

ИЗПОЛЗВАНЕ НА СТАНДАРТИЗИРАНИ МОДУЛНИ ФРЕЗИ ЗА ПРЕДВАРИТЕЛНО И НЕСПЕЦИАЛИЗИРАНИ ФРЕЗИ ЗА ОКОНЧАТЕЛНО НАРЯЗВАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ВЪРХУ ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

USING OF STANDARDIZED MODULAR MILLING CUTTERS FOR PRELIMINARY AND NOT SPECIALIZED MILLING CUTTERS FOR FINALLY CUTTING CILINDRICAL GEARS ON MACHINING CENTERS

Хр. Метев

Технически университет – Габрово

Abstract

The paper studies the use of standardized modular milling cutters for pre-cutting and not specialized cutters for final cutting of cylindrical gears teeth on machining centers. Dependencies are obtained for determining displacement of cutters, ensuring the minimum added to the final cut of the teeth and the deviations from the nominal profile, the resulting discrepancy in the number of teeth which is profiled cutters with the number of teeth cutting wheel. It was found that the resulting tolerances do not lead to deviations in the final cut of the tooth profile and added the minimum is not provided in the gears with a large number of teeth and a large module.

Keywords: cylindrical gear teeth; machining centers; pre-cutting; standardized modular milling cutters.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

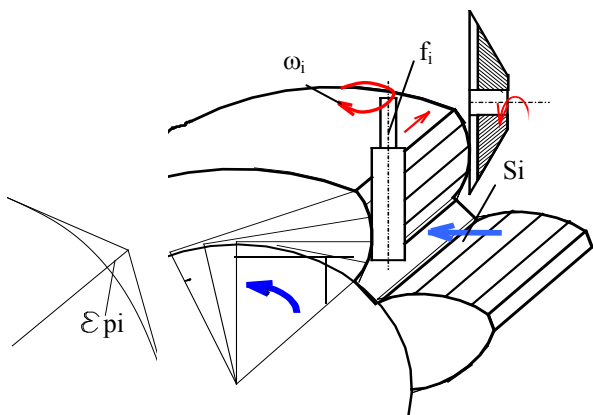
Изработване на зъбни коеле (ЗК) в предприятия нямащи специализирани машини и инструменти за зъбообработване практически е невъзможно. Поръчването на зъбообработването или изработването на ЗК в други фирми изисква допълнителни разходи на време и средства. От друга страна големите технологически възможности на металоурежещите машини с ЦПУ дават възможност да се използват и за нарязване на зъби на ЗК [2,3]. Изследванията основно са насочени към адаптиране на известните

обработващите центри. Това прави зъбонарязването върху обработващи центри икономически неизгодно за неспециализираните за зъбообработване машиностроителни фирми.

В катедра Машиностроителна техника и технологии при ТУ-Габрово са разработени методи на ниво изобретения за нарязването на зъбни коеле с еволвентен профил на зъбите с прости по конструкция неспециализирани и специализирани [1,2,3] за зъбообработване инструменти. Методите могат да се реализират и върху обработващи центри. С това зъбонарязването се очертава икономически изгодно, както в единичното и дребносериенно производство, така и в ремонтната дейност на машиностроителни фирми неспециализирани за зъбообработване.

Същността на методите се свежда до заместване на теоретичната работна повърхност на зъба с допирателни (обвиващи) повърхнини, изработвани с прости по конструкция инструменти с праволинеен профил на режещата му част (фиг.1).

Относителното положение на допирателните повърхнини по височината на зъба се получава чрез възпроизвеждане на зацепването на обработваното ЗК с произвеждащ зъбен гребен, част от зъб на който се пресъздава от праволинейния профил на инструмента и движенията на рязане. Отъркалва-



