

## Оптимизиране на геометричните параметри на вътрешното зацепване по критерия якост на огъване

Антоанета Добрева

**Optimization of Geometry Parameters of Gear Trains with Internal Meshing considering the Criterion Bending Strength:** The paper presents the theoretical analysis of the parameters, which have an influence upon the bending strength of the gear trains. Optimization research of gearings with internal meshing and small difference between the teeth number of the pinion and the ring with internal teeth based upon the criterion: bending strength is implemented. Conclusions are deduced.

**Key words:** Gear Trains with Internal Meshing, Bending Strength, Optimization of Geometry Parameters, Application of Software System.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемите на изследването на зъбни предавки с вътрешно зацепване, свързани с оптимизацията на геометричните им параметри, са сложни и комплексни. Те зависят от функционалната годност на зъбната предавка и от прецизното определянето на геометричните граници на съществуване на зъбни предавки с вътрешно зацепване.

Под ръководството на доц. Емилия Ангелова и проф. Петър Ненов от Русенския университет са проведени дългогодишни научни изследвания, разработени са програмни продукти за пресмятане на зъбни предавки с помощта на геометрични и силови блокиращи контури. Част от резултатите от тези изследвания са обобщени в [4, 5, 6].

За различните видове предавки с вътрешно зацепване съществуват блокиращи контури, представени в [7]. За предавки с големи предавателни числа, като отделните степени на предавката са с вътрешно зацепване, а в някои случаи и с малка разлика в броя на зъбите, тези блокиращи контури не винаги могат да бъдат използвани.

Целта на представеното изследване е: на базата на прецизираната от автора методика за определяне на геометричните граници на предавки с вътрешно зацепване и малка разлика в броя на зъбите да се оптимизират геометричните параметри на зацепването по критерия якост на огъване.

### ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ЯКОСТТА НА ОГЪВАНЕ

Изчисленията по критерия якост на огъване са базирани на прецизното определяне на номиналните напрежения на огъване в зацепването  $\sigma_F$  в основата на зъба. За да бъде оразмерена правилно зъбната предавка по критерия якост на огъване, изчисленото номиналното напрежение  $\sigma_F$  на огъване трябва да бъде по-малко от (или равно на) допустимото напрежение на огъване  $\sigma_{FP}$ . Определянето на номиналното напрежение на огъване се извършва съгласно следното уравнение, дефинирано в [1]:

$$\sigma_F = Y_{FS} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot F_t \cdot (K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}) / (b \cdot m_n) \quad (1)$$

В уравнение (1) са включени следните параметри:

- $Y_{FS}$  - коефициент, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията;
- $Y_\varepsilon$  - коефициент, отчитащ припокриването на зъбите;
- $Y_\beta$  - коефициент, отчитащ наклона на зъбите;
- $F_t$  - периферна сила по делителните цилиндри в челно сечение;
- $K_A$  - коефициент, отчитащ външното натоварване;

- $K_v$  - коефициент, отчитащ вътрешното динамично натоварване;
- $K_{F\beta}$  - коефициент, отчитащ разпределението на напрежението на огъване по дължината на зъбите;
- $K_{F\alpha}$  - коефициент, отчитащ разпределението на напрежението на огъване между зацепените двойки зъби;
- $b$  - широчина на зъбния венец;
- $m_n$  - делителен диаметър на малкото зъбно колело 1;

От значението на изброените параметри става ясно, че влиянието на геометрията на зацепването върху стойностите на номиналните напрежения на огъване се определя основно от коефициента, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията  $Y_{FS}$ . Един от начините за изчисляване на стойностите му е използване на следната аналитична зависимост, [1]:

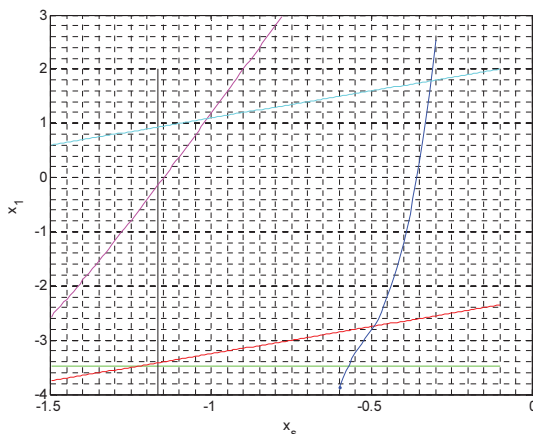
$$Y_{FS} = 3,47 + 0,092 \cdot x^2 + 13,2/z_v - 27,9 \cdot x/z_v \quad (2)$$

В уравнение (2) значението на използваните параметри е следното:  $x$  - коефициент на изместване на изходния контур на съответното зъбно колело;  $z_v$  - еквивалентен брой зъби.

В процеса на провеждане на теоретичното изследване, основната задача е да се определят зоните с минимални стойности на номиналните напрежения на огъване за вътрешното зацепване от областта на допустимите решения за зъбни предавки с вътрешно зацепване и малка разлика в броя на зъбите, определена от геометричните граници на съществуване на този вид предавки с вътрешно зацепване. За целта, стойността на фактора  $Y_{FS}$  е желателно да бъде възможно най-ниска.

### ОПТИМИЗАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРЕДАВКИ С ВЪТРЕШНО ЗАЦЕПВАНЕ ПО КРИТЕРИЯ ЯКОСТ НА ОГЪВАНЕ

Определянето на геометричните граници на съществуване на зъбни предавки с вътрешно зацепване и малка разлика в броя на зъбите между венца с вътрешни зъби и малкото зъбно колело е извършено на базата на прецизираната методиката, разработена и описана от автора в [2,8].

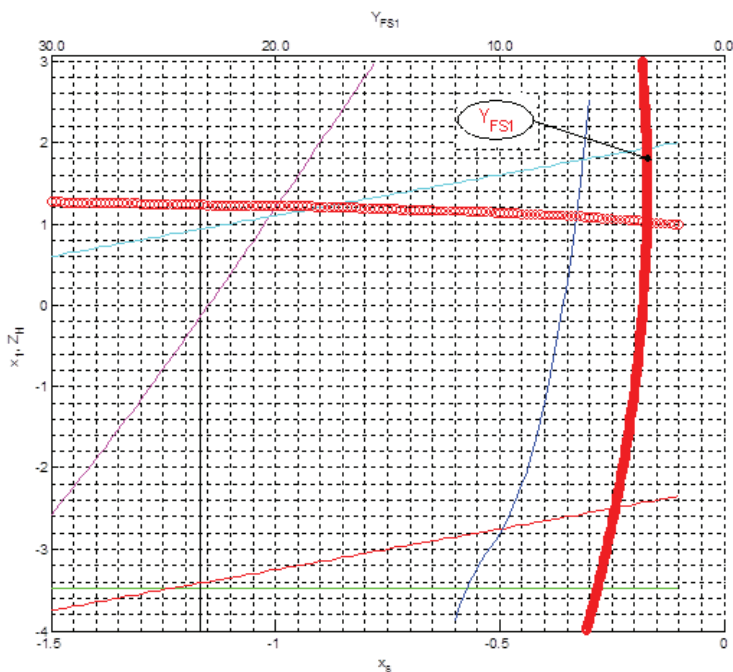


Фиг. 1. Геометричните граници, определящи областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите и параметри:  $z_1 = 106$ ,  $z_2 = -110$  и  $m = 2$  mm, където: Линия 1 – зелен цвят, линия 2 – червен цвят, линия 3 – син цвят, линия 4 – светло син цвят, линия 5 – лилав цвят, линия 6 – черен цвят

Разработена е софтуерна система GeoMat2012, основана на тази методика. Спецификата и предимствата на софтуерния продукт GeoMat2012 са представени подробно в [10]. Софтуерната система подпомага оптимизирането на геометричните и якостни параметри на зацепването в зависимост от коефициентите на изместване на изходния контур за колелото с външни зъби ( $x_1$ ) и венца с вътрешни зъби ( $x_2$ ) и от тяхната сума  $x_s$ .

Визуализацията на геометричните граници, определящи областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите в правоъгълна координатна система с абсциса  $x_s$  и ордината  $x_1$ , е представена на Фиг.1. Значението на посочените на Фиг.1 параметри е следното:  $z_1$  - брой зъби на малкото зъбно колело,  $z_2$  - брой зъби на венца и  $m$  - модул на зацепването. В посочените примерни решения на Фиг.1, Фиг.2 и Фиг.3, за броя зъби на венца  $z_2$  се използва знакът (-) съгласно методиката за геометрично пресмятане на предавки с вътрешно зацепване, разгледана подробно в [7].

Значението на всяка една от посочените шест геометрични граници е описано подробно в [3].



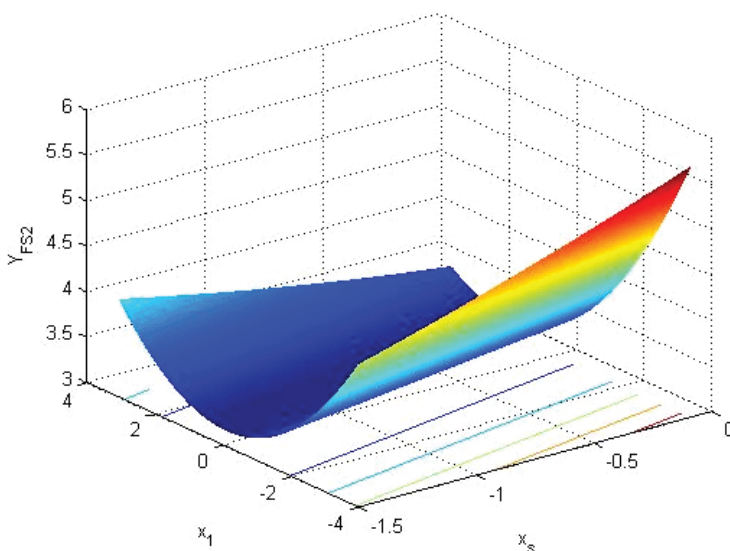
Фиг. 2. Стойностите на параметъра  $Y_{FS1}$  при  $z_1 = 106$ ,  $z_2 = -110$  и  $m = 2$  mm

Софтуерният алгоритъм включва изчисляване на стойностите на коефициента, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията на колелото с външни зъби  $Y_{FS1}$  и на венца с вътрешни зъби  $Y_{FS2}$  след проверка на изпълнението на необходимите условия, посочени в [2,8].

