

АНАЛИЗ И КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИТЕ ЗА НАРЯЗВАНЕ НА ЗЪБИ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ВЪРХУ ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

Ралица Тодорова, Христо Метев*, Христо Якимов

*Технически университет – Габрово, България
кореспондиращ автор: hmetev@tugab.bg*

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF METHODS FOR CUTTING TEETH ON CYLINDRICAL GEARS ON MACHINING CENTERS

Ralitsa Todorova, Hristo Metev*, Hristo Yakimov

*Technical University of Gabrovo, Bulgaria
Corresponding author: hmetev@tugab.bg*

Abstract

The report presents a comparative analysis of the technological capabilities and areas of application of the existing and described in the literature methods for cutting teeth on cylindrical gears on machining centers. As a result of the analysis, the classification criteria were defined, classification groups were identified and a classification table of cutting methods was proposed. The technical and economic feasibility of applying the methods on machining centers with non-specialized tools for gear cutting is substantiated.

Keywords: cylindrical gear teeth; machining centers; non-gear cutting tools; classification; areas of application.

ВЪВЕДЕНИЕ

Една от основните тенденции в развитието на производството на зъбни колела през последните десетилетия е прилагането на цифрово програмно управление в зъбообработващите машини. В развитите страни се забелязва повсеместна смяна на конвенционалните зъбообработващи машини със CNC зъбообработващи машини за автоматизация на нарязването на зъбни колела, особено в условията на дребносерийно производство, както и до разработването на нови прогресивни методи за нарязване, различаващи се от известните досега, използвани при конвенционалните металорежещи машини.

Зъбообработващите CNC машини по-

ради предимства им спрямо конвенционалните зъбообработващи машини и преди всичко тяхната гъвкавост, са най-удачни за прилагане в условията на дребносерийно производство. Техен недостатък е, че те са специализирани машини, предназначени за определен тип детайли - зъбни колела, като нарязването на зъбите се извършва по метода на центроидното обхождане с използването на зъбообработващи инструменти.

Развитието и навлизането в производството на CNC обработващи центри, както и широките им технологически възможности, поставя задачата за използването им в зъбообработването [1-12]. Изследванията са насочени основно към адаптиране на известните методи и

специализирани за зъбообработване инструменти към кинематиката на обработващите центри [1], [10-12]. Това прави зъбонарязването върху тези машини икономически неизгодно за условията на единичното и дребносерийното производство, както и в ремонтната дейност на неспециализираните за зъбообработване машиностроителни фирми. Поради тази причина през последните години се забелязва тенденция към разработването на нови методи, позволяващи нарязването на зъбите да се извършва с незъбообработващи инструменти [9-12].

Целта на настоящата работа е да се проведе анализ на възможностите, областите на приложение и класификация на методите за нарязване на зъби на цилиндрични зъбни колела върху обработващи центри.

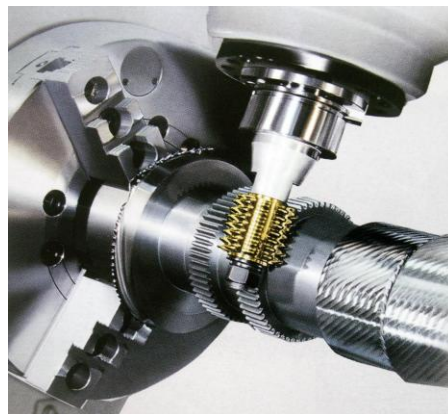
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА НАРЯЗВАНЕ НА ЗЪБИТЕ ВЪРХУ ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

В световната практика обработващите центри намират слабо приложение в областта на зъбонарязването за разлика от зъбообработващите машини, като съществуват две основни направления:

1. Нарязване по известните методи със зъбообработващи инструменти;
2. Нарязване с незъбообработващи инструменти.