Фиг. 1. Нарязване на зъби с прости по конструкция инструменти

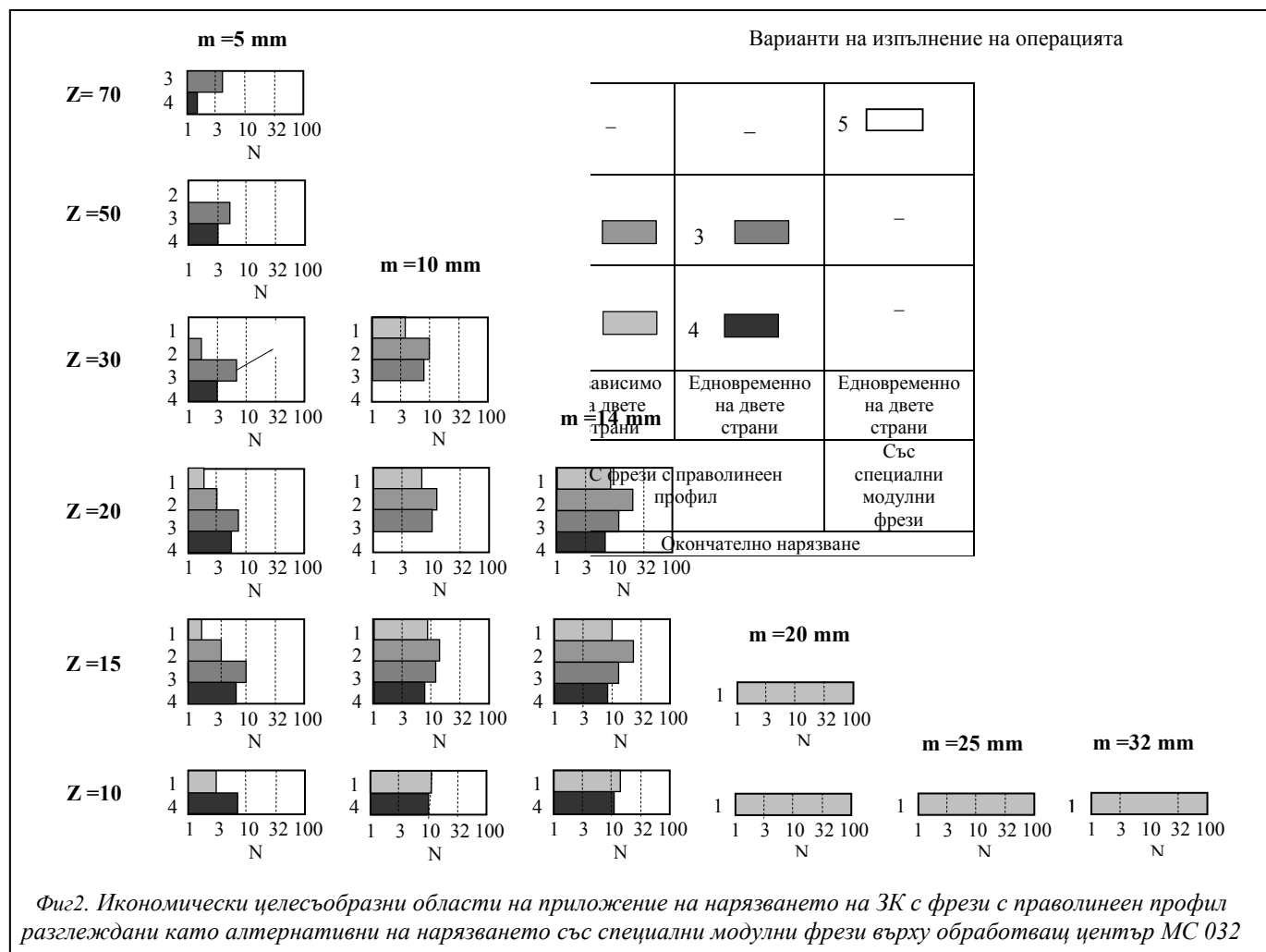
методи и специализирани за зъбообработване инструменти, към кинематиката на

нето на аксоидите на колелото и произвеждащия гребен се извършва с малка стъпка след обработване на всяка обвиваща повърхнина, поради което метода е наречен „прекъснато обхождане”.

