

FRI-2.209-1-TMS-07

STRENGTH RESEARCH OF A GEAR FROM A CAR GEARBOX⁴

Yuliy an Dimitrov, PhD

Department of Machine Science, Machine Elements and Engineering graphics,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +82 888 492
E-mail: ydimitrov@uni-ruse.bg

Petar Pavlov

Department of Machine Science, Machine Elements and Engineering graphics,
University of Ruse, Bulgaria
Tel.: +82 888 492
E-mail: petar.k.pavlov@gmail.com

***Abstract:** The paper reviews strength examination of a gear from a gearbox of a modern car mass-produced by several modern design methods - conventional calculations by standard, automated design with CAD system and strength simulation by appropriate CAD system. The real geometric, mechanical parameters and the material of the gear are deciphered. The results of the different types of strength calculations are compared and conclusions are made.*

***Keywords:** gear, gearbox, CAD system*

ВЪВЕДЕНИЕ

В Машинознанието като наука съществуват различни методи за якостни изчисления при проектирането на зъбни предзвки. Класическият и фундаментален метод приет в Европа е якостните изчисления да се извършват по методиката на установения стандарт ISO 6336. Но с развитието на компютърните технологии се появиха и методики за автоматизирано проектиране на зъбни предавки на базата на този стандарт, чрез които самият процес на проектиране се извършва за много кратко време, този нов метод дава гъвкавост при разработване на многовариантни схеми и добра прегледност на резултатите. Същевременно в последните години бурно азвитие имат приложните инженерни софтуери които предлагат симулационни якостни анализи на натоварване на различни машинни и конструкционни елементи. В настоящия доклад ще бъде представен якостен анализ на реално зъбно колело от скоростна кутия на сериен лек автомобил по представените по горе методи на якостни проверки. Ще бъдат представени, съпоставени и анализирани резултатите по трите метода. По този начин ще бъде представено практическото приложение на съществуващите теоретичните методики.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Представеното изследване обхваща резултатите и действията по три методики (една класическа и две автоматизирани) за якостно изчисление на зъбна предавка, което е продължителен процес с голяма по обем междинна информация и крайни резултати. Поради това в този доклад е представен първия етап от изследването, което включва анализ на възможностите на методите на якостни изчисления на зъбни предавки и определяне характеристиките на изследваното зъбно колело от скоростна кутия на сериен лек автомобил.

⁴ Presented a report on November 13, 2020 with the original title: ЯКОСТНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЪБНО КОЛЕЛО ОТ СКОРОСТНА КУТИЯ НА АВТОМОБИЛ

Методи за якостно изследване на зъбни предавки

Определят се методите и инженерните софтуери по които ще се правят якостните изследвания на обекта на изследване - зъбна предавка от скоростна кутия на съвременен лек автомобил произвеждан серийно.

➤ *Якостни изчисления за товароносимостта на изследвана предавка по ISO6336.*

С влизането на България в Европейския съюз актуален става стандартът ISO 6336, който е съставен от пет части. Друг актуален стандарт, който много се използва е немския стандарт DIN3990, поради това че много български фирми са подизпълнители на немски фирми. Трябва да се отчете факта че двата стандарта в голяма степен се припокриват. Преди този стандарт в България е бил регламентиран български стандарт за геометрично (БДС 1526-78) и якостно (БДС 17108-89) изчисляване на цилиндрични зъбни предавки, които са били на базата на методика изложена в руския стандарт ГОСТ 21354-87. Якостни зависимости за товароносимостта по ISO6336.

Проверочно изчисление на контактна умора чрез определяне кофициент на сигурност:

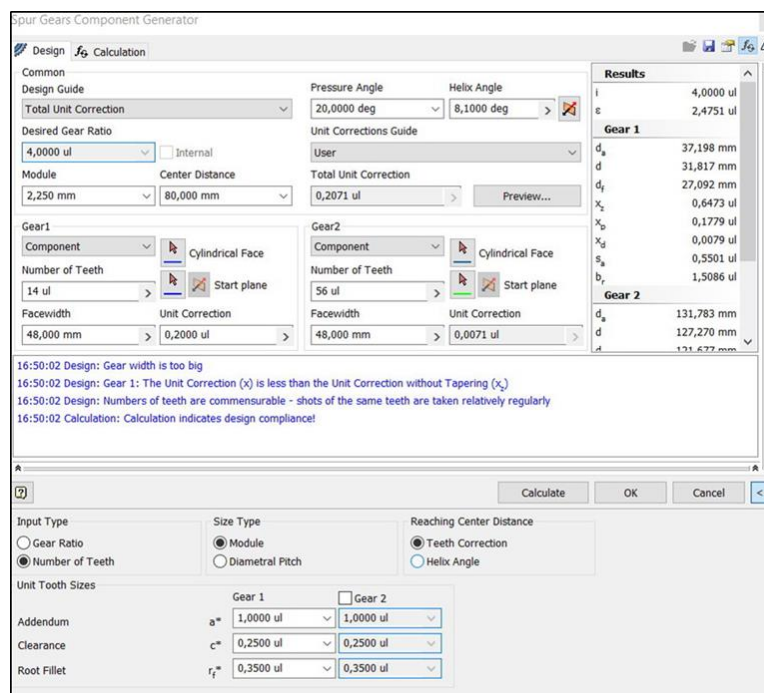
$$S_{H1,2} = \frac{\sigma_{Hlim1,2} \cdot Z_{N1,2} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_{X1,2}}{Z_E \cdot Z_H \cdot Z_{B1,2} \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot Z_K \cdot \sqrt{\frac{F_t \cdot K_H}{b_w \cdot d_{m1}} \cdot \frac{u_v + 1}{u_v}}} \quad (1)$$

