

Üreges kerámia részecskékkel erősített alumínium mátrixú kompozit terhelhetőségének vizsgálata zömítéssel

Détári Péter – Dr. Hans-Peter Degischer

Bevezetés

A szerkezeti anyagokkal szemben támasztott egyre növekvő követelményeknek a hagyományos ötvözetek nem minden esetben felelnek meg. Emiatt új anyagok kutatása és fejlesztése vált szükségessé. Ezen anyagok sorába tartoznak a kompozitok, amelyek napjaink egyik legígéretesebb szerkezeti anyagai [1].

A kompozit anyagok egyik jellegzetes képviselői a fém mátrixú kompozitok. A fémes mátrixú kompozitok kutatásában különösen nagy figyelmet szenteltek a könnyűfémeknek, közöttük is az alumíniumnak. Ezt az alumínium nagyon kedvező tulajdonságai indokolták, amelyek a szál- illetve részecske-erősítéssel még szélesebb, eddig elérhetetlenek hitt tartományokat kínálnak a felhasználónak [2].

A kutatások kezdeti szakaszában leginkább a szálerősítésű (hosszú-, illetve rövid szálerősítésű) kompozitokra fordítottak nagyobb figyelmet, mert ezen anyagok szálirányban mért mechanikai tulajdonságai messze meghaladják az alapfém alkalmazásával, illetve részecske-erősítéssel kapható tulajdonságokat. Ugyanakkor nem mindig előnyös a mechanikai tulajdonságok anizotrópiája, és problémát jelent a szálak gyártása és előkészítése is. Ezért sok esetben kedvezőbb lehet mind a tulajdonságokat, mind az árat tekintve a részecske-erősítésű kompozitok alkalmazása. Ez indokolta ennek az anyagnak az elmúlt években folyó széles körű kutatását.

A kompozitok elterjedését nehezíti, hogy a mai mérnöki gyakorlatban anyagjellemzőik kevésbé ismertek, mint a hagyományos szerkezeti anyagoké, valamint az a tény, hogy tulajdonságuk, viselkedésük összetétele sokféleségüktől, gyakran gyártási módjuktól függően, igen széles határok között változik. Ezért is fontos az egyes kompozit anyagok anyagvizsgálati eszközökkel történő minősítése.

Kísérleti anyag

A cikkben bemutatásra kerülő anyag alumínium mátrixú, kerámia-részecske-erősítésű kompozit. A mátrix anyaga: Al99.99. Az erősítő anyaga: üreges kerámia részecskék (gömbök), összetétele: SiO₂: 54,5%; Al₂O₃: 36,1%; Fe₂O₃: 5,3%; TiO₂: 1,3%; szerves anyag: 0,2%. A részecskék átlagos mérete: 150 µm, falvastagsága, 5 µm. [3]

A vizsgálati anyag tömb formában a bostoni Northeastern University kompozit-laboratóriumában készült az ún. nyomás alatti átitatásos, infiltrációs eljárással, melynek során 690 °C-on, közel 7·10⁵ Pa nyomáson a megolvadt alumíniumot a részecskék közé sajtolták.

A tömb gyártása során az infiltráció után a hőmérséklet emelkedésére, az alapanyag és a kerámia részecskék közti exoterm reakció létrejöttére utaló jeleket tapasztaltak. A későbbi elektronmikroszkópiái

vizsgálatok alapján bebizonyosodott, hogy ez a reakció az alumínium mátrix által a kerámia gömbök szilíciumoxid dezoxidációja (4Al+3SiO₂→2Al₂O₃+3Si). Ez a reakció azonban körülbelül a tömb közepénél megállt, és az alsó részben nem ment végbe. A két anyagrésszel eltérő tulajdonságai már szemmel is jól láthatóak voltak, mivel abban a részben, ahol nem jött létre a reakció, az anyag tömör és hozzávetőlegesen homogén volt (1. ábra). Ezzel szemben, ahol végbement a fent említett reakció, ott az anyag meglehetősen porózus és inhomogén volt (2. ábra).

Az 1. és a 2. ábrán látható felületek jobb oldali (egyenes) széle a legyártott tömbnek közel a szimmetriatengelyében helyezkedett el.

A vizsgálatok előkészítése

A vizsgálatokat a Bécsi Műszaki Egyetem, Institut für Werkstoffkunde und Materialprüfung-ban végeztük. Mindkét anyagrésszel (reagált és nem reagált) 20x10x10 mm nagyságú, zömítővizsgálatra alkalmas próbatestekre vágtuk, majd mindegyiknek megmértük a sűrűségét Sartorius YD01 típusú mérleggel, amely alkalmas a darab levegőn mért tömegének (0,01 mg pontossággal) és vízkiszorításának mérésére.