Изследвани са: формообразуването и точностните възможности на методите при обработване на работните повърхнини на зъбите [2,3]; времето и технологическата себестойност на операцията [2,3]; обработването на петата и преходната повърхнина на междузъбието [2]. Определени са икономически целесъобразните области на приложение на методите (фиг. 2) [2,3]. Анализът на получените резултати показва, че нарязването с фрези с праволинеен профил е икономически по-ефективно при малък брой ЗК с по-големи модули и по-малък брой зъби. Минимизиране на времето за изрязването на по-голямата част от материала на междузъбието е свързано с интензифициране на режимите на рязане и с намаляване на броя на работните ходове. Това изисква обособяване на етап за предварително (грубо) нарязване на зъбите. Предварителното нарязване може да се извърши

както с фрези с праволинеен профил на режещата част (варианти 1 и 4), така и със стандартизирани модулни фрези (фрези с еволвентен профил на режещата част) (варианти 2 и 3), в случаите когато в съществувашите комплекти няма фреза профилирана за броя зъби на нарязваното ЗК. Проведените досега изследвания касаят предварителното нарязване на зъбите с фрези с праволинеен профил [1], а в [2,3] е установено, че в определени случаи [2,3], вариантите с предварително нарязване със стандартизирани модулни фрези (варианти 2 и 3) са с по-малко време (поради по-малкия брой работни ходове), по-ниска технологическа себестойност и икономически по-целесъобразни спрямо вариантите с предварително нарязване с фрези с праволинеен профил (варианти 1 и 2) (фиг. 2).

Целта на настоящата разработка е изследване на възможността за предварително нарязване на междузъбията със стандартизирани модулни фрези при зъбообработване на цилиндрични зъбни колела с използване на неспециализирани инструменти за окончателно нарязване и машини с ЦПУ.



2. ИЗЛОЖЕНИЕ

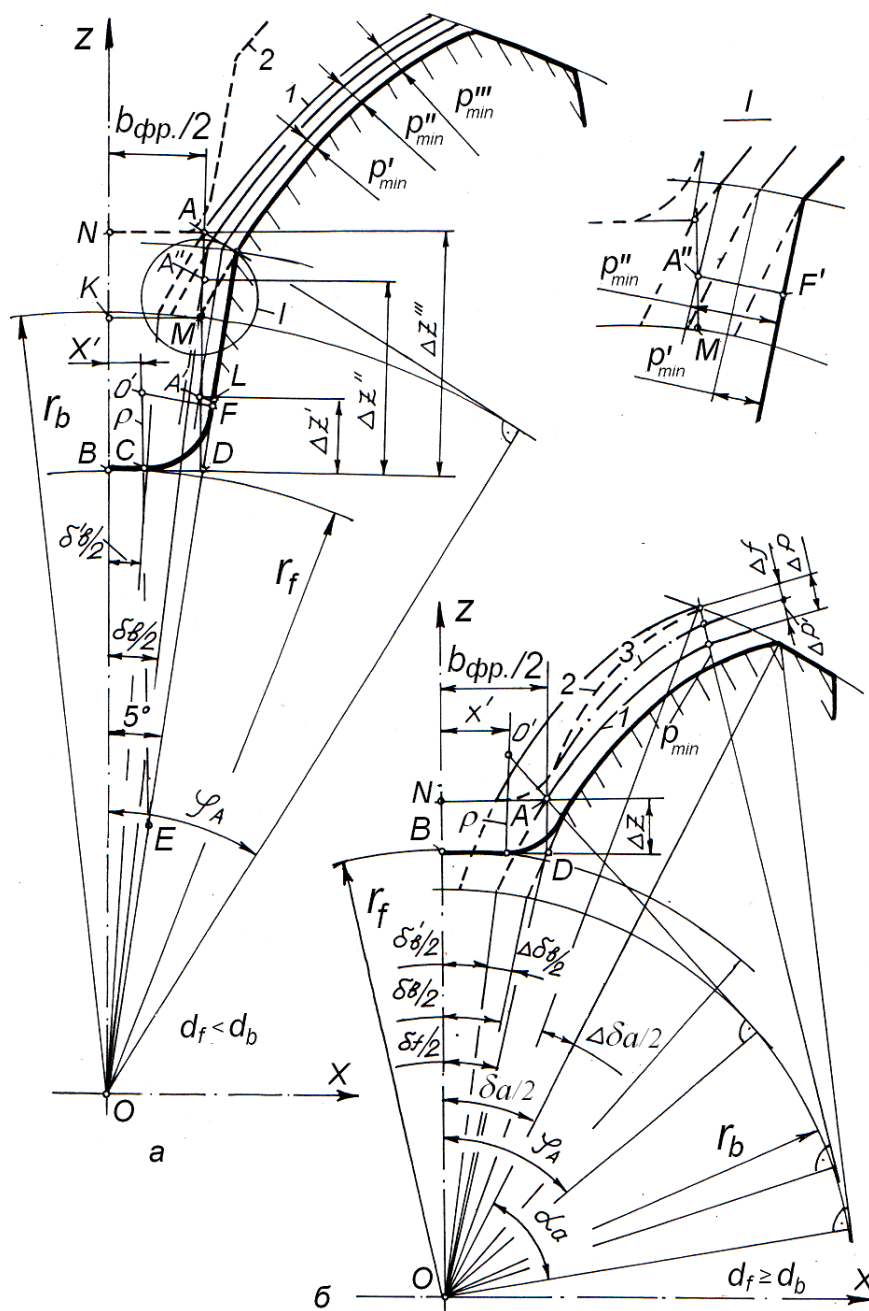
При наличие на комплект стандартизирани модулни (с еволвентен профил на режещата част) фрези сред които няма фреза профилирана за броя зъби на нарязваното ЗК, същите могат да се използват за предварително нарязване на междузъбията. Предварителното нарязване може да се извърши по две схеми: с фреза профилирана за брой зъби по-малък от броя зъби на нарязваното ЗК и с фреза профилирана за брой зъби по-

