

## STRENGTH RESEARCH OF A GEAR FROM A CAR GEARBOX - PROCESSING OF THE RESULTS

---

**Yuliy an Dimitrov, PhD**

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering graphics and Physics,  
University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +82 888 492

E-mail: [ydimitrov@uni-ruse.bg](mailto:ydimitrov@uni-ruse.bg)

***Abstract:** The paper is a continuation of a previous report, presenting the results of the processed research data. The processed results are the result of simulation-tested 3D models with CAD systems compared to the classical methods for strength calculation of involute gears according to ISO 6336 standard. The results of the stresses in the gears obtained by different methods are analyzed. The results of the different types of strength calculations are compared and conclusions are made.*

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

### ВЪВЕДЕНИЕ

Има различни начини за извършване на якостни изчисления на зъбни предавки. Целта е да се проверят коректността на резултатите получени от различни методики. Доколко получените стойности биха се припокривали и съответствали. Изследването е свързано с реално работеща предавка от скоростна кутия 02Т на лек автомобил от групата на VAG. От направения анализ, конструкторите могат да преценят кой метод би бил по-добър за приложение в тяхната работа.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### ➤ **Обобщени на входните данни.**

В предходния доклад бяха определени трите методики по които ще се извърши якостното изследване. Първото изследване е по актуалния към момента в Европа стандартът ISO 6336, за целта се използва методиката описана в този стандарт. Второто изследване е чрез 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 стандарта ISO6336. Тази програма извършва също изчисления на базата на ISO6336, но като цяло модула за проектиране е допълнен да определя цялостната геометрия на една предавка и да я провери якостно. Третата проверка се извършва чрез якостен симулационен анализ на натоварването в зъбна предавка чрез SolidWorks Simulations.

Представени са всички необходими параметри за якостните изчисления на изследваната предавка, посочени в табл.1.

Таблица 1. Основни данни на изследваната предавка

Модул m, mm	Брой зъби, Z1	Брой зъби, Z2	Предавателно число, u	Материал
2,25	38	11	3,455	20MnCr5
Мощност на автомобила P, kW	Макс. въртящ момент T, Nm	Честота на въртене, min-1	Твърдост HRC	Термообработка
47	112	3000	51 - 52	Закаляване, цементация

➤ **Резултати от якостни изчисления на изследвана предавка по ISO6336.**

За провеждането на коректни изчисления се определят коефициентите заложи в методиките на стандартите: 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. Този процес отнема продължително техническо време поради факта, че в методиките има много коефициенти които се определят ръчно чрез различно зависимости и фактори. Като положителен краен резултат се приемат зависимостите (1) и (2):

$$S_H \geq S_{Hmin} \quad (1)$$

$$S_F \geq S_{Fmin} \quad (2)$$

След определянето на различните коефициенти и входните данни от направените изчисления се получиха следните резултати показани в табл.2.

Таблица 2. Резултати за коефициент на сигурност от пресмятането по ISO6336.

<b>Коефициент на сигурност от питинг</b>	<b>S<sub>H</sub></b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
Минимален коефициент на сигурност от питинг	S <sub>Hmin</sub>	1,23	1,25
<b>Коефициент на сигурност от огъване</b>	<b>S<sub>F</sub></b>	<b>2,65</b>	<b>2,74</b>
Минимален коефициент на сигурност от огъване	S <sub>Fmin</sub>	1,6	1,6

От резултатите може да се отбележи, че коефициента на сигурност от питинг (контактна якост) за малкото и голямото зъбно колело е много малко по-голям от минималния коефициент (само 2,5% и 4,2%). Докато коефициента на сигурност от огъване превишава минималния коефициент със 65% за малкото зъбно колело и 71% за голямото зъбно колело. Определяща е контактната якост, затова се следи да бъде изпълнено условието за питинг, докато условието за огъване винаги е изпълнено.

