

Funkcionálisan gradiens anyagszerkezetű kompozit görgő végeselemes vizsgálata

Felhős Dávid, Dr. Váradi Károly, Dr. Klaus Friedrich

Gépszerkezettani Intézet,

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műegyetem rkp. 3.,

1111 Budapest

Institute for Composite Materials (IVW GmbH.), University of Kaiserslautern,
Erwin-Schrödinger-Strasse, 67663 Kaiserslautern, Germany.

Tárgyszavak: kompozit; epoxi; mikroméretű SiC erősítőrészesecske; nyomóvizsgálatok; végeselemes modellezés.

Bevezetés

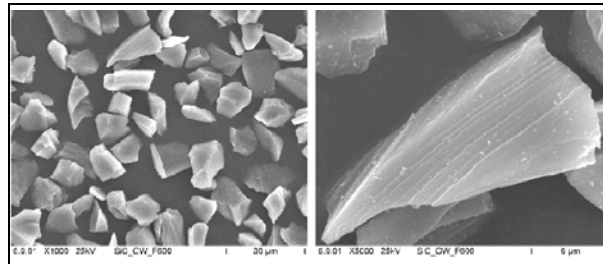
Az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerülnek az anyagszerkezettani kutatások, amelyek az ipar igényeit igyekeznek kielégíteni a korábbiaknál előnyösebb tulajdonságú szerkezeti anyagokkal. *A funkcionálisan gradiens (FG) eloszlású anyagok többek között kedvező kopási tulajdonságaik miatt kerültek a kutatások előterébe.* Jó kopásállóságú görgőket, fogaskereket, csúszógyűrűket készítenek belőlük [1].

Az (FG) kompozitokat az jellemzi, hogy az egyik komponens nem egyenletesen oszlik el a másik komponensben. Kutatásaink során SiC részecskékkel erősített epoxigyanta mátrixú kompozitot vizsgáltunk. Egyenletes anyageloszlású és FG anyageloszlású görgőket készítettünk, ezeket nyomóvizsgálatoknak vetettük alá, és a méréseket végeelem módszerrel modelleztük. A gradiens szerkezetű görgő keresztmetszetében mikrokeménység-mérésekkel határoztuk meg az erősítőrészescskék eloszlását. Mérésekkel meghatároztuk a SiC/epoxi kompozit nyomókarakterisztikáját az erősítőrészescskék térfogatarányának függvényében. *Korábbi kutatásokkal egyetemben [1] mi is azt állapítottuk meg, hogy a gradiens anyagszerkezetű görgők kopási viselkedése kedvezőbb egyenletes anyageloszlású társaikénál a kedvezőbb érintkezési nyomáseloszlás miatt.*

Felhasznált anyagok

Az erősítőrészescskékről készült elektronmikroszkópos felvételen látszik (1. ábra), hogy a részecskék durva éllel és szabálytalan formával rendel-

keznek. Az erősítőrészekék legnagyobb átlagos mérete 9 μm , rugalmassági modulusa igen magas. A felhasznált anyagok jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.



1. ábra Elektronmikroszkópos felvétel az SiC részecskékről

1. táblázat

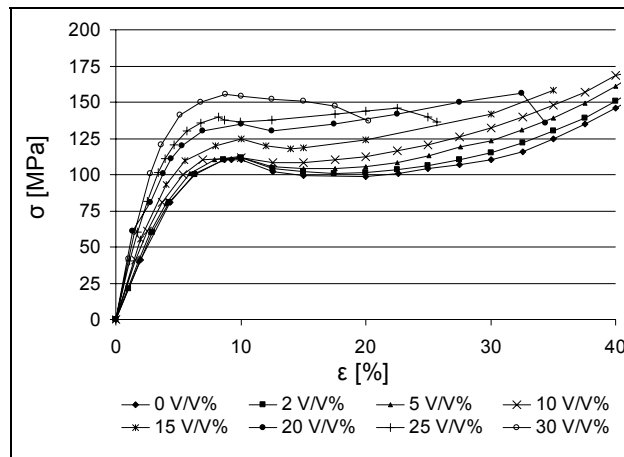
A felhasznált anyagok tulajdonságai

Név	Sűrűség g/cm ³	Rugalmassági modulus, GPa	Méret μm
<u>Térhálósodott mátrix:</u> Epoxygyanta	1,18	2,7	–
<u>Erősítőrészekék:</u> Szilícium-karbid (SiC)	3,2	455	9