голям от броя зъби на нарязваното ЗК.

- **Предварително нарязване с фреза профилирана за брой зъби по – малък от броя зъби на нарязваното зъбно колело**

Използва се фрезата от комплекта, предназначена за интервала от брой зъби в който попада броя зъби на нарязваното ЗК.

За гарантиране на необходимата минимална прибавка по страничните повърхнини зъбите $p_{\min}$ фрезата се



Фиг. 3. Схеми за определяне на отместването Δz при предварително нарязване с модулни фрези профилирани за брой зъби по – малък от броя зъби на нарязваното зъбно колело.

установява отместена в радиално на колелото направление на разстояние Δz (фиг.3). При отместването, ако не се отчита закръглеността при върха на фрезата, крайната точка А от профила на режещата и част, формираща преходния участък на междузъбието, в зависимост от съотношението на диаметрите на петовия и основния цилиндър d_f и d_b и големината на минималната прибавка $p_{\min}$, може да се установи при нееволюентния или еволюентния участък на профила, еквилистантно отместен от номиналния на разстояние гарантиращо прибавката $p_{\min}$.

Установяването при нееволюентния участък на профила при $d_f < d_b$ се получава в следните случаи (фиг.3 а):

1) При $p_{\min} = p'_{\min}$.

Тогава $\Delta z' \leq \overline{DM} = \sqrt{r_b^2 - b_{\text{фр}}^2} / 4 - r_f$, където $b_{\text{фр}}$ е ширина на режещата част на фрезата при върховия и цилиндър.

2) При $p_{\min} = p''_{\min}$.

Тогава $\Delta z'' > \sqrt{r_b^2 - b_{\text{фр}}^2} / 4 - r_f$.

Тези случаи се получават при ЗК с малък брой зъби ($z < 17$), когато еволюентния участък от профила на зъба на колелото се изработва подрязан за осигуряване на правилно зацепване на зъбната предавка.

Като се има предвид, че при $d_f < d_b$ нееволюентния участък на профила на зъба е права, допирателна към удължената епиклоида или удължената еволвента под наклон 5° спрямо симетралата на междузъбието [5], отместванията $\Delta z'$ и $\Delta z''$ се определят с помощта на зависимостите:

$$\Delta z' = \overline{A'D} = \overline{A'F} / \sin 5^\circ = p'_{\min} / \sin 5^\circ = 11,47 p'_{\min}$$

$$\text{и } \Delta z'' = \overline{A''D} = \overline{A''F} / \sin 5^\circ = p''_{\min} / \sin 5^\circ = 11,47 p''_{\min}.$$

При $d_f < d_b$ и $p_{\min} = p'''_{\min}$ и при $d_f \geq d_b$ (фиг.3б), точката А се установява при еволюентния участък на профила. В тези случаи отместването Δz (при $d_f < d_b$ $\Delta z = \Delta z'''$) е:

$$\Delta z = \overline{ON} - \overline{OB}, \quad (1)$$

където $\overline{OB} = r_f$, а отсечката $\overline{ON}$ е равна на координатата z_A от еквилистантно отместения от номиналния еволвентен профил.

