

ИЗРАБОТКА ЧРЕЗ 3Д ПЕЧАТ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ПО МЕТОДА С ОТЛАГАНЕ НА МАТЕРИАЛ

ВАЛЕРИ БАКЪРДЖИЕВ

Технически университет – София, Филиал - Пловдив

bakardzhiev@tu-plovdiv.bg

Резюме: В индустрията се търсят нови методи и технологии за евтино производство на машинни елементи в единични серии за производството на прототипи и за ремонтни дейности на машини. В настоящата статия се разглеждат два етапа от производството на единични серии на цилиндрични зъбни колета с прави зъби. През първия етап се осъществява бързо прототипиране на цилиндрични зъбни колета с прави зъби, чрез използването на CAD софтуер. През втория етап се осъществява 3D печат чрез използването на генерирания 3D модел от CAD софтуера. Зъбните колета се изработват от полимера ABS, който се използва широко в производството на машинни елементи чрез екструдирание. За да се оцени качеството на произведените зъбни колета ще се извърши контрол по общата нормала.

Ключови думи: 3D печат, зъбни колета, машинни елементи

MANUFACTURING OF SPUR GEARS USING FUSED DEPOSITION MODELING

VALERI BAKARDZHIEV

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv

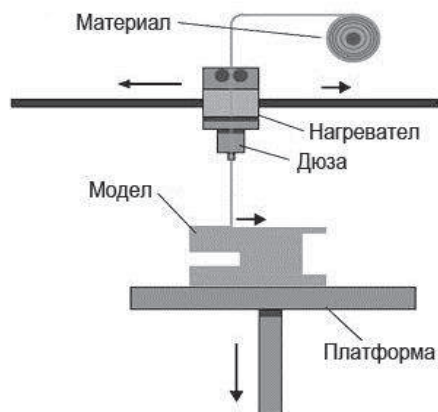
bakardzhiev@tu-plovdiv.bg

Abstract: New methods and technologies in industry are sought to achieve low-cost production of machine elements in single series of prototype production and machine repair work. The article discusses two stages of single series of the spur gear manufacturing process. In the first stage, rapid prototyping of spur gears is carried out using CAD software. In the second stage, the 3D printing is carried out using the 3D model generated by the CAD software. The gears are made from ABS polymer, which is widely used in manufacturing of machine components by extrusion. In order to evaluate the gear quality, it will be performed quality control according to the chordal dimension.

Key words: 3D printing, spur gears, machine elements

1. Въведение

Най-актуалната в днешно време е технологията за 3D печат с отлагане на материал, която се развива в различни аспекти на индустрията – от производството на декоративни елементи, различни видове играчки, архитектурни елементи, аксесоари и части за автомобилната индустрия, както и производството на машинни елементи, които намират широко приложение в промишлеността. Технологията позволява да се използват различни материали – предимно акрилонитрил-бутадиен-стирен ABS, полиамиди PA6-GF, найлони CF15[2] с различно включване на въглеродни нишки, които дават значително подобрени физико-механични характеристики на материалите и оттам подобрени характеристики на самите детайли, които се принтират.



Фиг. 1. Схема на 3D принтер чрез технологията FDM[1]

3D принтерът с отлагане на материал, показан на фигура 1, работи последния начин.

Първо материалът, който е във вид на нишка, се нарича още филament с диаметър 1,75 мм. Изработен е от полимер и се екструдира с помощта на екструдер. Екструдерът се състои от нагревателен елемент, който създава стопилка, както и задвижване, което създава налягане, за да може съответно нишката да се екструдира през дюза с диаметър 0,4 мм. Изграждането на слоевете се осъществява от задвижване по три оси x, y и z с помощта на стъпкови мотори. Изграждането на модела започва върху платформата, която се нагрява в диапазона 70-105° C, за да се осигури добра адхезия и да не се отлепи модела при изграждането на останалите слоеве.

За нуждите на настоящето изследване ще използваме полимерът ABS, който често се използва за производството на полимерни зъбни колела за леки и средни натоварвания. Акрилонитрил-бутадиен-стиренът се печата сравнително лесно и с него се постига висока точност на геометричните размери. Температурата на печат се регулира в диапазон 230-250° C, а температурата на платформата 100-105° C. Полимерът има свойството да изкривява своите геометрични размери. Затова е необходимо да се използва 3D принтер от затворен тип и в зоната на печат да се поддържа температура от 60° C.

2. Описание на метода на изследване

Методът на изследване се основава на експеримент, който включва проектирането на зъбно колело в средата на Autodesk Inventor[3] и печат на зъбното колело от 3D принтер Adventurer 5M Pro[8] от полимера ABS.

Проектирането се извършва с помощта на вграденият генератор от директорията Design> Spur Gears Component Generator на Autodesk Inventor, показан на фигура 2. Зъбното колело[4], е проектирано със следните параметри:

- модул: $m=3$
- брой на зъбите: $z=30$
- ъгъл на наклона: $\beta_0=0^\circ$
- коефициент на изместване: $x=0$
- изходен контур по БДС 1526-78
- диаметър на делителната окръжност: $d=90\text{ mm}$
- диаметър на върховата окръжност: $d_a=96\text{ mm}$
- диаметър на петовата окръжност: $d_f=82.5\text{ mm}$
- дължина на обща нормала: $W=32,258\text{ mm}$

- брой обхванати зъби: $z_w=4$
- степени на точност и вид на сдружаването по БДС 3296-79- 6 D[5,6]

Spur Gears Component Generator

Design Calculation

Common

Design Output

Center Distance

Desired Gear Ratio

1,3043 ul ☐ Internal

Module Center Distance

3,000 mm 79,500 mm

Gear1

Component

Number of Teeth

Facewidth Unit Correction

15,000 mm 0,0000 ul

20:10:35 Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than
20:10:35 Design: Gear 2: The Unit Correction (x) is less than
20:10:35 Calculation: Calculation indicates design compliance!