На Фиг.2 е показано изменението на коефициента, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията на колелото с външни зъби  $Y_{FS1}$  в зависимост от коефициента на изместване на изходния контур на малкото зъбно колело и от сумата  $x_s$  на коефициентите на изместване на изходния контур за колелото с

външни зъби ( $x_1$ ) и венеца с вътрешни зъби ( $x_2$ ). Става ясно, че минималните стойности за изследвания параметър се намират в най-долната част на областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите, т.е. при минимални стойности за коефициента на изместване на изходния контур за колелото с външни зъби  $x_1$ .

На Фиг.3 е показано изменението на коефициента, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията на венеца с вътрешни зъби  $Y_{FS2}$  в зависимост от коефициента на изместване на изходния контур на малкото зъбно колело  $x_1$  и от сумата  $x_s$  на коефициентите на изместване на изходния контур за колелото с външни зъби ( $x_1$ ) и венеца с вътрешни зъби ( $x_2$ ). Става ясно, че минималните стойности за изследвания параметър се намират в най-горната част на областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите. За Фиг.3, ниските стойности на параметъра  $Y_{FS2}$  съответстват на по-студените цветове, показани на фигурата.



Фиг. 3. Стойностите на параметъра  $Y_{FS2}$  при  $z_1 = 106$ ,  $z_2 = -110$  и  $m = 2$  mm

Софтуерната система GeoMat2012 изчислява стойностите на параметъра, отчитащ формата на зъба и концентрацията на напреженията, и за двете зъбни колела. Може да се направи изводът, че минималните стойности за изследваните параметри  $Y_{FS1}$  и  $Y_{FS2}$  се намират в различни зони от областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на извършения теоретичен анализ на зъбни предавки с вътрешно зацепване по критерия якост на огъване могат да се направят следните изводи:

1. Апробирана е успешно прецизираната и разработена от автора методика за определяне на геометричните граници на съществуване на зъбни предавки с вътрешно зацепване и малка разлика в броя на зъбите между венеца с вътрешни зъби и малкото зъбно колело;

2. Определени са зоните за минималните стойности на номиналните напрежения на огъване за двете зъбни колела в рамките на областта на допустими решения за зъбни предавки с малка разлика в броя на зъбите.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] БДС 17108-89. Предавки зъбни цилиндрични еволвентни с външно зацепване. Якостно изчисляване на зъбите.

[2] Добрева, А. Подобряване на трибологичните характеристики на предавки с вътрешно зацепване. В : Научни трудове на Русенския университет, Том 50, с. 4, Издателски център при Русенски университет, Русе, 2011, стр. 175 – 180.

[3] Добрева, А. Оптимизиране на геометричните параметри на вътрешното зацепване по критерия контактна якост. Научна конференция на Русенския университет, Русе, 2012

[4] Angelova, E., V. Ronkova, P. Nenov, Increasing Load Capacity of Cylindrical Gear by Optimizing Their Geometric Parameters, „INMATEH – Agricultural Engineering”, may-august, vol 31,№2/2010, National Institute of Research-Development for Machines and Installations Designed to Agriculture and Food Industry-INMA Bucharest, ISSN:2068-2239, ISSN:2068-4215, 40-46.

[5] Angelova, E., P. Nenov, B. Kaloyanov, V. Vyrbanov. Usage of 2D-Models for Optimization of the Gear Ratio of Cylindrical Reducers. Scientific conference ADEMS'09, Technical University Kluzh-Napoka, Rumania, 2009.

[6] Angelova A.E., Ronkova T.V., Tiufektchian M.A, Computer-Aided Design Of Involute Cylindrical Gear Drives For Portable Electric Tools, 2-nd International Scientific and Practical Conference “Technology, Materials, Transport and Logistics: Development Prospects” TMTL'11, 19-23.09.2011, Yalta (Crimea), Ukraine, The Scientific Journal №12(166)2011, ISSN 1998-7927, 14-18.

[7] DIN 3993. Geometrische Auslegung von Zylindrischen Innerradpaaren mit Evolventenverzahnung, 1981.

[8] Dobрева, A. Theoretical investigation of the energy efficiency of planetary gear trains. Power transmissions, the 4<sup>th</sup> International conference on power transmissions – “pt 12”, June 20-23, 2012, Sinaia, Romania.

[9] Dobрева, A. Method for optimization of geometry parameters of gear trains with internal meshing and small difference between the teeth number considering the criteria contact strength, /prepared for publishing/

[10] Stoyanov, S. Special features and advantages of the software system GeoMat2012, /prepared for publishing/

#### За контакти:

Доц. д-р Антоанета Добрева, Катедра “ММЕИГ”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 0359887746311, e-mail: [adobрева@uni-ruse.bg](mailto:adobрева@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**