За определяне на z_A се изхожда от параметричното уравнение на еволвентата:

$$x_A = r_b \left[\cos \varphi_A + \left(\varphi_A - \delta_b' / 2 \right) \sin \varphi_A \right], \quad (2)$$

$$z_A = r_b \left[\sin \varphi_A - \left(\varphi_A - \delta_b' / 2 \right) \cos \varphi_A \right], \quad (3)$$

$$\text{където } \frac{\delta_b'}{2} = \frac{\delta_b}{2} - \frac{p_{\min}}{r_b}; \quad x_A = \frac{b_{\text{фр}}}{2}.$$

В (3) ъгълът φ_A се определя от (2), като за целта $\sin \varphi_A$ и $\cos \varphi_A$ се разлагат в ред на Маклорен до първите два члена:

$$\sin \varphi_A \approx \varphi_A - \varphi_A^3 / 6, \quad (4)$$

$$\cos \varphi_A \approx 1 - \varphi_A^2 / 2. \quad (5)$$

Замествайки (4) и (5) в (2) след преобразувания се получава уравнението:

$$\varphi_A^3 - 0,75 \delta_b' \varphi_A^2 + 1,5 \delta_b' - 1,5 \frac{b_{\text{фр}}}{r_b} = 0.$$

Коренът на уравнението определящ φ_A е:

$$\varphi_A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \frac{\delta_b'}{4}, \quad (6)$$

$$\text{където } p = -\frac{3\delta_b'^2}{16}; \quad q = \frac{\delta_b'^2}{24} + \frac{3\delta_b'}{2} - \frac{1,5b_{\text{фр}}}{r_b}.$$

При $d_f < d_b$ за избор на зависимостта която трябва да се използва за изчисляване на Δz , въз основа на гореизложеното, трябва да се използва подхода:

1) При $p_{\min} \leq 0,087(\sqrt{r_b^2 - b_{\text{фр}}^2} / 4 - r_f)$, инструмента се установява при нееволюентния участък от профила и $\Delta z = \Delta z' = 11,47 p_{\min}$;

2) При $p_{\min} > 0,087(\sqrt{r_b^2 - b_{\text{фр}}^2} / 4 - r_f)$, се изчислява $\Delta z_{\text{изч.}}$ по зависимост (1), след което:

- ако $\Delta z_{\text{изч.}} \geq 11,47 p_{\min}$, инструмента се установява при нееволюентния участък от профила и $\Delta z = \Delta z' = 11,47 p_{\min}$;

- ако $\Delta z_{\text{изч.}} < 11,47 p_{\min}$, инструмента се установява при еволюентния участък от профила и $\Delta z = \Delta z''' = \Delta z_{\text{изч.}}$ (зависимост (1)).

В резултат на отместеното положение на фрезата, профилите на страните на нарязаните междузъбия ще имат форма 2 при нарязване с фреза точно профилирана за броя зъби на нарязваното ЗК и 3 – с фреза профилирана за брой зъби по-малък от броя зъби на нарязваното ЗК (фиг. 3б). Тези профили се получават с отклонения съответно Δp и $\Delta p'$ от еквилистантните на номиналите еволвентни профили.

С помощта на фиг. 3б може да се запише:

$$\Delta p = r_b \left(\frac{\Delta \delta_a}{2} - \frac{\Delta \delta_b}{2} \right) \quad (7)$$

$$\text{и } \Delta p' = \Delta p - \Delta f = r_b \left(\frac{\Delta \delta_a}{2} - \frac{\Delta \delta_b}{2} \right) - \Delta f, \quad (8)$$

където $\Delta \delta_a$ и $\Delta \delta_b$ са изменения на ъглите определящи ширината на междузъбията съответно при върховия и основния цилиндър; Δf – отклонение на профила 3 от профила 2, получаващо се в резултат на несъответствие на броя зъби на нарязваното ЗК с броя зъби за които е профилирана фрезата.