Pressure Angle Helix Angle

20,0000 deg 0,0000 deg

Unit Correction Distribution

Custom

Total Unit Correction

0,0000 ul

Gear2

Component

Number of Teeth

Facewidth Unit Correction

15,000 mm 0,0000 ul

the Unit Correction without Tapering (x_z)
the Unit Correction without Tapering (x_z)

Calculate

Фиг. 2. Генератор на зъбни колела в Autodesk Inventor



Фиг. 3. Печат на 3D модел на зъбно колело

След като се създаде 3D модел на зъбно колело в софтуерна среда, моделът се експортира в специална програма за управление на 3D принтера. Програмата се нарича Orca-FlashForge[7] и е специализирана за 3D принтер Adventurer.

Бяха настроени следните параметри за печат:

- температура на екструдирание: 240⁰ C
- температура на платформата: 105⁰ C
- височина на първия слой: 0,12mm
- височина на слоевете: 0,2mm
- дебелина на стената: 2 слоя
- запълване на модела: 15%
- скорост на печат: 300mm/s
- диаметър на филамента: 1,75mm
- диаметър на дюзата: 0,4mm
- време за печат: 59min

На фигура 3 е показан печатния процес на зъбното колело в 3D принтер Adventurer[8]. Отпечатаният 3D модел може да се види на фигура 4. Моделът няма да се изчислява на контактна якост, също така няма да се монтира към вал с цел задвижване и предаване на въртящ момент и затова няма отвор в центъра. Целта на

настоящата статия е да се изследват само получените геометрични размери от 3D печата.



Фиг. 4. Отпечатан опитен образец

3. Обработка на опитните резултати

За да се определи качеството на отпечатания 3D модел на зъбно колело, ще измерим един от основните контролни параметри, а именно общата нормала. Стойността на общата нормала може да бъде изчислена, но в нашия случай генераторът на AutoDesk Inventor ни показва нейната стойност $W=32,258$ mm при $zw=4$. За да определим граничните отклонения на общата нормала използваме стандарт БДС 3296-79, в който са записани основни норми за взаимозаменяемост на предавки зъбни цилиндрични. От стандарта се определя:

- най-малкото отклонение на дължината на общата нормала:

$$E_{ws} = E_{WSI} + E_{WSII} = -40\mu m \quad (1)$$

- допускателна на радиалното биене на зъбния венец:

$$F_r = 25\mu m \quad (2)$$

- допускателна на дължината на общата нормала

$$T_w = 40\mu m \quad (3)$$

- най-голямото отклонение на дължината на общата нормала

$$E_{wi} = E_{ws} + T_w = -80\mu m \quad (4)$$



Фиг. 5. Измерване на обща нормала

Следователно общата нормала следва да бъде в интервала от $32,258_{-0,08}^{+0,04}$ mm

След като моделът е готов с помощта на нормалометър, измерваме общата нормала в различни отсечки на зъбното колело, както е показано на фигура 5. Измерването се извършва с нормалометър Kinex с точност $\pm 10 \mu\text{m}$. Средната стойност на измерената обща нормала е 32,24 mm, което е в допусковото поле.

4. Заключение

На базата на изложеното в доклада можем да твърдим, че успешно може да се създаде профил на еволвента на цилиндрично зъбно колело с прави зъби. Също така софтуерът може да предостави както данни за геометричните параметри на зъбното колело, така и контролни параметри, като един от тях е общата нормала.

Чрез създадената методология може успешно да се принтират цилиндрични зъбни колела с прави зъби, изработени от полимера ABS. Показаната методология може да се използва за производство на единични цилиндрични зъбни колела с прави зъби, за ремонтни цели, както и за прототипиране. Трябва да се отбележи, че предмет на бъдещи изследвания ще бъдат кинематичната точност и якостните показатели на принтирани зъбни колела, за да се докаже напълно тяхната функционалност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haghsefat, K., Tingting, L. FDM 3D Printing Technology and Its Fundamental Properties, ICIRES - International Conference on Innovation and Research in Engineering, 2020, Tbilisi
2. 2025 Niceshops GmbH.
Online: <https://www.3djake.bg/filamjenti-za-3d-printjeri>
3. 2025 Autodesk Inc..
Online: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
4. Димчев Г., Захариев К., Машинни елементи. Част 3: Механични предавки, Софттрейд, София, 1994
5. Михалев М., Изследване на зъбния профил от предавателен механизъм на локомотиви, Механика Транспорт Комуникации, София, 2013
6. 2025 Основни норми за взаимозаменяемост. Предавки зъбни цилиндрични. Допуски.
Online: <https://bdsbg.org/bg/project/show/bds:proj:23068>
7. 2025 Orca-Flashforge.
Online: <https://github.com/SoftFever/OrcaSlicer/wiki/Calibration>
8. 2025 Flashforge 3D technology Co., LTD.
Online: <https://www.flashforge.com/products/adventurer-5m-pro-3d-printer>