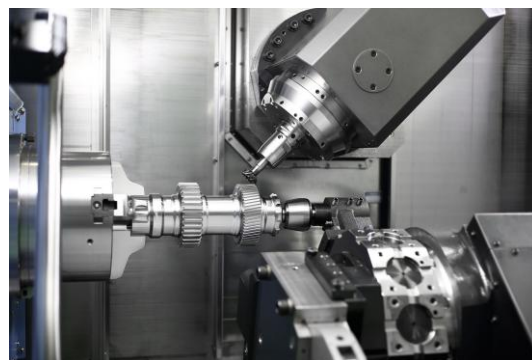
При първото направление еволвентният профил на зъбите може да се формообразува по метода на копирането, използвайки дискови или палцови модулни фрези или по метода на центроидното обхождане, чрез:

- червячна модулна фреза върху стругови обработващи центри, при вертикална ос на инструменталното вретено (фиг. 1) [1];



Фиг. 1. Нарязване на зъби на цилиндрично зъбно колело с червячна модулна фреза върху стругов обработващ център [1]

- зъбостругов инструмент върху стругови обработващи центри по метода зъбоструговане, при кръстосани оси на инструмента и нарязваното зъбно колело (фиг. 2) [2 - 3];

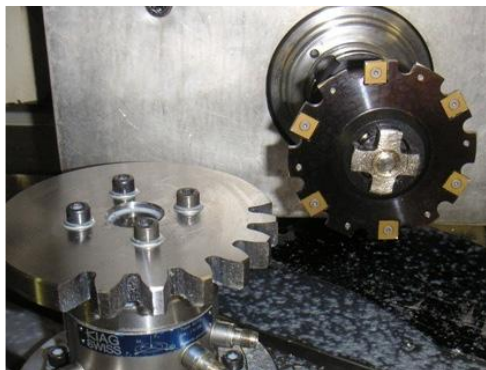


Фиг. 2. Нарязване на зъби на цилиндрично зъбно колело върху стругов обработващ център по метода зъбоструговане [2 - 3]

- дискови специализирани за зъбонарязване фрези с подаване тангенциално на основния цилиндър и съгласуване на скоростите на тангенциалното подаване и ъгловата скорост на нарязваното зъбно колело (фиг. 3) [4 - 7].

При последният метод двете страни на междузъбията се нарязват независимо едно от друго което прави инструмента универсален, позволяващ нарязване на зъбни колела с различни модули, ъгли на профила на изходният инструментален

контур, брой и дебелина на зъбите, да се избегне подрязването в основата на зъба и да се осигури възможност за нарязване на зъбни колела с модифицирани и асиметрични профили.



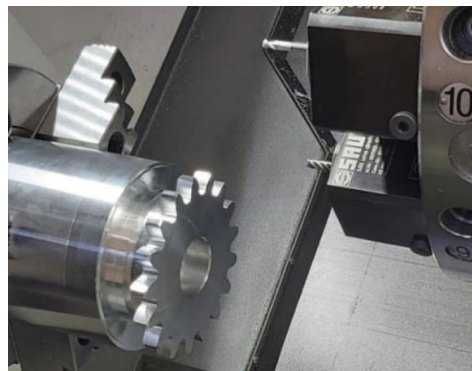
Фиг. 3. Нарязване на зъби на цилиндрично зъбно колело с дискова специализирана за зъбонарязване фреза [4 - 6]

Нарязването на зъбите по известните методи върху обработващи центри не отстранява необходимостта от зъбообработващи инструменти, ето защо в условията на единично и дребносерийно производства се търсят възможности нарязването да се извършва с прости по конструкция незъбообработващи инструменти.

В [9] е разработен и изследван метод, при който нарязването се извършва на CNC фрезови машини с палцова фреза, оста на която е успоредна на направлението на зъба при едно формообразуващо движение на инструмента или заготовката чрез контурно обхождане на еволвентния профил (фиг. 4). Методът се реализира с помоща на алгоритъм за апроксимация на еволвентната крива, използвайки параметричното и уравнение.

