

Szimmetrikus és aszimmetrikus, evolvens, külső fogazatú, hengeres fogaskerékpárok névleges fogtőfeszültsége

Zahnfuß-Nennspannung von symmetrischen und asymmetrischen, evolventisch-aussenverzahnten, zylindrischen Zahnradpaaren

Debreczeni Dániel MSc, PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet,

Dr. Kamondi László PhD, címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

INHALT

In diesem Artikel wird die Zahnfuß-Nennspannung von symmetrischen und asymmetrischen, evolventisch-aussenverzahnten, zylindrischen Zahnradpaaren untersucht. Der Artikel bietet einen Einblick in die Korrelation zwischen den Ergebnissen der analytischen und numerischen Methoden bei den in der 1. Tabelle stehenden, symmetrischen Profilen. Die asymmetrischen Varianten sind durch FE Simulationen analysiert. Die wichtigsten Merkmale der FE Modelle ist auch kurz vorgestellt.

Das Ziel des Artikels ist, ohne die Notwendigkeit der Vollständigkeit, durch Beispielen auf die Unterschiede zwischen amerikanischen und europäischen Normen hinweisen und mit den Ergebnissen von FE Simulationen vergleichen. Dieser Artikel soll aufgrund seiner Einschränkungen keine allgemeine Schlussfolgerungen ziehen. Die dafür notwendigen Auswertungen werden in weiteren Arbeiten vorgestellt.

1. BEVEZETÉS

A modern hajtóművekkel kapcsolatban, a teljesítményhajtások további elemihez hasonlóan, általános igény az azonos méretek mellett átvihető nyomaték folyamatos növelése. Ez a célkitűzés a fejlesztőmérnökök számára egyre fontosabbá teszi az egyes igénybevételekkel szembeni biztonsági tényezők minél pontosabb becslését. Ezáltal biztosítva a sorozatgyártásban előírt kiesési valószínűséget. Erre szolgálnak például többek között Li [6] a fejmagasság tényező hatását valamint Zhan [8] az AGMA [1], [2] formulái szerinti eredmények numerikus számításokkal való egyezőségének vizsgálatát célzó munkái.

A fogtőteherbírással szemben növekvő követelmények, a kijelölt forgásirányú hajtóművek esetén, az aszimmetrikus profilok több területen történő megjelenését eredményezték. Ezen kerékpárok analizálásával valamint a szabványosított módszerekbe történő integrálásával többek között Langheinrich [5] foglalkozik.

1. táblázat: Szimmetrikus elem párok

Sorszám	Jelölés	m_n [mm]	z_1 / z_2 [-]	x_1 / x_2 [-]	$\alpha_n A$ [°]	$\alpha_n B$ [°]	β [°]	h_{aP0}^* [-]	ρ_{aP0}^* [-]	S_R [X m_n]			
1	m5z35rf02a1515	5	35/35	0/0	15	15	0	1.25	0.2	4			
2	m5z35rf02a2020				20	20							
3	m5z35rf02a2525				25	25							
4	m5z35rf03a1515				15	15							
5	m5z35rf03a2020				20	20							
6	m5z35rf03a2525				25	25							
7	m5z35rf04a1515				15	15							
8	m5z35rf04a2020				20	20							
9	m5z105rf02a1515		105/105			15			15				0.2
10	m5z105rf02a2020					20			20				
11	m5z105rf02a2525					25			25				
12	m5z105rf03a1515					15			15				
13	m5z105rf03a2020					20			20				0.3
14	m5z105rf03a2525					25			25				
15	m5z105rf04a1515					15			15				
16	m5z105rf04a2020					20			20				

A jelenlegi munkában az 1. táblázatban szereplő, szimmetrikus elempárok európai [3], [4] és amerikai [1], [2] szabványok szerinti analitikus és végelemes úton meghatározott névleges fogtőfeszültsége, illetve az aszimmetria hatásának numerikus számítások alapján prognosztizált jelentősége kerül bemutatásra.

2. FE MODELLEK BEÁLLÍTÁSAI

Az elvégzett numerikus számítások a gyakorlatban leginkább meghatározó analitikus módszerrel összehangban síkbeli deformációs állapotra vonatkoznak. A vizsgálatok során tehát kizárólag síkbeli modellek kerülnek alkalmazásra. Ez a megközelítés az alkalmazott profilgeometria végelemes analízisek szerinti viselkedésének minimális számítási kapacitás melletti feltérképezését és analitikus módszerekkel való, közvetlen korrelációs vizsgálatát teszi lehetővé. A modellezett fogaskerékpárok Pfauter-féle megmunkálásnak megfelelő, gyártáshelyes származtatása, Litvin [7] munkája nyomán, egy saját készítésű programmal történik.

