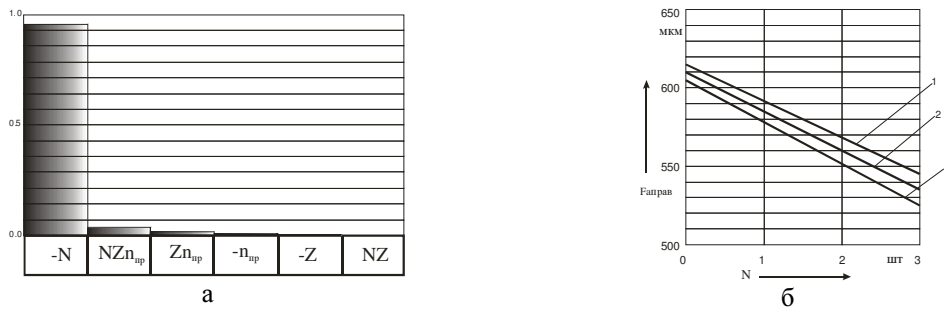


Рисунок 3. Відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса правої сторони $F_{\text{апрає}}$, мкм: а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність $F_{\text{апрає}}$ від N та Z ($n_{\text{np}}=1$); 1 – $Z=6$; 2 – $Z=9$; 3 – $Z=12$ шт

Figure 3. Deviation of the output circuit of a worm-wheel of the right side F_{ariprav} , μm : а – degree of influence of variable factors; б – dependence of F_{aright} on N and Z ($n_{\text{np}}=1$); 1 – $Z=6$; 2 – $Z=9$; 3 – $Z=12$ pieces

Виявлено суттєвий негативний вплив кількості проходів черв'ячної фрези на відхилення кроку зубів черв'ячного колеса лівої сторони при механічній обробці методом тангенціальної подачі. Певний науковий та практичний інтерес являє собою механічна обробка (рис.4б, крива 1), при якій із підвищенням кількості частин поділення по висоті профілю інструментальної рейки черв'ячної фрези відхилення кроку зубів черв'ячного колеса лівої сторони $f_{\text{рліє}}$ залишається постійною.



Рисунок 4. Відхилення кроку зубів черв'ячного колеса лівої сторони $f_{\text{рліє}}$, мкм : а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність $f_{\text{рліє}}$ від N та n_{np} ($Z=12$); 1 – $n_{\text{np}}=1$; 2 – $n_{\text{np}}=2$; 3 – $n_{\text{np}}=3$ проходи

Figure 4. Deviation in teeth pitch of a worm-wheel of the left side f_{rleft} , μm : а – degree of influence of variable factors; б – dependence of f_{rleft} on N and n_{np} ($Z=12$); 1 – $n_{\text{np}}=1$; 2 – $n_{\text{np}}=2$; 3 – $n_{\text{np}}=3$ passes

Встановлено, що відхилення кроку зубів черв'ячного колеса, обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі, в 1,3...2,1 раза менше, ніж відхилення кроку зубів черв'ячного колеса, обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Встановлено, що накопичена похибка кроку черв'ячного колеса лівої сторони $F_{рлів}$, обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі в 1,1...1,2 раза менше, ніж $F_{рлів}$ черв'ячного колеса, обробленого іншими черв'ячними фрезами (рис.5).

Виявлено суттєвий вплив взаємодії факторів ($N n_{пр}$) на накопичену похибку кроку черв'ячного колеса F_p при механічній обробці методом тангенціальної подачі. Причому, із підвищенням кількості частин поділення профілю інструментальної рейки спостерігається зменшення накопиченої похибки кроку черв'ячного колеса F_p , водночас при зменшенні кількості проходів $n_{пр}$.