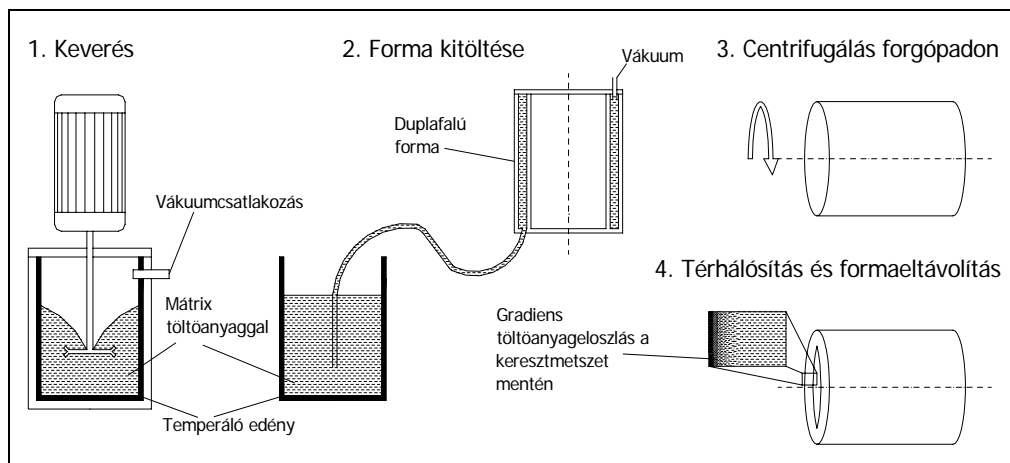
Különböző térfogatszázalékban erősítőrészekéket tartalmazó egyenletes anyageloszlású nyomópróbatesteket készítettünk, és egy univerzális ZWICK anyagvizsgáló berendezésen mértük a kompozit feszültség–alakváltozás görbéit. A nyomóvizsgálatok eredménye a 2. ábrán látható. A SiC V/V% növekedésével növekszik a kompozit rugalmassági modulusa, de kisebb mértékben csökken az alakváltozó képessége. Ennek alapján vizsgálatainkhoz egy könnyen kezelhető SiC V/V%-tartalmú kompozitot választottunk (5 V/V% SiC), ami arra is alkalmas, hogy gradienssé téve a görgőben az anyageloszlást, a kialakuló gradiens jelleg markáns legyen.

A gradiens anyagszerkezet kialakítására különféle eljárásokat dolgoztak ki a felhasznált anyagok és a kialakítandó struktúráknak megfelelően. A gradiens anyagszerkezet készítésének általunk használt technológiai lépéseit mutatja be a 3. ábra. Az első lépés a komponensek összekeverése, vákuum alatt, előírt hőmérsékleten. Második lépés a keverék bejuttatása a dupla falú nemesacél formába. Harmadik lépés a keverék centrifugálása forgópadon, amely során a centrifugálási paraméterek függvényében kialakul a gradiens anyagszerkezet. Esetünkben a centrifugálás 1000 1/min fordulatszámon 30 percig, szobahőmérsékleten zajlott. Utolsó lépés a térhálósítás és a formaeltávolítás, utómegmunkálás. A vizsgálataink során felhasznált 3 görgő képét (tisztá gyan-

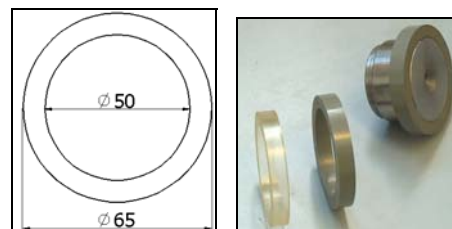
ta, 5 V/V% SiC erősítőrészeket tartalmazó és gradiens anyageloszlású), acélmagját és méreteit a 4. ábra mutatja meg. Az 5 V/V% egyenletes erősítő-részecske eloszlás jó közelítéssel megegyezik a gradiens görgő részecskeel-oszlásával, mivel a gradiens anyageloszlású görgő átlagosan 5 V/V% erősítőrészeket tartalmaz.