Разработеният алгоритъм осигурява висока точност на профила. Недостатък на метода е че, същия е приложим само за зъбни колела с прави зъби и когато междузъбието е достатъчно широко за да позволи установяването на достатъчно стабилен инструмент по максимално допустим диаметър. Нарязването се извършва без подаване на инструмента по направление на надлъжната

линия на зъба, поради което могат да се нарязват зъби с широчина по-малка от дължината на режещата част на инструмента.



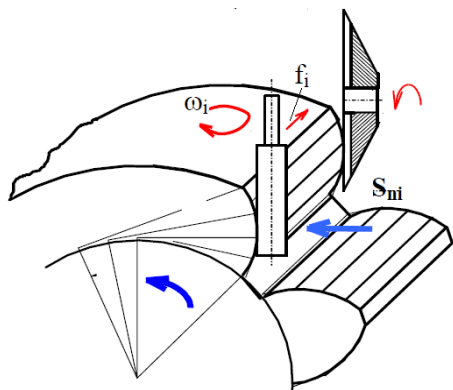
Фиг. 4. Нарязване на зъби на цилиндрично зъбно колело с палцова фреза чрез контурно обхождане [9]

При машини с програмно управляема въртяща се маса, нарязването на зъбите може да се извърши лесно и бързо без да е необходимо аналитично описание на еволвентната крива.

Възможно е да се приложи метода описан в [4-6] (фиг. 3), като се използва незъбообработваща фреза, ако машината позволява съгласуване на скоростите на движенията на инструмента и заготовката. Ако не съществува тази възможност нарязването може да се извърши чрез съгласуване на преместванията на инструмента и заготовката изпълнявани преди стружкоотделянето (фиг. 5) [10-12].

Теоретичната еволвентна повърхнина на зъба в този случай се обвива с допирателни повърхнини, изработвани с прости по конструкция палцови и дискови фрези. Относителното положение на допирателните повърхнини по височината на зъба се получава чрез възпроизвеждане на прекъснато обгъркване на обработваното зъбно колело с произвеждащ зъбен гребен, част от зъба на който се пресъздава от праволинейния профил на инструмента и подавателното му движение f_i . Подавателното движение f_i може да се извършва както по образуващата линия на зъба, така и по надлъжната

та му линия при нарязване на винтови зъби.



Фиг. 5. Нарязване на зъби на цилиндрично зъбно колело с дискова или палцова фреза чрез съгласувани премествания на инструмента и заготовката [12]

КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИТЕ ЗА НАРЯЗВАНЕ НА ЗЪБИТЕ

Анализът на описаните в литературата методи, показва, че основните признаци които ги характеризират са: начин на формиране на еволвентният профил и на еволвентната повърхнина; съвкупността от абсолютните главни движения извършвани от инструмента и заготовката; специализацията на режещия инструмент; начина на нарязване на двете страни и на едноименните страни на междузъбията. Въз основа на това и като се отчитат факторите характеризиращи методите за нарязване, могат да се обособят шест класификационни признака за класифициране на методите, въз основа на които се получават следните класификационни групи:

А. Начин на формиране на еволвентния профил.

А.1. Чрез копиране профила на инструменталната повърхнина.

А.2. Като обвивна крива на последователните положения на режещите зъби на инструмента или на траекторията им, осъществявани чрез:

А.2.1. Съгласуване на следните движения:

А.2.1.1. Въртеливи на инструмента и заготовката (зъбофрезозване с червячна модулна фреза, зъбоструговане);

А.2.1.2. Въртеливо на заготовката и постъпателно на инструмента или заготовката в направление тангенциално на зъбното колело (фрезозване с дискова фреза);

А.2.1.3. Въртеливо на заготовката и постъпателно на инструмента или заготовката в направление радиално на зъбното колело (фрезозване с палцова фреза);

А.2.2. Съгласувани въртеливо преместване на заготовката и постъпателно на инструмента или заготовката в направление тангенциално на зъбното колело (фрезозване с дискова или с палцова фреза);

А.2.3. Контурно обхождане (фрезозване с палцова фреза);

Б. Начин на формиране на еволвентната повърхнина.