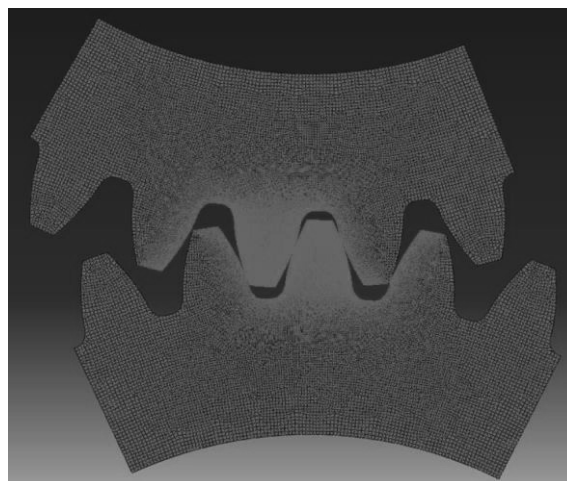
Az elempárok érintkezése Hertz-féle vagyis súrlódásmentes kontaktként definiált. Az érintkező fogaskerek a számítás során végig külön elemekként kezeltek.

A jelenlegi szimulációk során az eredmények minél nagyobb mértékű stabilitását szem előtt tartva kvadratus négyzet háló került alkalmazásra. A fogtőben szükséges elemméret előzetes számítások segítségével az alkalmazott modul függvényében került meghatározásra. Ezen vizsgálat eredményei a terjedelmi korlátok miatt ebben a munkában

nem kerülnek külön bemutatásra.

A fogtőfeszültségkép meghatározásánál, egy adott fog geometriailag jól behatárolható területének vizsgálatáról réven szó, kézenfekvőnek tűnik az importált geometria kiterjedésének nagymértékű csökkentése. Ez alapvetően két úton, mégpedig a figyelembe vett fogok számának valamint a koszorúk vastagságának előírásán keresztül lehetséges.

A szimulációban szereplő elemenkénti fogság, Langheinrich [5] munkája alapján, célszerűen 5-re választandó. A vizsgált fog minden esetben középen helyezkedik el, ami jelen esetben mindkét oldalon 2-2 további fogat jelent. A minimálisan szükséges visszahatás nélküli vastagság az ISO 6336 [3] szabványnak megfelelően került rögzítésre.



1. ábra: FE modellek geometriai korlátai

A tárgyalt, 1. ábrán látható geometriai korlátokkal rendelkező modellek szűrőpróba szerű elempárok kiválasztásán keresztül teljes kiterjedésű esetekkel is összevetésre kerültek.

2. táblázat: Határfeszültség előírása

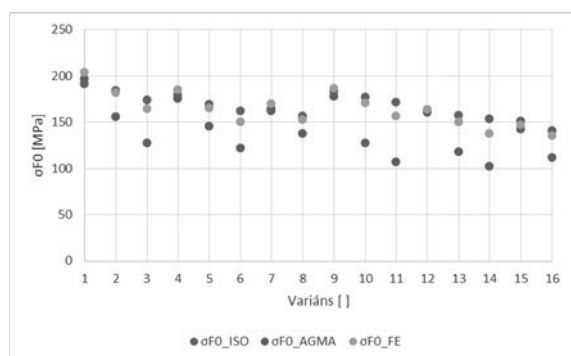
Anyag	16MnCr15	
Hőkezelés	Betétben edzett	
Utólagos kezelés	Nincs	
Rugalmassági modulusz	206 000 MPa	
Kontrakciós tényező	0.3	
Anyagminőség	MQ	
Terhelési ciklusszám	$3 \cdot 10^6$	
AGMA 2001 / AGMA 2101		
Hőmérséklet tényező	K_T / Y_Θ	1
Megbízhatósági tényező	K_R / Y_Z	1
ISO 6336		
Feszültségkorrekciós tényező	Y_{ST}	2
Relatív bemetszés érzékenységi tényező	Y_{relT}	0.997
Relatív felületi tényező	Y_{relI}	0.964
Méret tényező	Y_X	1

Az összehasonlítások megerősítettek, hogy a választott geometriai határok eredményekre gyakorolt elhanyagolható hatását.