A mérések alapján a homogén, nem reagált darab átlagos sűrűsége ρ=1,295 g/cm³ (legkisebb mért érték: ρ=1,267 g/cm³, a legnagyobb mért érték: ρ=1,330 g/cm³); az inhomogén, reagált, rész átlagos sűrűsége: ρ=1,302 g/cm³ (legkisebb mért érték: ρ=1,187 g/cm³, a legnagyobb mért érték: ρ=1,359 g/cm³). Az eredményekből jól látható, hogy a reagált részben jóval nagyobb a sűrűségi értékek szórása, ami a jelentős mértékű inhomogenitás eredménye. A porózus részek igen nagy térfogataránya miatt ennek az anyagrésszelnek a vizsgálata csak korlátozott mértékben volt elvégezhető, és az eredményekre a nagy szórás volt a jellemző. Emiatt a mérési eredmények a nem reagált részből készült próbatestekre vonatkoznak.

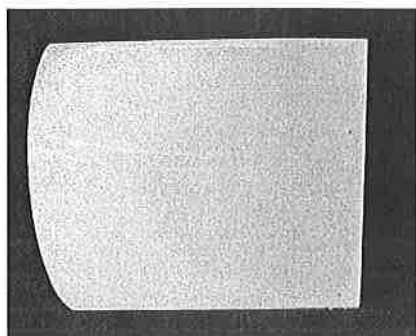
A vizsgálatok és eredményei

A próbatestek ciklikus zömítővizsgálatából az anyag rugalmassági modulusát lehetett meghatározni. A maximális alakváltozástól függően két vizsgálat történt:

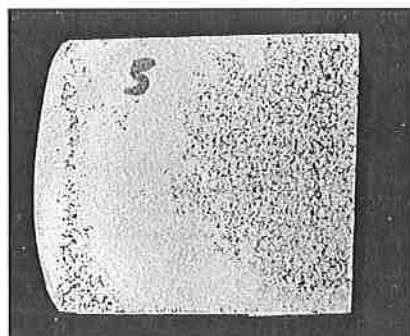
- 10% alakváltozásig. A leterhelések 2,5%, 5% és 7,5%-nál kezdődtek és 1 MPa feszültségig tartottak (3. ábra).

- 70% alakváltozásig. A leterhelések 5%, 25% és 35%-nál kezdődtek és 1 MPa feszültségig tartottak (4. ábra).

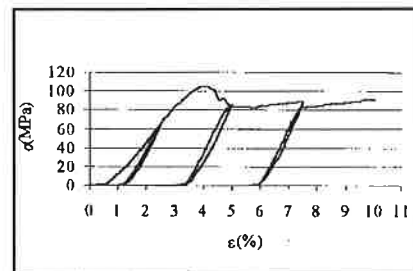
A 70% alakváltozásig tartó görbék elemzésénél definiálni kell a maximális feszültséget (σ_{max}), és az ehhez tartozó alakváltozást (ε). Míg a 10% alakváltozáshoz tartozó görbéknél egyértelmű volt ennek a két



1. ábra. Reakciómentes rész

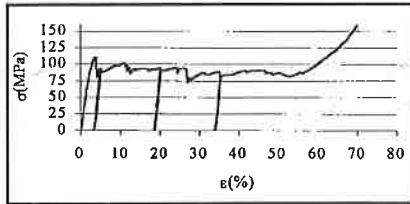


2. ábra. Reakcióban részt vett rész



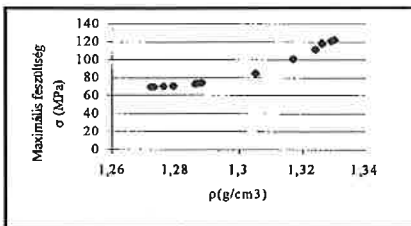
3. ábra. A ρ=1,317 g/cm³ sűrűségű darab ciklikus zömítőpróbájának σ-ε görbéje (ε_{max}=10%)

értéknek a definíciója, mert ott csak egy helyen vett fel a σ értéke maximumot, addig a 70% alakváltozásig végzett vizsgálatoknál a görbéknek több lokális maximum értéke is van. A lokális maximumok közül azt tekintettük a görbe maximális feszültség értékének, amelyet a vizsgálat kezdetét jelző $\epsilon=0\%$ -tól haladva elsőként ér el a darabban ébredő feszültség, és amely után jelentkezik az első nagy repedés a csúszósíkban. A maximális feszültséghez tartozó alakváltozás értelemszerűen e feszültségi értéknél, a görbéről leolvasható ϵ érték.