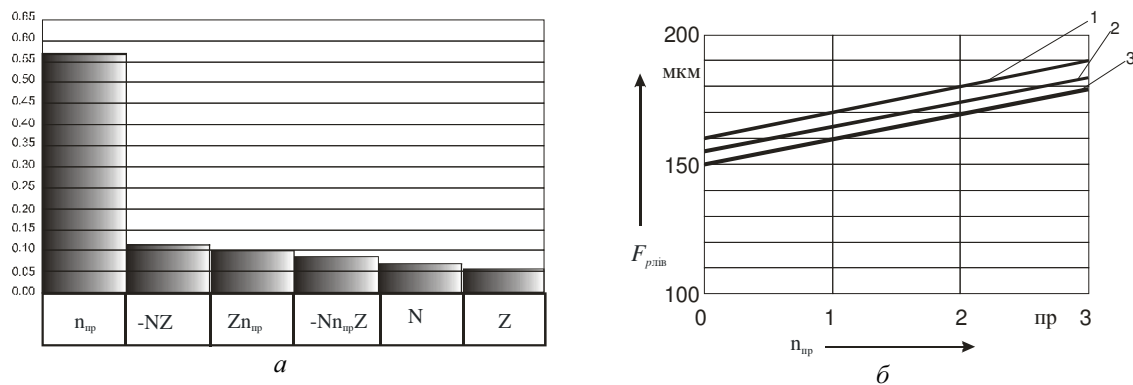


Рисунок 5. Накопичена похибка кроку черв'ячного колеса лівої сторони $F_{рлів}$, мкм: а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність $F_{рлів}$ від $n_{пр}$ та N ($Z=12$); 1 – $N=1$; 2 – $N=2$; 3 – $N=3$ частин поділення профілю

Figure 5. Accumulated error in the pitch of a worm-wheel of the left side F_{pleft} , μm : а – degree of influence of variable factors; б – dependence of F_{pleft} on $n_{пр}$ and N ($Z=12$); 1 – $N=1$; 2 – $N=2$; 3 – $N=3$ parts of profile division

Встановлено, що радіальне биття F_n черв'ячного колеса, обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі, в 1,13...1,27 раза менше, ніж F_n черв'ячного колеса обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Встановлено, що відхилення профілю зуба черв'ячного колеса f_f , обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі, в 1,15...1,3 раза менше, ніж f_f черв'ячного колеса, обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Виявлено не суттєвий негативний вплив кількості частин поділення профілю по висоті інструментальної рейки черв'ячної фрези N на діаметр впадини черв'ячного колеса D_f при механічній обробці методом тангенціальної подачі, тому що значення D_f входить у межі допуску, яке задано кресленням.

Черв'ячна фреза з поділенням по висоті профілем інструментальної рейки перед початком обробки на зубофрезерному верстаті встановлюється на міжцентрову відстань. При постійній осьовій подачі черв'ячної фрези проводиться послідовна обробка заготовки черв'ячного колеса зубцями першого, другого та третього проходу. Обробка зубцями першого проходу здійснюється від моменту дотику до оброблюваної заготовки забірною конуса до виходу цих зубців із контакту з заготовкою черв'ячного колеса. При цьому зубці першого проходу обробляють верхню третину від висоти

зубця черв'ячного колеса. Обробка зубцями другого проходу здійснюється від моменту дотику до оброблюваної заготовки цих зубців до виходу їх з контакту із заготовкою черв'ячного колеса. При цьому головки зубців другого проходу обробляють середню третину від висоти зубця черв'ячного колеса, а ніжки з профілем у формі трапеції участі в обробці не беруть. Обробка зубцями третього проходу здійснюється від моменту дотику до оброблюваної заготовки цих зубців до виходу їх з контакту із заготовкою черв'ячного колеса. При цьому головки зубців третього проходу обробляють нижню третину від висоти зубця черв'ячного колеса, а ніжки з профілем у формі трапеції участі в обробці не беруть. Після виходу зубців для третього проходу із верстатного зачеплення черв'ячна фреза – заготовка черв'ячного колеса обробка припиняється. В результаті обробки черв'ячною фрезою з поділенням по висоті профілем інструментальної рейки точність обробки черв'ячного колеса суттєво підвищується (рис.6).



а



б

Рисунок 6. Промислове випробування процесу механічної обробки черв'ячних коліс циліндричних черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка: а) експериментальне нарізування черв'ячного колеса на зубофрезерному верстаті 5K32A новим методом; б) черв'ячна фреза з поділенням по висоті профілем інструментальної рейки $t=3$ мм, $d_a=58,5$ мм

Figure 6. Industrial testing of the process of mechanical treatment of worm-wheels of cylindrical worm gears with concave profile of a worm turn: a) experimental cutting of a worm-wheel on gear-hobbing machine 5K32A using a new method; b) a worm hob with a divided profile according to the height of a tool rack $t=3$ mm, $d_a=58,5$ mm

Висновки. Виявлено позитивну залежність процесу механічної обробки черв'ячного колеса від кількості частин поділення профілю по висоті інструментальної рейки черв'ячної фрези N , що за іншими рівними умовами зі збільшенням N відбувається перерозподіл припуску між проходами та змінюється схема усунення металу із западин між зубцями колеса, яке нарізується. Внаслідок цього зменшується кількість проходів фрези n_{np} , що призводить до зменшення огранки зуба колеса, а також зменшується відхилення вихідного контуру правої та лівої сторони зуба черв'ячного колеса, що підвищує точність обробки. Також виявлено суттєвий вплив кількості зубців черв'ячної фрези на відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса при механічній обробці методом тангенціальної подачі. Встановлено, що для підвищення точності механічної обробки черв'ячного колеса кількість зубців фрези з поділенням профілем на три частини по висоті інструментальної рейки дорівнює 12.