3. SZIMMETRIKUS ELEMPÁROK EREDMÉNYEINEK KORELÁCIÓJA

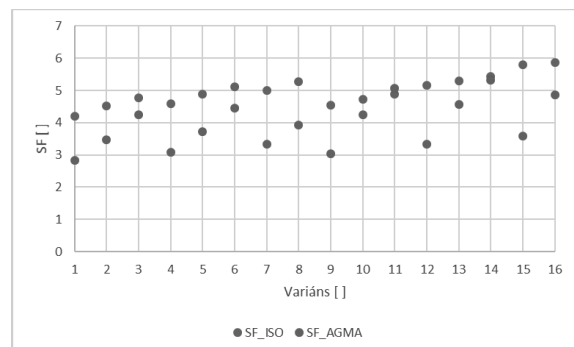
Az 1. táblázatban szereplő fogaskerékpárok fogtőfeszültségének meghatározása a [1], [2], [3], [4] szereplő metódusok, valamint a 2. fejezetben részletezett modellek segítségével történik. A kapcsolódó fogaskerek geometriája minden esetben identikus. A kerületi vonalnyomás 300N nagyságú.

Az említett szabványok névleges fogtőfeszültségre vonatkozó számítási eljárásainak részletes bemutatása nem képezi a jelenlegi munka tárgyát. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy még az európai szabvány csakis a hajlító igénybevételt tekinti mérvadónak, addig az AGMA szabvány a fogtő nyomó igénybevételét is figyelembe veszi a kalkuláció során. Ezek alapján az AGMA szabvány esetén előreláthatóan jellemzően kisebb feszültség értékeket várhatunk, mivel a mérvadónak tekintett húzott oldali fogtő a nyomó terhelés figyelembevétele kedvező hatású. Nem szabad elfeledkeznünk azonban arról, hogy a két metódus elméleti megközelítése több eltérést is mutat. Ezen különbségek pedig olykor megzavarhatják a fenn említett tendenciát. A nyomó igénybevétel figyelembevételének elméleti jelentősége mindazonáltal egyértelműen fokozódik profilszög növelésével. Ennek következtében az AGMA szabvány szerinti névleges fogtőfeszültség számítás ISO kalkulációhoz képesti jelentősebb profilszög függését prognosztizálhatjuk, ami vissza is köszön a 2. ábra eredményeiben.



2. ábra: Szimmetrikus elem párok fogtőfeszültsége

Fontos megjegyezni, hogy a kapott feszültségértékek nagysága korántsem tükrözi a különböző módszerek tervezési kritériumainak erősségét. Ez ISO és AGMA szabványok ugyanis eltérő határfeszültség értékekkel dolgoznak. A megengedett fogtőfeszültség meghatározásának részletes ismertetése nem képezi jelenlegi munka tárgyát. A kérdés rövid érintése viszont fontos a tématerület árnyaltságának érzékeléséhez. A használt határfeszültségek az egyes eljárások által figyelembe vett paraméterek 2. táblázat szerinti felvétele esetén, az 1. táblázatban szereplő elem párokra a 3. ábrán látható biztonsági tényezők adódnak. A számítások minden esetben acél fogaskerekre vonatkoznak. Az elem párok nyersanyaga valamennyi variáns esetén normál anyagminőségűnek tekintett [4].



3. ábra: Szimmetrikus elem párok biztonsági tényezője

4. ASZIMMETRIA HATÁSA

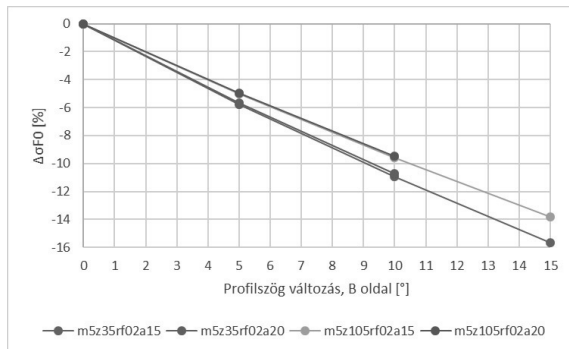
Ebben a fejezetben a fogprofil eltérő húzott és nyomott oldali profilszögének numerikus eredményekre gyakorolt befolyása kerül bemutatásra. A vizsgálatok továbbra is a fogtőben ébredő első főfeszültség alapján kerülnek kiértékelésre. A számítások során használt aszimmetrikus variánsok jelölése a 1. táblázatban összefoglalt szimmetrikus variánsokkal összhangban történik.