Проверочно изчисление на умора на огъване чрез определяне кофициент на сигурност:

$$S_{F1,2} = \frac{\sigma_{Flim1,2} \cdot Y_{A1,2} \cdot Y_{T1,2} \cdot Y_{N1,2} \cdot Y_{S1,2} \cdot Y_{X1,2} \cdot Y_R}{Y_{Fa1,2} \cdot Y_{Sa1,2} \cdot Y_{Sarell1,2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\epsilon \cdot Y_K \cdot \frac{F_t \cdot K_F}{b_{wF1,2} \cdot m_{mn}}} \quad (2)$$

➤ Автоматизирани якостни изчисления на зъбна предавка по стандарт ISO6336 чрез Autodesk Inventor (CAD система).

За изследването се приема да се използва инженерната 3D CAD система Autodesk Inventor. В тази система е интегриран модул Design със раздел SPUR GEARS COMPONENT GENERATOR за автоматизирано проектиране и якостни изчисления на зъбна предавка по стандартите ISO6336 и DIN3990.



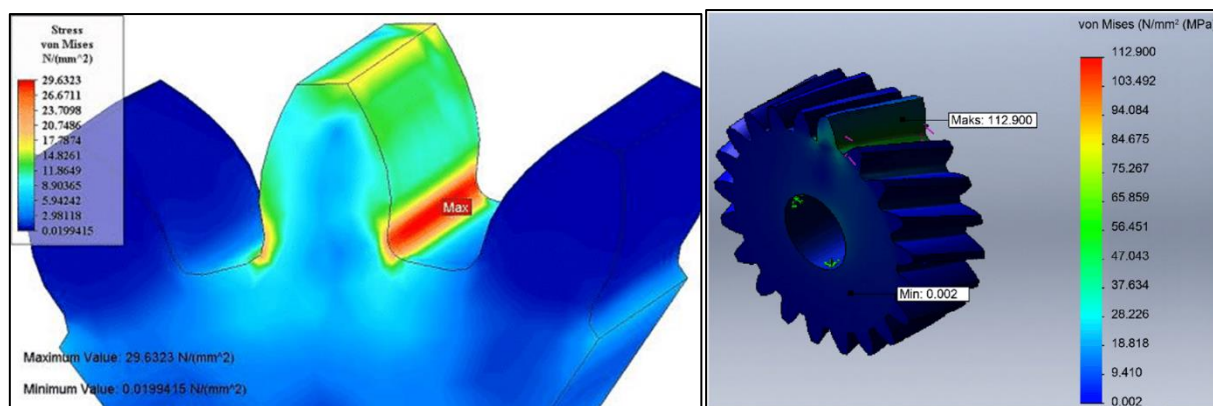
Фиг. 1. Работен прозорец на модул SPUR GEARS COMPONENT GENERATOR на системата Autodesk Inventor

За да се направят коректни изчисления е необходимо да се въведат следните данни за зъбната предавка – стандарт, геометрия (модул, брой зъби, междуосово разстояние, коефициент на корекция, широчина на зъбния венец и др.), кинематични параметри (мощност, честота на въртене, въртящ момент), вид на материала, твърдост на зъба, термична обработка. Всички тези параметри ще се дешифрират от реалния обект на изследване чрез измерване и преизчисляване по познати в теория на зъбното зацепване формули. Работния прозорец на използвания софтуер е показани на фиг.1. Системата представя пълен списък със резултатите от якостните проверки и всички приети коефициенти.

Друга инженерна програма SolidEdge също предлага подобни възможности за автоматизирано проектиране и изчисление на зъбни предавки, но авторите на доклада имат по-голям опит с Autodesk Inventor, поради което е предпочетен за изследването.