Ъгълът $\Delta \delta_a/2$ и отклонението Δf се определят със зависимостите [6]:

$$\frac{\Delta \delta_a}{2} = \frac{\Delta z}{r_b} \sin \left(\frac{\delta_a}{2} + \alpha_a \right); \quad (9)$$

$$\Delta f = m(\Delta z_1 - \Delta z_2), \quad (10)$$

където Δz_1 и Δz_2 са коефициенти които се вземат от таблица [6] в зависимост от броя зъби на нарязваното ЗК и ЗК за което е профилирана фрезата.

Замествайки (9) в (7), (9) и (10) в (8) и отчитайки, че

$$r_b \frac{\Delta \delta_b}{2} = p_{\min}, \text{ за } \Delta p \text{ и } \Delta p' \text{ се получава:}$$

$$\Delta p = \Delta z \sin \left(\frac{\delta_a}{2} + \alpha_a \right) - p_{\min}$$

$$\text{и } \Delta p' = \Delta z \sin \left(\frac{\delta_a}{2} + \alpha_a \right) - p_{\min} - m(\Delta z_1 - \Delta z_2).$$

Максималната прибавка се получава при върха на зъба и за профили 2 и 3 е съответно:

$$p_{\max} = p_{\min} + \Delta p = \Delta z \sin \left(\frac{\delta_a}{2} + \alpha_a \right) \text{ и}$$

$$p_{\max}' = p_{\min} + \Delta p' = \Delta z \sin \left(\frac{\delta_a}{2} + \alpha_a \right) - m(\Delta z_1 - \Delta z_2)$$

С изведените зависимости е необходимо да се направят проверки за спазване на условията $\Delta f < p_{\max}$ и $\Delta f \leq \Delta p$. При неспазване само на второто условие не може да се осигури необходимата минимална прибавка $p_{\min}$ по цялата височина на зъба, а при неспазване и на първото условие освен неосигуряването на $p_{\min}$ се внася отклонение в окончателно нарязвания профил на зъба. В тези случаи е необходимо завишаване на изчисленото отместване Δz .

В табл. 1 са дадени изчислените стойности на Δz , Δf , Δp , $\Delta p'$, $p_{\max}$ и $p_{\max}'$ при предварително нарязване на междузъбия с фре-

зи от стандартизиран комплект 8 модулни фрези (БДС 3122 – 70) на ЗК с модули $m = 6, 10$ и 14 mm и брой зъби $z = 16, 20, 25, 34, 54$ и 100 . Модулите m са подбрани от обстоятелството, че произвежданите стандартизирани комплекти фрези са за модули $m \leq 14 \text{ mm}$. За да се провери осигуряването на условията $\Delta f < p_{\max}$ и $\Delta f \leq \Delta p$ за брой на зъбите z са подбрани стойности при които се получават максимални отклонения Δf т.е. отговарящи на горната граница на интервала, който се обслужва от съответния номер фреза в комплекта (с изключение на $z = 100$).

Анализът на резултатите в табл.1 показва следното:

1. Отместването Δz за осигуряване на необходимата минимална прибавка $p_{\min}$ по страничните повърхнини на зъбите води до:

- оставяне на прибавка по основите на междузъбията за отстраняването на която е необходим допълнителен преход и нарастване на прибавката по страничните повърхнини от основата към върха на зъба;

- прибавките по основите и страничните повърхнини нарастват с намаляване на z и нарастване на m .

2. Отклоненията Δf не водят до отклонение в окончателно нарязвания профил на зъба т. е. условието $\Delta f < p_{\max}$ е спазено, а необходимата минимална прибавка т. е. условието $\Delta f \leq \Delta p$ не се осигурява при ЗК с голям брой зъби ($z = 100$) и голям модул ($m = 10$ и 14 mm), където ще е необходимо завишаване на отместването Δz .

• Предварително нарязване с фрези профилирани за брой зъби по – голям от броя зъби на нарязваното ЗК

Тази схема отстранява необходимостта от допълнителен преход за формиране на основите на междузъбията, но не осигурява прибавка по цялата странична повърхнина на зъбите. Прибавката се изменя от нула при делителния цилиндър до максимална стойност $p_{\max} = \Delta f$ (фиг. 4).