Б.1. Чрез относителни движения на инструмента по надлъжните линии на зъба, при съгласувани въртеливо движение на заготовката и постъпателно в направление съвпадащо с оста и;

Б.2. Чрез подавателни движения на инструмента или заготовката в направления съвпадащи с образуващите прави на еволвентната повърхнина;

Б.3. Без движения на инструмента по надлъжните линии или образуващите прави на еволвентната повърхнина.

В. Според специализацията на режещият инструмент.

В.1. Зъбообработващ (червячна модулна фреза, зъбостругов инструмент, дискова или палцова модулна фреза, дискова зъбообработваща фреза).

В.2. Незъбообработващ (дискова или палцова фреза).

Г. Вид на главното движение на рязане.

Г.1. Въртеливо на инструмента (фрезозване).

Г.2 Относително плъзгане между инструмента и заготовката (зъбоструговане).

Д. Начин на нарязване на двете страни на междузъбието.

Д.1. Едновременно.

Д.2. Последователно (независимо едно от друго).

Е. Начин на нарязване на едноименните страни на междузъбията.

Е.1. Едновременно на няколко страни от междузъбията.

Е.2. Последователно.

Въз основа на дефинираните класификационните признаци е предложена класификационна таблица (табл.1).

С помощта на табл. 1, в зависимост от значенията които могат да заемат отделните признаци и възможно осъществимите им комбинации могат да се разкрият и други методи за нарязване освен описаните в литературата.

Табл. 1. Класификационна таблица на методите за нарязване на зъби на цилиндрични зъбни колела върху обработващи центри

Вид на режещия инструмент и на главното движение на рязане		В1 (зъбообработ- B2 (незъбообра-)	Г2 Г1	А. Начин на формиране на еволвентния профил												Е	Д	Начин на нарязване на двете страни и на едноименните страни на междузъбията		
				А1	А2															
					А2.1									А2.2					А2.3	
					А2.1.1			А2.1.2			А2.1.3									
					2															
																E2				
																E1	D2			
																E2				
1	3															E1	D1			
																E2				
																E1	D2			
							4						7	9		E2				
																E1	D1			
																E2				
																E1	D2			
																E2				
																E1	D1			
																E2				
																E1	D2			
							5					6	8	10		11	E2			
		Б1	Б1	Б2	Б3	Б1	Б2	Б3	Б1	Б2	Б3	Б1	Б2	Б3	Б3					
Б. Начин на формиране на еволвентната повърхнина																				
1 - фрезозане с дискови и палцови модулни фрези; 2 - зъбоструговане; 3 - фрезозане с червячна модулна фреза; 4 - фрезозане с дискова зъбообработваща фреза с подаване тангенциално на основния цилиндър и съгласуване на скоростите на тангенциалното подаване и ъгловата скорост на нарязваното зъбно колело; 5 - фрезозане с дискова незъбообработваща фреза с подаване тангенциално на основния цилиндър и съгласуване на скоростите на тангенциалното подаване и ъгловата скорост на нарязваното зъбно колело; 6 - фрезозане с палцова незъбообработваща фреза при въртливо движение на заготовката и постъпателно в направление радиално на зъбното колело; 7 - фрезозане с дискова зъбообработваща фреза при съгласувани премествания на заготовката (въртливо) и на инструмента или заготовката (постъпателно) в направление тангенциално на зъбното колело и движение по надлъжните линии на зъба; 8 - фрезозане с дискова или палцова незъбообработваща фреза при съгласувани премествания на заготовката (въртливо) и на инструмента или заготовката (постъпателно) в направление тангенциално на зъбното колело и движение по надлъжните линии на зъба; 9 - фрезозане с дискова зъбообработваща фреза при съгласувани премествания на заготовката (въртливо) и на инструмента или заготовката (постъпателно) в направление тангенциално на зъбното колело и движения по образуващите прави на повърхнината; 10 - фрезозане с дискова или палцова незъбообработваща фреза при съгласувани премествания на заготовката (въртливо) и на инструмента или заготовката (постъпателно) в направление тангенциално на зъбното колело и движения по образуващите прави на повърхнината; 11 - контурно фрезозане с палцова фреза.																				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен е анализ на възможностите и областите на приложение на методите за нарязване на зъби на цилиндрични зъбни колела върху обработващи центри.

