

СТАНОВИЩЕ

**на дисертационен труд
за придобиване на образователната и научна степен „доктор” в**

**област на висше образование – 5. Технически науки
професионално направление – 5.1 Машинно инженерство
докторска програма – Металорежещи машини и системи**

Автор: маг. инж. Христо Христов Якимов

Тема: Обработване на зъбни профили върху машини с цифрово програмно управление

Член на научното жури: проф. д-р инж. Ирина Стефанова Александрова

1. Тема и актуалност на дисертационния труд

Развитието на съвременното машиностроене е тясно свързано с използване на технологични машини с висока гъвкавост, реализирана чрез системи за цифрово програмно управление (ЦПУ). Навлизането в производството на стругово-фрезови обработващи центри с ЦПУ поставя задачата да се търсят методи и средства за обработването и на зъбни профили (еволвентни, нееволвентни, шлицеви и др.) върху тези машини.

Обработването на зъбни профили чрез конвенционални методи, като зъбофрезозане с червячни модулни фрези и зъбодълбане със зъбодълбачни колела и зъбодълбачни гребени, не е достатъчно ефективно или е неприложимо в повечето случаи. Тези методи осигуряват изискванията към качествените параметри на обработените повърхнини, но изискват използване на специализирано оборудване със сложно пренастройване и с малка гъвкавост. Те се характеризират с високи разходи, сравнително ниска производителност и невъзможност за концентрация на операциите. Посочените недостатъци се избягват при обработване на зъбни профили чрез зъбоструговане върху металорежещи машини с ЦПУ. Възможността с един инструмент с определен модул да се нарязват както вътрешни, така и външни зъби с различен ъгъл на наклона прави зъбоструговането перспективен и актуален метод, отговарящ на всички изисквания в машиностроенето.

Настоящият дисертационен труд е посветен на технологични задачи, свързани с приложението на метода зъбоструговане при обработване на зъбни профили върху стругово-фрезови обработващи центри с ЦПУ. Реализиран е нов вариант на кинематиката на процеса при нарязване на наклонени зъби, при който подаването е по направление на зъба, не се налага корекция в ъгловата скорост и се използва зъбостругов инструмент, профилиран в съответствие с профила на обработваната повърхнина. Разгледани са въпроси, свързани с програмиране на оборудването, профилиране на инструментите, избор на технологични режими и оптимизация на качествени параметри на обработените зъбни колела при приложението на метода.

Всичко това ми дава основание да считам, че разработеният дисертационен труд е актуален както в научен, така и в научно-приложен аспект и спомага за решаването на характерни проблеми при обработване на зъбни профили.

2. Методика на изследване

За постигане на целта и задачите на дисертационния труд са използвани съвременни методи и технически средства за проектиране, симулиционни и експериментални изследвания, моделиране и оптимизиране, както и специализиран софтуер.

Разработен е метод за графично профилиране на зъбостругови инструменти с помощта на специализиран софтуер от клас CAD/CAE. Методът позволява построяване на зъбни профили, необходими при профилирането на зъбообработващи инструменти, и създава възможности за: автоматизирано генериране на работния профил на зъбостругови инструменти; анализ на моделирания профил на инструмента за проверка на зони с наличие на подрязване в основата на зъба или за подостряне към върха на зъбите чрез симулации във всяка част от работния процес; цялостен анализ на работните повърхнини, в това число и по преходни участъци, за определяне на контактното петно и на коефициента на препокриване.

Предложена е методика за експериментални изследвания на качествените параметри на изработени чрез зъбоструговане зъбни профили и е създадена опитна уредба, включваща струго-фрезови обработващ център T2500 и екипировка за установяване на обработвания детайл и на режещия инструмент. Във връзка с реализацията на метода зъбоструговане е разработена управляваща програма на Siemens 840DSL на базата на функция „Електронна предавка”, даваща възможност за контрол на движението на следяща ос според водещата ос, като връзката между тях се определя с коефициент на свързване (предавателно число). Проведени са както еднофакторни, така и многофакторни експерименти по оптимален композиционен план, като качествените параметри на изработените зъбни колела са измерени върху специализирана измервателна машина QUINDOS с използване на специализиран софтуер QUINDOS GEAR.

Построени са адекватни теоретико-експериментални модели за отклонението от профила на зъба, отклонението в направлението на зъба, натрупаната грешка на стъпката, най-голямата разлика в стъпката и грешката от радиално биене, отразяващи комплексното влияние на ъгъла на кръстосване между осите на зъбоструговия инструмент и обработваното зъбно колело и подавателната скорост, като са използвани методът на многофакторния регресионен анализ и програмният продукт QStatLab.