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предварителното нарязване на зъбите със стандартизирани модулни фрези, в случаите когато в комплекта няма фреза профилирана за броя зъби на нарязваното ЗК, може да се извърши с фреза, профилирана

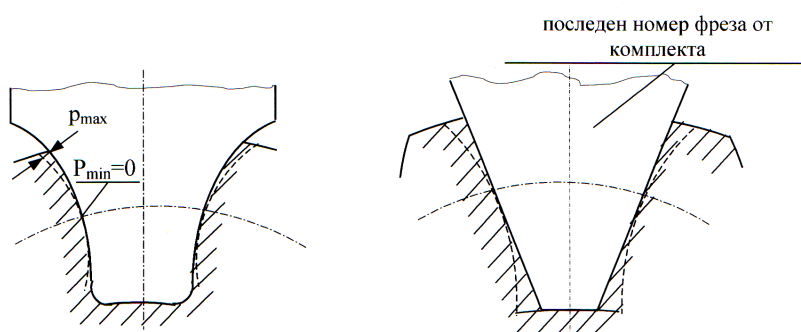
за брой зъби по-малък или по-голям от броя зъби на нарязваното ЗК.

2. Получени и анализирани са зависимости за определяне отместването на фре-

зата за предварително нарязване, гарантиращо необходимата минимална прибавка за окончателно нарязване по страничните повърхнини на зъбите.

Таблица 1

m	z	p_{min} , mm [4]	Δz , mm	Δf , mm	Δp , mm	$\Delta p'$, mm	p_{max} , mm	p'_{max} , mm
6	16	0,4	4,589	0,210	2,699	2,489	3,099	2,889
	20	0,4	4,143	0,228	2,180	1,952	2,580	2,352
	25	0,4	3,980	0,192	1,894	1,702	2,294	2,102
	34	0,5	4,264	0,234	1,731	1,497	2,231	1,997
	54	0,6	2,592	0,294	0,599	0,305	1,199	0,905
	100	0,7	2,345	0,204	0,263	0,059	0,963	0,759
10	16	0,6	6,884	0,350	4,049	3,699	4,649	4,299
	20	0,6	6,435	0,380	3,407	3,027	4,007	3,627
	25	0,7	6,785	0,320	3,212	2,892	3,912	3,592
	34	0,7	6,661	0,390	2,759	2,369	3,459	3,069
	54	0,7	3,148	0,490	0,757	0,267	1,457	0,967
	100	0,8	2,635	0,340	0,281	-0,059	1,081	0,741
14	16	0,8	9,179	0,490	5,400	4,910	6,200	5,710
	20	0,9	10,326	0,532	5,530	4,998	6,430	5,898
	25	0,9	10,326	0,448	5,944	5,496	6,844	6,396
	34	0,9	8,949	0,546	3,782	3,236	4,682	4,136
	54	1,0	4,488	0,686	1,077	0,391	2,077	1,391
	100	1,1	3,705	0,476	0,421	-0,055	1,521	1,045



Фиг. 4. Предварително нарязване с модулни фрези профилирани за брой зъби по – голям от броя зъби на нарязваното зъбно колело

3. Установено е, че при предварителното нарязване с фрези, профилирани за брой зъби по-малък от броя зъби на нарязваното ЗК, отклоненията от еквиливантните на номиналните еволвентни профили не водят до отклонение в окончателно нарязвания профил, а необходимата минимална прибавка не се осигурява при ЗК с голям брой зъби и голям модул.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Динев С. Междузъбия и инструменти при грубо нарязване на цилиндрични зъбни колела върху обработващи центри. МНК АМТЕСН'07, т.1, Габрово, 2007. с. 285-290.

- [2] Метев Х. Ц. Нарязване на зъби на цилиндрични зъбни колела върху неспециализирани машини с ЦПУ (дисетационен труд). Габрово, 2003.
- [3] Пангелов И. Н., Метев Х. Ц., Куманов И. В., Динев С. Д. Нарязване на зъби на ЗК върху обработващи центри. Известия на ТУ-Габрово, т.30, 2004, с.121-134.
- [4] Справочник на технолога по механична обработка, т. 1 Под ред на С. Пашов. Техника, София, 1989.
- [5] Събчев П. М. Металорежещи инструменти. Техника, София, 1982.
- [6] Яхин А. Б., Ефимов В. П. Технология приборостроения. Оборонгиз., М, 1955.