2. Дефинирани са основните класификационни признаци и на тяхна основа са обособени класификационни групи на методите за нарязване.

3. Предложена е класификационна таблица, която дава възможност за разработване на нови методи за нарязване на зъби на цилиндрични зъбни колела върху обработващи центри.

4. Нарязването на зъбни колела върху обработващи центри с незъбообработващи инструменти ще доведе до разширяване на технологическите им възможности и отстраняване на недостатъците на известните в практиката методи за зъбонарязване.

5. Засага обработващите центри намират слабо приложение в областта на зъбонарязването, особено с използването на незъбообработващи инструменти, а информацията за технико-икономическите им показатели е оскъдна.

Докладът се публикува във връзка с резултатите от изпълнение на дейностите по проект № НИП2025-18/25.02.2025г. „Иновативни технологии и инструментална екипировка в машиностроенето“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Угринов П. Обработване на многостени върху стругови машини с ЦПУ- струговане вместо фрезование. Инженеринг ревю, 2016, бр.2, с. 92-100.//Ugrinov P. Machining polyhedra on CNC lathes - turning instead of milling. Engineering review, 2016, 2, p. 92-100.
- [2] Trong-Thuan Luu, Thi Thanh-Hai Tran, Yu-Ren Wu., A novel cutter design method to enhance adaptability and accuracy in CNC gear skiving process. Mechanism and Machine Theory 208 (2025). 105956.
- [3] Якимов Х. Обработване на зъбни профили върху машини с ЦПУ. Дисертация за

придобиване на образователна и научна степен „доктор“, Габрово, 2023.// Yakimov H. Processing of tooth profiles on CNC machines. Dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "doctor", Gabrovo, 2023.

- [4] Pasternak S., Danylchenko Yu., Cutting forces in gear machining by disk milling cutters. Mechanics and Advanced Technologies #1 (82), 2018.
- [5] Pasternak S., Danylchenko Yu., M. Storchak M., Okhrimenko Ol. Gear Cutting with Disk-Shaped Milling Cutters. Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design, 2022, p. 151-178.
- [6] Heisel, U., Pasternak, S., Storchak, M. Stehle, T. Jede Verzahnung mit einem Werkzeug herstellbar. In: – die Maschine.2009. - 5, p. 44 – 45.
- [7] Сергеевна О. Разработка сборных дисковых фрез с кинематическим обкаточным движением для обработки зубчатых колес крупного модуля на станках с ЧПУ. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2011. // Sergeevna O. Development of disk-type milling cutters with kinematic crawling motion for machining large-modules gears on CNC machines. Dissertation for the acquisition of the scientific degree "candidate of technical sciences ", Moskva, 2011.
- [8] Wermeister G., Scherbarth S., Neuer Weg zu präzisen Verzahnungen. WB Werkstatt und Betrieb. (2011) 12, 54–55.
- [9] Gołbski R., Boral P. Experimental Method of Machining Gears with an Involute Profile Using CNC Lathe with Driven Tools. Materials 2022, 15, 1077.
- [10] Gołbski R., Boral P. Study of Machining of Gears with Regular and Modified Outline Using CNC Machine Tools. Materials 2021, 14, 2913.
- [11] Gołbski R., Ivandic Ž. Analysis of Modification of Spur Gear Profile. Tehnički vjesnik 25, 2(2018), p. 643-648.
- [12] Пангелов И., Метев Х., Куманов И., Динев С. Нарязване на зъби на зъбни колела върху обработващи центри. Известия на ТУ-Габрово. 2004. т. 30. с. 121-134.//Pangelov I., Metev H., Kumanov I., Dinev S. Cutting gear teeth on machining centers. Journal of TU-Gabrovo. 2004. 30, p. 121-134.