2. ábra Az egyenletes anyageloszlású próbatestek feszültség-alakváltozás görbéi nyomó igénybevétel esetén

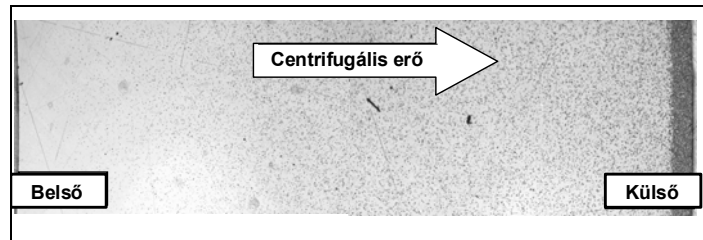


3. ábra A gradiens anyagstruktúra készítésének technológiai lépései

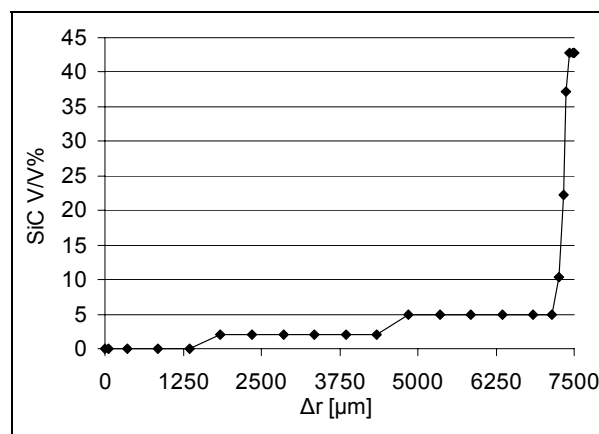


4. ábra A vizsgálatok során használt görgők az acélmaggal és azok méretei

A gradiens görgő keresztmetszetéről készült mikroszkópos felvétel látható az 5. ábrán. A gradiens görgő keresztmetszetében közvetett módon, mikrokeménység-mérések segítségével határoztuk meg az erősítőreszecskek térfogatszázalékának eloszlását. Elsőként felvettük az egyenletes anyageloszlású, próbatestenként különböző arányban SiC részecskéket tartalmazó kompozit univerzális keménységét az erősítőreszecskek térfogatszázalékos arányának függvényében. Ezután a gradiens görgő keresztmetszete mentén is mikrokeménység-méréseket végeztünk, és felvettük az univerzális keménység változását a keresztmetszetben. A két görbét összevetve meghatározhattuk a görgő keresztmetszetében az erősítőreszecskek térfogatszázalékának eloszlását hasonlóan a [2] szakirodalomhoz. A 6. ábrán látható a SiC részecskék mérésekkel közvetett módon meghatározott eloszlása a keresztmetszetben. A kapott eloszlásdiagramon és a mikroszkópos felvételen is azt láthatjuk, hogy a görgő belső pereméről az erősítőreszecskek teljes mértékben elvándoroltak, és a külső peremen egy vékony rétegben igen nagy arányban (~42,5 V/V%) sűrűsödtek össze, kemény kopásálló réteget hozva létre a felületen.