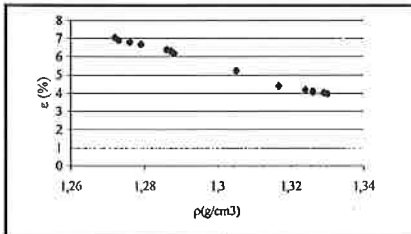
4. ábra. A $\rho=1,316 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű darab ciklikus zömítőpróbájának σ - ϵ görbéje ($\epsilon_{max}=70\%$)

A mérési eredmények feldolgozása a sűrűség függvényében történt. Az 5. ábrán látható a maximális nyomófeszültség változása a sűrűség függvényében. Ennél a feszültségértéknél futott végig az első nagy repedés a darabban az ún. Hartmann-féle elcsúszási síkok mentén. A görbe közel lineáris jellegű. Az anyagot e terhelés fölött szerkezeti anyagként használni a gyakorlatban nem lehet. A σ - ϵ görbéből látható, hogy a σ_{max} -t meghaladó terhelés fölött is jelentős mértékű feszültség képes ébredni az anyagban, ugyanakkor ilyen terhelésnél a tulajdonságok már irányfüggők és csak a nyomás irányában érzékelhető ilyen nagy érték.

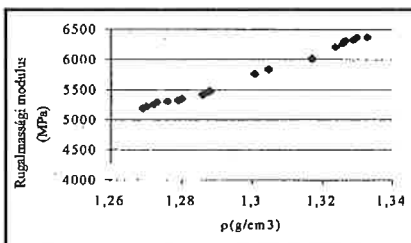


5. ábra. A maximális feszültség a darabokon mért sűrűség függvényében

A 6. ábrán az előbb említett maximális feszültséghez tartozó alakváltozás látható a sűrűség függvényében. Itt is megfigyelhető a közel egyenes karakterisztika, miszerint a sűrűség növekedésével az alakváltozási érték csökken.



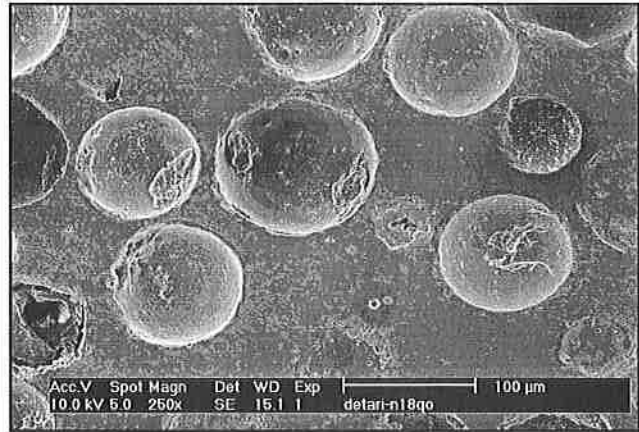
6. ábra. A maximális feszültséghez tartozó alakváltozás a sűrűség függvényében



7. ábra. Az anyag rugalmassági modulusának darabokon mért átlagértéke a sűrűség függvényében

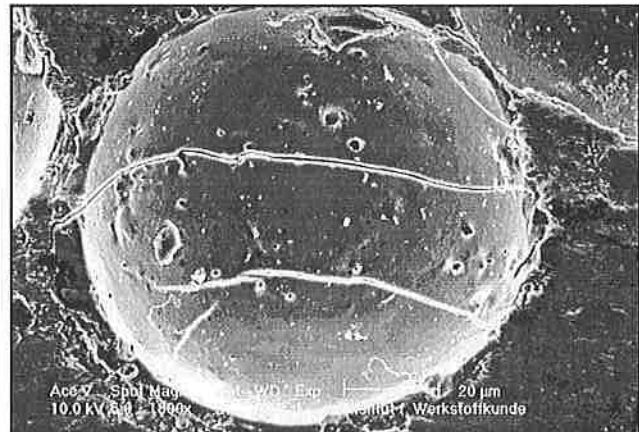
A 7. ábra az anyag rugalmassági modulusának darabokon mért átlagértékét mutatja a sűrűség függvényében. A kísérletek második szakaszában egy $\rho=1,296 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű darabon a terhelés hatására végbemenő lokális alakváltozási folyamatot elemeztük. 0%, 5%, 8% és 12%-os makroszkopikus alakváltozáshoz tartozó próbatetek felületeiről pásztázó elektronmikroszkóppal felvételek készültek. A vizsgálat során nagy figyelmet fordítottunk a

mátrix-erősítő részecske kapcsolatára, a darabon belüli repedések keletkezésének, valamint terjedésének folyamatára. A 0%-os alakváltozáshoz tartozó felvételeken látható, hogy a kerámia részecskék közel egyenletes eloszlással épülnek be az alumínium mátrixba (8. ábra).