У запропонованій конструкції черв'ячної фрези, завдяки зменшенню робочої висоти зубців для першого, другого і третього проходів скорочується довжина основи

кожного зубця, що дає можливість, не зменшуючи міцності зубців, зменшити кутовий крок зубців у торцевому перетині та утворити на тому ж зовнішньому діаметрі черв'ячної фрези більшу кількість рейок. Збільшення кількості рейок дає більшу кількість профілюючих різей, що дозволяє забезпечити підвищення точності обробки. Крім того, збільшення кількості рейок призводить до збільшення коефіцієнта торцевого покриття у верстатному зачепленні черв'ячна фреза–заготовка і дозволяє зменшити нерівномірність різання, динамічні навантаження і підвищити точність обробки.

Завдяки тому, що черв'ячна фреза з поділеним профілем по висоті на три частини інструментальної рейки одночасно містить розташовані на одній гвинтовій поверхні зубці для першого, другого та третього проходів з однаковим діаметром западин та різними зовнішніми діаметрами, обробка черв'ячного колеса здійснюється з одного встановлювання, що забезпечує підвищення точності обробки.

Conclusion. We disclosed positive dependence of the process of mechanical treatment of a worm-wheel on the quantity of parts of profile division according to the height of tool rack of the worm-hob N . Under other equable conditions if N increases there is redistribution of the allowance between passes and the change in the scheme of metal removal from caves between teeth of a wheel which is cut. As a result the quantity of passes of the hob n_{np} decreases which leads to a decrease of tooth cut of a wheel and there is also a decrease in deviation of output circuit of the right and left sides of a tooth of the worm-wheel which increases the accuracy of treatment. We have also detected a considerable influence of the quantity of teeth of a worm hob on the deviation of output circuit of a worm-wheel under mechanical treatment using the method of tangential infeed. It was stated that in order to increase the accuracy of mechanical treatment of a worm-wheel, the quantity of teeth of the hob with a divided in three parts profile according to the height of a tool rack equals 12.

The suggested construction of a worm hob has shortened length of base of every tooth due to decrease of working height of teeth of the first, second and third passes. That makes it possible to decrease the angle pitch of teeth in front crossing and to create on the same outer diameter of a worm hob more tool racks without a decrease of teeth strength. The increase of quantity of racks gives more profiling cuts which provides increase in treatment accuracy. Moreover, the increase of rack quantity leads to increase of a coefficient of front overlap in gearing for machines and lets decreasing irregularity of cutting and dynamic loading and to increase the accuracy of treatment.

A worm hob with a divided on three parts profile of a tool rack according to the height has teeth which are located on the same helix for the first, second and third passes with the same diameter of caves and different outer diameters, so the treatment of a worm-wheel is carried out with one installation which provides increase in treatment accuracy.

Список використаної літератури

1. Грицай, І.С. Прогресивний спосіб двоперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу [Текст] / І.С. Грицай // Науч. тр. – Кременчук. – 2001. – Вип.1. – С. 418 – 422.
2. Ковришкін, М.О. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка [Текст] / М.О. Ковришкін, О.І. Садченко // Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. –2008. – Вип. 1/2008(29). – С.63 – 67.
3. Ковришкин, Н.А. Инструментальное обеспечение для изготовления червячных колес червячных передач с вогнутым профилем витка [Текст] / Н.А. Ковришкин, О.И. Садченко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – Вип. 29. – С.69 – 76.
4. Пат.8493/11 України, В23 F21/ 00 Черв'ячна фреза для обробки черв'ячних коліс [Текст] / Ковришкін М.О., Садченко О.І.; Україна – № 49574; заявл. 23.11.2009; опубл.26.04.2010, Бюл. № 8.
5. Радченко, С.Г. Математичне моделювання технологічних процесів в машинобудуванні. – К.: ЗАТ «Укрспецмонтажпроект», 1998. – 274 с.

Отримано 28.11.2013