➤ *Якостен симулационен анализ на натоварването с CAD система.*

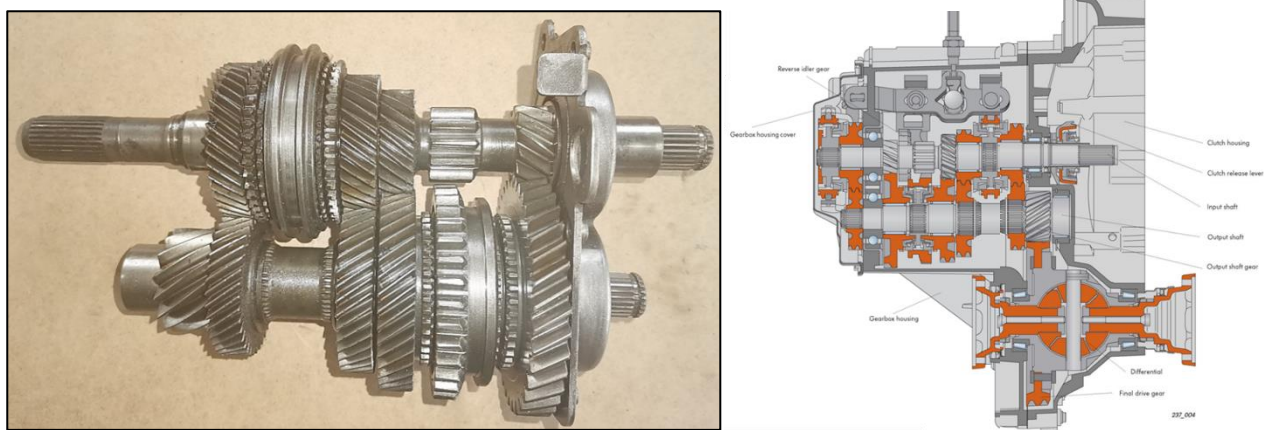
Повечето съвременните CAD системи, използвани от инженерите (Autodesk Inventor, SolidEdge, SolidWorks и др.), имат разработени модули за якостен симулационен анализ на натоварването в зъбна предавка. За целта на изследването се приема да се използва SolidWorks Simulations. SolidWorks е един от най-използваните CAD софтуери от инженерните фирми в България, поради което се приема да се използва именно тази програма. За целта на изследването се генерират 3D модели на зъбните колела, като се залагат правилната геометрия, материали и термични обработки. След въвеждане на натоварването се визуализират номиналните и допустимите напрежения в детайла. Примерна визуализация е показана на Фиг.2.



Фиг. 2. Визуализиране на резултатите – напрежения в изследваното зъбно колело, при якостен симулационен анализ със SolidWorks Simulations

Анализ на характеристиките на обекта на изследване

Обект на изследване: зъбни колела от скоростна кутия 02Т, използвана за автомобили Skoda Fabia, VW Polo. Разглежда се една предавка от скоростната кутия, за която се определят всички геометрични и кинематически показатели, вид на материала, твърдост на зъбния венец и термична обработка. Външния вид и схема на изследваните зъбни колела от скоростна кутия са показани на фиг.3.



Фиг. 3. Външен вид и схема на изследваните зъбни колела от скоростна кутия 02Т.

Определяне на геометрични и кинематични параметри на изследваната скоростна кутия. В кутията има 6бр. зъбни предавки (5 предни и една задна скорост). Модулите на отделните предавки са:

$m=2,25$ – 1-ва предавка,

$m=1,75$ – 4-ва предавка,

$m=1,75$ – 2-ва предавка,

$m=1,75$ – 5-ва предавка,

$m=1,75$ – 3-ва предавка,

Брой зъби и предавателно число на всички предавки са посочени в табл. 1.

Таблица 1. Брой зъби и предавателно число на всички предавки

Ръчна скоростна кутия		02Т 5-speed		
	Двигател	1.9 l - 47 kW	1.9 l - 47 kW	1.9 l - 47 kW
Предавателно число - $Z_2 : Z_1$	Диференциал	65 : 18 = 3,611	65 : 18 = 3,611	64 : 19 = 3,368
	1-ва предавка	38 : 11 = 3,455	38 : 11 = 3,455	38 : 11 = 3,454
	2-ра предавка	43 : 22 = 1,955	43 : 22 = 1,955	43 : 22 = 1,954
	3-та предавка	41 : 32 = 1,281	41 : 32 = 1,281	41 : 32 = 1,281
	4-та предавка	38 : 41 = 0,927	38 : 41 = 0,927	38 : 41 = 0,926
	5-та предавка	37 : 50 = 0,740	37 : 50 = 0,740	37 : 50 = 0,740
	Задна предавка	35 : 24 x 24 : 11 = 3,182	35 : 24 x 24 : 11 = 3,182	35 : 24 x 24 : 11 = 3,182

След определяне на геометричните параметри на зъбните колела са разработени 3 D модели на образците чрез SolidWorks, които ще се използват за симулационен анализ.