Проведена е многоцелева компромисна оптимизация, като са приложени два метода - определяне на компромисна оптимална област за условията на процеса зъбоструговане и методът на обобщената функция на полезност с и без тегловни коефициенти. Чрез прилагане на програмния продукт QStatLab са определени Парето-оптимални решения (комбинация от стойности на ъгъла на кръстосване между осите на зъбоструговия инструмент и обработваното зъбно колело и подавателната скорост), осигуряващи минимални стойности на отклонението от профила на зъба, отклонението

в направлението на зъба, натрупаната грешка на стъпката, най-голямата разлика в стъпката и на грешката от радиално биене.

3. Приноси на дисертационния труд

Приемам формулираните от докторанта приноси на дисертационния труд. Те са свързани с разширяване на технологичните възможности на металорежещи машини с ЦПУ чрез обработване на зъбни профили по метода зъбоструговане. Приносите имат научно-приложен и приложен характер.

Научно-приложни приноси:

- Реализиран е нов вариант на кинематиката на процеса зъбоструговане при нарязване на наклонени зъби върху стругово-фрезови обработващи центри с ЦПУ, при който подаването е по направление на зъба и не се налага корекция в ъгловата скорост. Доказана е неговата работоспособност, като са оценени точностните параметри на изработени зъбни профили в границите от 7 до 12 степен на точност.
- Обоснован е изборът на брой зъби на инструмента и на ъгъл на кръстосване, осигуряващи препоръчителни режими при рязане, и са построени съответни диаграми.
- Построени са теоретико-експериментални модели за отклонението от профила на зъба, отклонението в направлението на зъба, натрупаната грешка на стъпката, най-голямата разлика в стъпката и грешката от радиално биене, отразяващи комплексното влияние на ъгъла на кръстосване между осите на зъбоструговия инструмент и обработваното зъбно колело и подавателната скорост.
- Определени са оптимални условия за реализация на процеса зъбоструговане (комбинации от стойности на ъгъла на кръстосване между осите на зъбоструговия инструмент и обработваното зъбно колело и на подавателната скорост) чрез прилагане на многоцелева компромисна оптимизация по концепцията за Парето оптималност и метода на обобщената функция на полезност.

Приложни приноси:

- Разработен е метод за графично профилиране, базиран на възможностите на CAD/CAE софтуер, който позволява построяване на зъбни профили, необходими при профилирането на зъбообработващи инструменти.
- Разработена е управляваща програма за реализация на метода зъбоструговане на базата на функцията „Електронна предавка”.
- Разширени са технологичните възможности на металорежещи машини с ЦПУ чрез създаване на условия за обработване на зъбни профили чрез прилагане на метода зъбоструговане.

4. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд

Основните резултати в дисертационния труд са оповестени в 5 публикации, от които 3 - в списание „Машиностроене и машинознание” (том 28, 2018 г.; том 31,

2021 г.; том 32, 2022 г.) и 2 - в Сборника доклади от Научна конференция TechCo – Lovech (2018 г.).

Четири от публикациите на докторанта са самостоятелни и една публикация е в съавторство с научните ръководители. Считаю, че работата е апробирана в достатъчна степен в страната.

5. Авторство на получените резултати

Считаю, че получените резултати от научното изследване и представеният дисертационен труд са авторска разработка на докторанта под научното и методическото ръководство на неговите ръководители.

6. Мнения, препоръки и забележки по дисертационния труд

Нямам съществени забележки към дисертационния труд. Направените от мен препоръки и забележки, като научен ръководител на докторанта, в хода на разработването и представянето на дисертационния труд, като цяло са отразени от докторанта.

Бих препоръчала работата по тематиката да продължи с изследване на процеса зъбоструговане при изработване на зъбни колела от други обработвани материали, както и с използване на инструменти от металокерамика.

7. Заключение

Считаю, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България. Постигнатите резултати ми дават основание **да предложи** да бъде придобита образователната и научна степен „доктор”

от маг. инж. Христо Христов Якимов

в област на висше образование - 5. Технически науки,
професионално направление - 5.1 Машинно инженерство,
докторска програма - Металорежещи машини и системи.

08.06.2023 г.

Подпис: /п/
/проф. д-р И. Александрова/