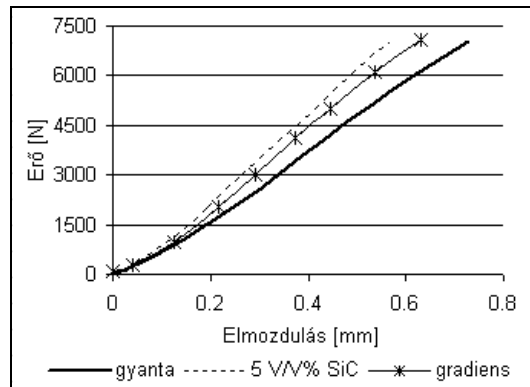


5. ábra Mikroszkópos felvétel a gradiens szerkezetű görgő keresztmetszetéről



6. ábra Az erősítőreszecskek térfogatszázalékának eloszlása a keresztmetszetben

A görgők nyomóvizsgálatait egy univerzális ZWICK anyagvizsgáló berendezésen végeztük el. A görgőkhöz egy szoros illesztésű acélmagot készítettünk, és felvettük a három különféle görgő erő-elmozdulás görbéit. A mérések eredménye a 7. ábrán látható. *Legmerevebbnek az egyenletes anyageloszlású, átlagosan 5 V/V% SiC-t tartalmazó görgő bizonyult, leglágyabbnak a tiszta gyantából készült görgő mutatkozott.*



7. ábra A görgők nyomóvizsgálatainak erő-elmozdulás görbéi

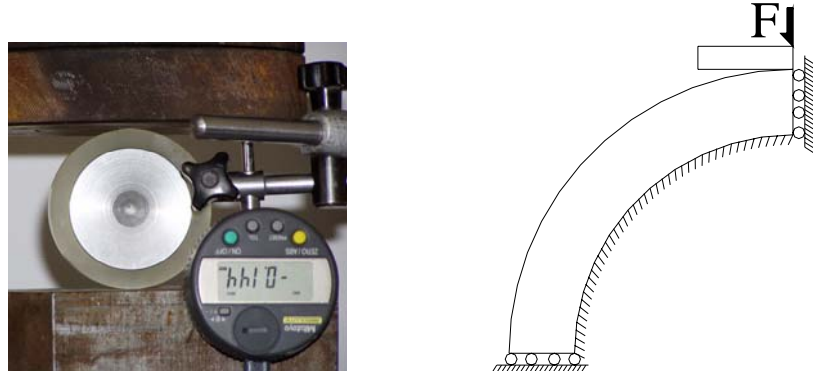
A végeselemes modellek és számítási eredmények

A három különböző anyagszerkezetű, szoros illesztésű acélmaggal ellátott görgő nyomóvizsgálatának mérési elrendezése lehetővé tette, hogy negyedmodellt készítsünk. A terhelést egy nyomólapon keresztül kontakt elemek segítségével adtuk át a görgőnek. A negyedmodell miatt a szimmetriasíkokban megfelelő kényszereket kellett alkalmaznunk, és a szoros illesztés miatt a görgő belső peremét megfogtuk. A 8. ábrán látható a mérési elrendezés, a görgő negyedmodelljének sematikus vázlatja, a megfogásokkal, a nyomólappal és a terheléssel. Az FG görgő rétegei megjelentek a végeselemes modellben is. A 9. ábrán a gradiens görgő keresztmetszetének különböző térfogatszázalékban erősítőrészecskét tartalmazó rétegei láthatók. Ezekhez a rétegekhez rendeltük hozzá a rétegnek megfelelő SiC erősítőrészecske-tartalmú, egyenletes anyageloszlású kompozit anyag törvényét. A végeselemes számítás a nem-lineáris, a megoldás erő-kontroll szerint vezérelt és a módosított Newton-Rapson módszert alkalmazza. A modellek 19402 db. csomópontot és 19029 db. elemet, továbbá 60 db. kontaktelemet tartalmaznak.

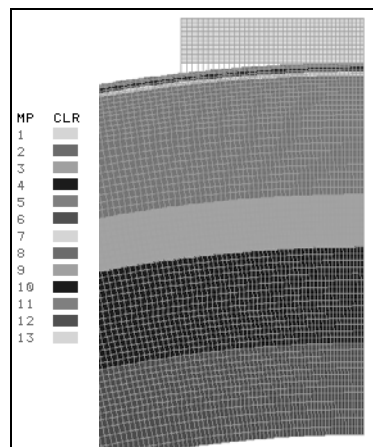
A végeselemes modellek számított erő-elmozdulás görbéit összevetve a mérési erő-elmozdulás eredményekkel (10. ábra), megállapíthatjuk, hogy azok jó egyezést mutatnak.