Определяне на вида на материала.

За определяне на химичния състав на материала се подготвят 3бр. проби – 2бр. зъбни колела и част от вал зъбно колело. От технологична и икономическа гледна точка се очаква вида на материала на трите проби да е един и същ. За определяне на химичния състав, а от него и марката на използваната стомана се използва стационарен анализатор на метали, искрови спектрометър SPECTROMAXX LMF04 (лаборатория на фирма МТМ, гр.Русе)



Фиг. 4. Искрови спектрометър SPEKTROMAXX LMF04.

За материал на пробите се получи: стомана 20MnCr5 (1.7147), табл.2 – аналози на тази марка са 18ХГ, 18ХГТ (ГОСТ), 20CrMn (Китай). В практиката това е стомана за производството на изделия, чиято повърхност се подлага на уякчаване чрез термична или химико-термична обработка. Подходяща е за производството на скоростни кутии, оси, пръти (сърцевини), валове, зъбни колела, фрикционни дискове и др;

Таблица 2. Химичен състав на стомана 20MnCr5 (1.7147)

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.17–0.22	1.10–1.40	0.40 max	0.035 max	0.035 max	1.00–1.30

Твърдостта на зъбния венец и на трите проби е една и съща - 51-52 HRC. Твърдостта се измерва чрез стационарен твърдомер по Роквел.

Термообработка:

- цементация – загряване 880-980 °С,
- закаляване - загряване 860-900 °С,
- отпускане - загряване 150-200 °С.

ИЗВОДИ

Първоначални изводи в първи етап от направените изследвания:

Определени са реалните характеристики на изследваните зъбни колела от скоростна кутия на автомобил серийно производство – модул, брой зъби, предавателно число, материал, твърдост, термообработка.

Определени са натоварванията за всички предавки – въртящ момент, мощност, честота на въртене;

Разработени са 3D модели на зъбните предавки.

Подготвят се методиките за изчисления по стандарта ISO6336 и симулационно изследване (втори етап на изследването), като резултатите от втория етап на изследването ще се представят в следващ доклад.

REFERENCES

Dimitrov, Y. & Kamenov, K., (2019) Application of AutoCAD .net api for simulation of cylindrical gears profiling; International BAPT Conferece POWER TRANSMISSIONS 2019, Varna, 2019, ISBN 978-619-7383.

Dimitrov, Y. & Kamenov, K., (2019) Specific opportunities through CAD systems for profiling a real involute curves of a spur gear; DAAAM International Scientific Book 2019, 2019, ISSN ISSN 1726-9687.

Dimitrov Y. (2015) Comparative analysis of technical indicators of gearboxes, Technics.Technologies.Education.Safety '15 Proceedings Volume 3, Veliko Tarnovo, Bulgaria, III International Scientific and Technical Conference, 2015, pp. 57-60, ISBN 1310 – 3946.

Dimitrov, Y. & Dobrev, V. (2015) A method for design of coaxial gearboxes, Technical Sciences and Industrial Management, Burgas, Bulgaria, IX International conference for young researchers, 2015, pp. 67-69, ISBN 1310-3946.

Dimitrov, Y. & Dobrev, V. (2013) Materials for making gears of gearboxes from general mechanical engineering. B: NK University of Ruse 2013, Ruse, Printing base of the University of Ruse, 2013, pp. 141 - 147, ISBN 1311 - 3321.

SSP-37-5 speed manual gearbox 02T and 002, www.procarmanuals.com

ISO 6336-1:2006. Calculation of load capacity of spur and helical gears - part 1: basic principles, introduction and general influence factors.

ISO 6336-2:2006. Calculation of load capacity of spur and helical gears -- part 2: calculation of surface durability (pitting).

ISO 6336-3:2006. Calculation of load capacity of spur and helical gears -- part 3: calculation of tooth bending strength.

DIN3990-1. Calculation of load capacity of cylindrical gears; Introduction and general influence factors

<https://workshop-manuals.com/skoda/fabia>

[mk1/power_transmission/gearbox_02t/technical_data/identification_of_the_gearbox/identification_characters_aggregate_assignment_ratios_capacities/](https://workshop-manuals.com/skoda/fabia/mk1/power_transmission/gearbox_02t/technical_data/identification_of_the_gearbox/identification_characters_aggregate_assignment_ratios_capacities/)