➤ **Резултати от якостни изчисления на изследвана предавка чрез CAD система Autodesk Inventor.**

➤

След въвеждането на определените входни данни в системата, в интегриран модул Design с раздел SPUR GEARS COMPONENT GENERATOR, се получиха следните резултати показани в табл.3. Якостните изчисления се свеждат до определяне коефициента на сигурност от питинг и коефициента на сигурност от огъване. Този коефициент представлява съотношение на допустимите към номиналните напрежения на контактна якост и огъване. При Autodesk Inventor е заложено резултатът да се счита за положителен при минимална стойност  $S = 1,2$ . Това означава допустимите напрежения да са поне с 20% по-големи от номиналните за да работи зъбната предавка нормално.

Таблица 3. Резултати за коефициент на сигурност от пресмятането с Autodesk Inventor.

<b>Factor of Safety from Pitting</b>	<b><math>S_H</math></b>	<b>1,204</b>	<b>1,204</b>
Factor of Safety from Tooth Breakage	$S_F$	2,461	2,649
<b>Static Safety in Contact</b>	<b><math>S_{Hst}</math></b>	<b>1,617</b>	<b>1,617</b>
Static Safety in Bending	$S_{Fst}$	4,795	5,138

От получения резултат стигаме до извода че при така проектираната предавка се използват максимално якостните характеристики на материала и няма заложен никакъв излишен запас или преоразмеряване (разход на материал). Техническото време за провеждането на проектирането и проверката на зъбната предавка с CAD системата е много малко. Има възможност за бърза промяна на стойностите на коефициенти в зависимост от преценката на конструктора и многовариантност на решенията.

➤ **Резултати от якостен симулационен анализ на натоварването с CAD системата.**

След работа и анализ на модула Simulations на SolidWorks се установи че не може точно да се дефинира якостен анализ при определените входни данни. Определиха се следните проблеми:

- В библиотеката на програмата има материал стомана 20MnCr5, но не може да се укаже термообработката (закаляване и цементация), поради което при проведени симулации се показват некоректни резултати.
- Не е възможно коректно да се зададе натоварването - нормалната сила или еквивалентните три сили – радиална, периферна и аксиална. Затруднението е породено от ъгъла на наклона на зъбите, поради което еволвентната работна повърхнина на зъба е много сложна.
- Програмата не генерира точен 3D модел на еволвентния зъбен профил, а опростен такъв.

Получените резултати от опитите за якостни симулации не изведоха коректни резултати поради посочените недостатъци. Като заключение може да се отбележи, че SolidWorks Simulations не е много подходящ специално за якостно изследване на зъбни предавки. За целта е необходимо да се работи с други специализирани в якостните анализи програми.

➤ **Сравнителен анализ на резултатите**

При сравняване стойностите на резултатите от ръчното изчисление по стандарта ISO 6336 и автоматизираното изчисление чрез CAD системата Autodesk Inventor се установяват сходни резултати, поради факта че и двете методики са на базата на стандарта ISO 6336. От

симулационния анализ чрез SolidWorks Simulations не се получиха коректни резултати, поради което не се приема за подходящ софтуер за тази задача.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените стойности на резултатите от якостните изчисления и симулации показват, че независимо от избрания метод се получават приблизително равни резултати. Разликите са вследствие в малките разлики при определяне на коефициентите които участват в изчисленията на различните методики. Резултатите и по двата метода могат да се приемат за меродавни. За предпочитане е да се работи по съвременните начини за якостни проверки чрез използването на съвременни CAD системи. За симулационни анализи да се използват специализирани за целта софтуери. При използването на CAD системите за проектиране и якостни анализи има възможност за по голяма гъвкавост при определяне на коефициентите и многовариантност на изчисленията за много кратко техническо време.

## REFERENCES

Dimitrov, Y. & Kamenov, K., (2019) Application of AutoCAD .net api for simulation of cylindrical gears profiling; International BAPT Conference 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 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.

Dobrev, V., S. Stoyanov, A. Dobreva, (2015) Design, Simulation and Modal Dynamics of Gears and Transmissions, "International Conference on Gears 2015", VDI-Bericht 2255, Munich, pp. 695-707, ISSN 978-3-18-092255-3.

Mollova, G., A. Dobreva, (2018) Differences in Calculations of Involute Gear Trains in Three Main Standards, 57th Annual Conference of Ruse University and Union of Scientists, University of Ruse, 2018, FRI-2.203-1-TMS-04, ISBN1 311-332

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.