Egy negyedik, képzeletbeli görgő modelljét is elkészítettük. Ez a negyedik képzeletbeli görgő egyenletes anyageloszlású, de a teljes keresztmetszetében olyan nagy rugalmassági modulusú anyagot tartalmaz, mint a gradiens görgő

a külső peremén (~42,5 V/V% erősítőrészesecske-tartalom). Ezzel választ kaphatunk arra, előnyösebb-e a gradiens anyagszerkezet az egyenletes anyageloszlású teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú, és valószínűleg nagy kopásállóságú anyagszerkezetnél.



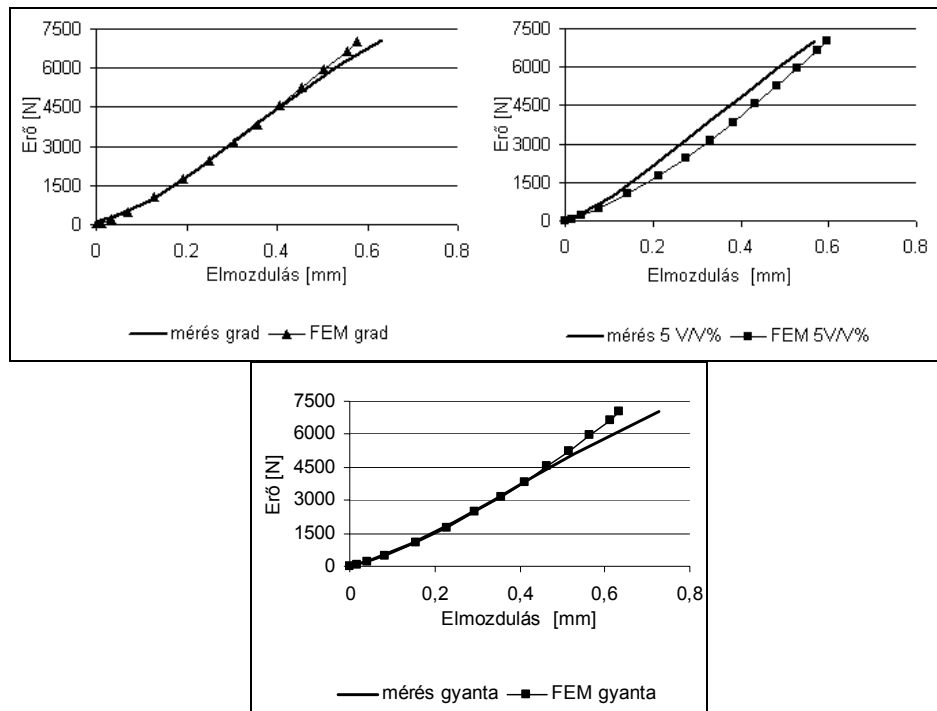
8. ábra A mérés elrendezés és a görgő negyedmodelljének sematikus vázlata