A m5z35rf02a2025 kódjelű fogazat tehát az alábbi paraméterekkel rendelkező elem párt jelöli:

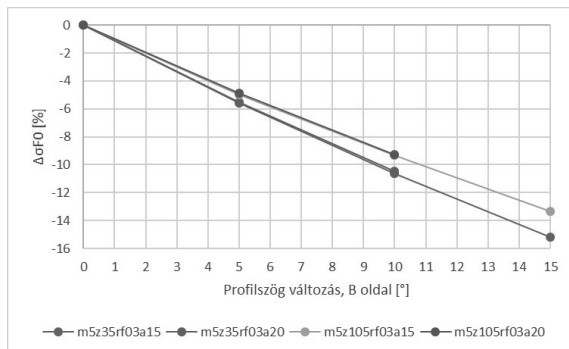
- normál modul: 5mm
- fogsám: 35
- alaprofil fogtőgörbe rádiusz tényezője: 0,2
- működő oldal alaprofil szöge (A oldal): 20°
- támasztó oldal alaprofil szöge (B oldal): 25°
- lábmagasság tényező: 1,25

A nyomott oldali profilszög hatásának kiértékelésénél a támasztó fogoldal profilszögét érdemes a húzott fél függvényében kifejezni.

Ennek következtében olyan profilsorokat nyerünk, amelyek segítségével az egyes jellemzők változásának hatása jól áttekinthető formában ábrázolható. Erre szolgálnak első példaként a 4. és 5. ábrák, amelyek 0.2 és 0.3 alapprofil fogtő rádiusz tényezőjű modellek húzott oldali fogtőfeszültségének nyomott oldali alapprofil szög függését összegzik. A diagramok abszcisszáján a nyomott oldali profilszög húzott oldalhoz képesti növekménye jelenik meg. A 0 pozíció tehát minden esetben a szimmetrikus elempárt jelöli.



4. ábra: Aszimmetrikus profilú, 0.2 alapprofil rádiusz faktorú elempárok fogtőfeszültsége



5. ábra: Aszimmetrikus profilú, 0.3 alapprofil rádiusz faktorú elempárok fogtőfeszültsége

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok során a numerikus számítások eredményeinek szabványosított metódusokkal való korrelációja több különböző geometriájú elempár esetén is bemutatásra került. A vizsgált esetekben kijelenthető, hogy a végeelemes modellek által mutatott maximális névleges fogtőfeszültségek az ISO szerinti eljárással lényegesen jobb egyezést mutatnak az AGMA által leírt számításhoz képest.

A szabványosított formulák helyessége azonban nem vehető össze ilyen egyszerűen. Azt itt felmerülő nehézségeket jól példázzák a

megengedett fogtőfeszültség szabványos meghatározásainak eltérései.

Az aszimmetrikus profilszög választás fogtőfeszültségre gyakorolt hatása különböző rádiusz faktorú fogtőgörbék esetén került kiértékelésre. Az itt kapott eredmények jól mutatják a választott alapprofil fogtő lekerekítésének jelenlévő, ám korántsem meghatározó hatását.

“ A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] AGMA 2001-D04 Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, 12.2004
- [2] AGMA 908 Geometry Factors for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth, 04.1989
- [3] ISO 6336-3 Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 3: Calculation of tooth bending strength 04.2007.
- [4] ISO 6336-5 Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 5: Strength and quality of materials 08.2016.
- [5] Langheinrich, A.: Geometrie, Beanspruchung und Verformung asymmetrischer Stirnradverzahnungen, Dissertation, TE München, 04.2014.
- [6] Li, S.: Effect of addendum on contact strength, bending strength and basic performance parameters of a pair of spur gears, Mechanism and Machine Theory 43, pp. 1557-1584, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2007.12.010>
- [7] Litvin, F. L.: Theory of Gearing, United States Government Printing, Washington, 1989
- [8] Zhan, J.; Fard, M.; Jazar, R.: A quasi-static FEM for estimating gear load capacity, Measurement 75, pp. 40-49, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.036>