9. ábra. A gradiens görgő keresztmetszetének rétegei

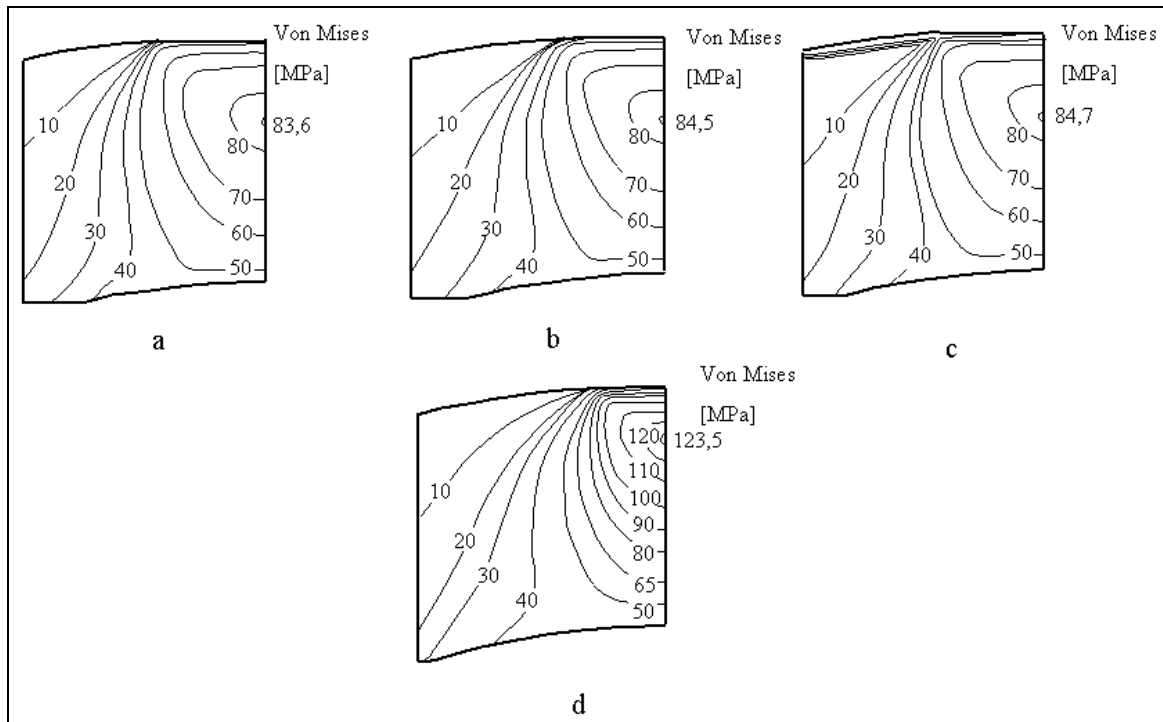
Elemelve a végeleemes számítások eredményeit, a négy görgő feszültség- és alakváltozás-eloszlásának képeiben egyetlen alapvető különbség fedezhető fel (11.-12. ábra). *A teljes keresztmetszetben nagy rugalmassági modulusú görgőben 50%-al magasabb egyenértékű feszültség alakul ki, ugyanakkor kevesebb, mint feleakkora egyenértékű alakváltozás ébred, mint a többi görgőben.* A gradiens görgő esetében a külső rétegben alakul ki magasabb feszültség, mint a másik két esetben, de ezzel együtt kisebb alakváltozás jön létre ebben a nagy rugalmasságú rétegben. Ez azzal magyarázható, hogy a

gradiens görgő kisebb rugalmassági modulusú magja könnyen deformálódhat, ezért a nagy rugalmassági modulusú külső réteg „szélesebb felületen támaszkodik meg”, így a külső rétegben nem alakul ki olyan nagy feszültség, mint a teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú görgőben. Emiatt a külső réteg nincs kitéve nagy igénybevételnek, ami kedvezően befolyásolja a görgő kopási tulajdonságait.



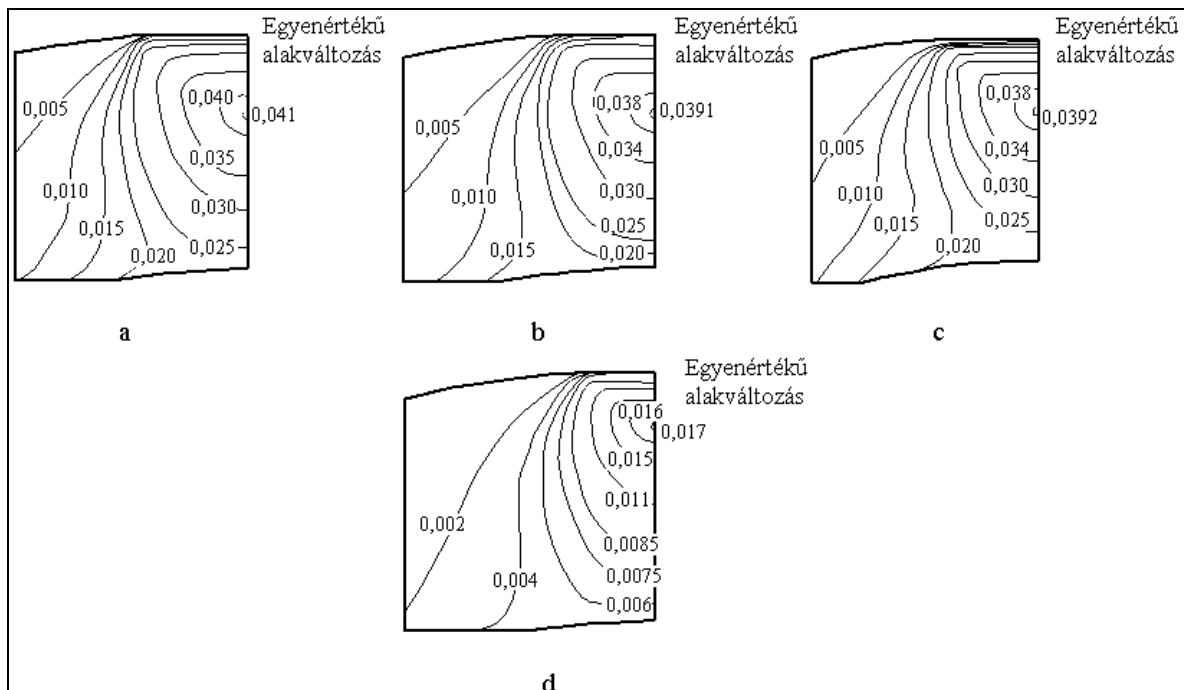
10. ábra. A görgők nyomóvizsgálatának erő-elmozdulás eredményei mérésből és számításból

A négy különböző görgőn kialakuló érintkezési nyomáseloszlásokat hasonlítja össze a 13. ábra. A teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú görgő érintkezési tartománya a legkisebb, és ott alakul ki a legmagasabb érintkezési nyomás is. A *gradiens görgő érintkezési tartományának mérete és az ott kialakuló érintkezési nyomás csak kis mértékben különbözik a tiszta gyantából álló és az egyenletes anyageloszlású 5 V/V% SiC-t tartalmazó görgőn kialakuló érintkezési feszültségektől, ugyanakkor az egyenletes anyageloszlású megoldás a kisebb felületi keménység miatt gyengébb kopási viselkedésű, mint a gradiens párja. A végeselemes számítások eredményei arra engednek következtetni, hogy az általunk megvizsgált görgők közül a gradiens anyagszerkezetű görgő bír a legkedvezőbb kopási tulajdonságokkal, mivel a kopásálló külső réteg ellenére sem növekedtek meg a feszültségek az érintkezési tartomány környezetében.*

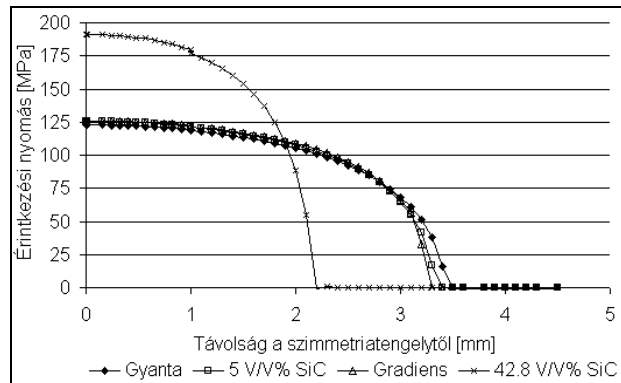


11. ábra A négy különböző görgőn kialakuló feszültségállapot 7000 [N] terhelés hatására

- a) tiszta gyantából készült görgő, b) 5 V/V% SiC erősítőrészecskét tartalmazó görgő, c) gradiens anyageloszlású görgő, d) teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú anyagból álló görgő (12. ábra magyarázata is)



12. ábra A négy különböző görgőn kialakuló alakváltozási állapot 7000 [N] terhelés hatására



13. ábra. Az érintkezési nyomás eloszlása a négy különböző görgő esetén

Következtetések

- A SiC részecskékkel erősített epoxigyanta mátrixú kompozit centrifugálással gradienissé tehető, a peremén egy igen vékony rétegben nagy térfogatszázalékban (42,5 V/V%) dúsulnak fel az erősítőrészecskék, kopásálló, kemény felszín hozva létre a görgőn.
- A mikrokeménység vizsgálata az erősítőrészecskék térfogatszázalék-eloszlásának a közvetett mérésére alkalmas, segítségével a gradiens görgő keresztmetszetében az anyageloszlás meghatározható.
- A kétdimenziós nemlineáris anyagtörvényű végeselemes modellek képesek jól leírni a különböző anyagszerkezetű görgők mechanikai viselkedését.
- A gradiens anyageloszlású görgőn nyomási igénybevétel esetén kedvezőbb nyomáseloszlás és nagyobb érintkezési tartomány alakul ki, mint a teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú, azonos felületi keménységű görgőben.
- Mivel gradiens görgő esetében az érintkezési tartományban kedvezőbben alakul a feszültségeloszlás, mint a teljes keresztmetszetében nagy rugalmassági modulusú, azonos felületi keménységű görgőben, a gradiens görgők hosszabb élettartama és kedvezőbb kopási viselkedése várható, mint az egyenletes anyageloszlásúaké.

Irodalom:

- [1] Christoph L. Klingshirn: Gradientenwerkstoffe zur Anwendung in Gleitlagern und Walzenbezügen, PhD. Diplom, Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern 2004.
- [2] Watanabe, Y., Fukui, Y.: Fabrication of functionally-graded aluminium materials by the centrifugal method. Aluminium Transactions 2 (2000), p. 195–208.

Röviden...

Oldószermentes poliuretándsziperziók

A *Syntegra YM 2000* és *YM 2100* márkanévű termék a **Dow Chemical Co.** két új adalékanyaga, amelyeket *csökkentett oldószer tartalmú bevonatok, ragasztók, tömitők és elasztomerek feljavítására használnak*. Mindkét vizes PUR disziperzió oldószermentes, és ezáltal csökkentik a felhasználóknál és a késztermékben az illékony szerves anyagok párolgását. Mindkét polimer öszszeférhető más polimerdisziperziókkal, és alkalmazható önmagában vagy más polimerekkel (pl. akrilátlátexekkel) társítva textilbevonatokban, hajlékony vízálló membránokban vagy ragasztókban. Hasonló anyagokkal összehasonlítva a *Syntegra PUR* disziperzióknak nagyobb (>50%) a szárazanyag-tartalma, ezek a disziperziók stabilabbak, kifejezettebbek a tulajdonságaik. Nagyobb koncentrációjuk miatt kevesebb vizet tartalmaznak, ezért olcsóbb a szállításuk, és gyorsabban száradnak. Előnyeik a PUR kedvező alaptulajdonságait (tartósság, tapadóképeség, szabályozható kikeményedési sebesség, ellenőrizhető térhálósodás) tovább fokozzák. A két új PUR-disziperziót a **Dow** saját – oldószermentes – diszipergálási technológiájával, a *DisPURsa* eljárással gyártja. (További információk: [www. polyurethanes.com](http://www.polyurethanes.com) vagy www. pur-case.com)

(*Plastics Engineering*, 60. k. 6. sz. 2004. p. 7.)

Mattító adalék bevonatokhoz

Az akrilátalapú mikrorészecskéket tartalmazó *Techpolymer* (a Sekisui Plastics Co.gyártmánya) a fedőrétegbe keverve mattítja a felületet, átlátszó műanyagban fényszóródást idéz elő, és ezzel csökkenti a fényáteresztést, homályosodást okoz. A *Techpolymer* törésmutatójának vagy a bekevert mennyiség változtatásával különböző hatás érhető el. A mikrorészecskék a fedőrétegen egyenetlenséget, emiatt fényszóródást okoznak és így keltik a matt felület látszatát. A *Techpolymer* oldószerálló, könnyen elosztható, és erősebben épül be a kötőanyagba, mint a szilícium-dioxid vagy más szervesetlen mattító részecske. (További információk: www. TECH-P.com)

(*Modern Plastics*, 34. k. 9. sz. 2004. p.112.)