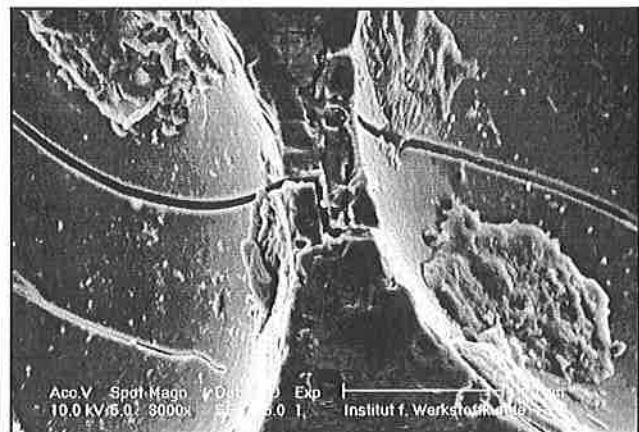


8. ábra. 0% alakváltozásnál jól látható, hogy a részecskék közel egyenletes eloszlásban helyezkednek el a mátrixban

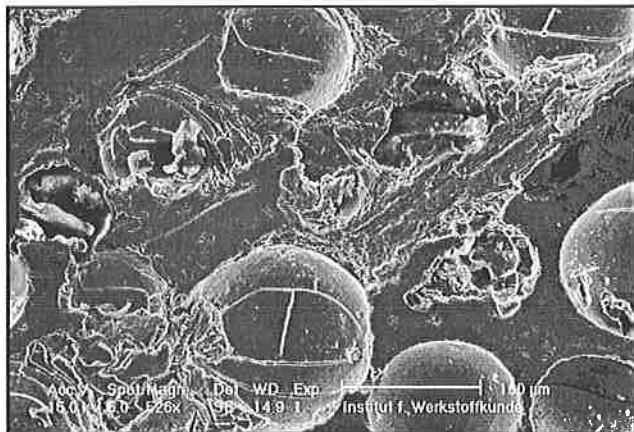
5% alakváltozás esetén már megjelennek a kerámia részecskékben a repedések. Ezek a repedések egymással párhuzamosak és a terhelés irányába mutatnak (9. ábra). A mátrixban csak ott található repedés, ahol két részecske olyan közel van egymáshoz, hogy a terhelés következtében a köztük lévő mátrixréteg nem tudja elnyelni az ébredő feszültséget, és így a kialakult feszültségcsúcs hatására megreped (10. ábra). Már ennél a terhelési szintnél is megfigyelhető annak az elcsúszási síknak a keletkezési helye, amelyben majd az első nagy repedés fog keletkezni. A felvételek szerint a mátrix anyaga ebben a csúszósíkban mozdult el, ugyanakkor a kerámia részecskékben nem csak a terhelés irányában keletkeznek a repedések, hanem arra merőlegesen is (11. ábra).



9. ábra. 5% alakváltozásnál a kerámia részecskékben a terhelés irányába mutató repedések keletkeznek

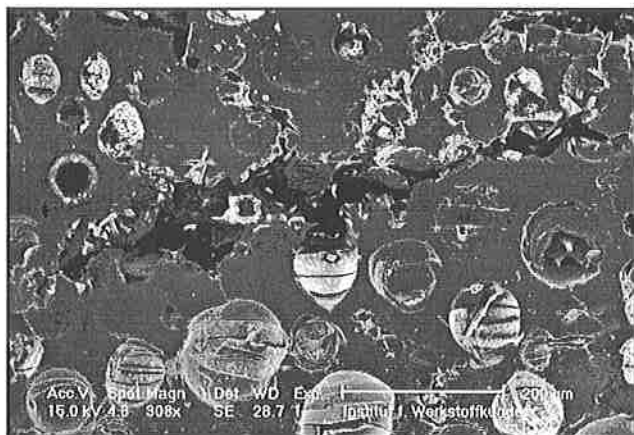


10. ábra. Ha két részecske túl közel van egymáshoz, akkor a köztük lévő mátrixrétegben a terhelés hatására repedés keletkezik ($\epsilon=5\%$)



11. ábra. Már 5% alakváltozásnál megfigyelhető az anyagban keletkező csúszsósík megjelenése

8% alakváltozás esetén a fent említett csúszsósíkokban létrejön a repedés. A mátrix anyagban levő repedés környezetében a kerámia részecskék teljesen összetörnek, és elveszlik golyó formájukat (12. ábra). Ez a nagy alakváltozás azonban csak a repedés környezetére koncentrálódik. A darab többi részén megmaradt az 5% alakváltozásnál látható egyirányú repedésképződés, a mátrix gyakorlatilag repedésmentes (13. ábra).

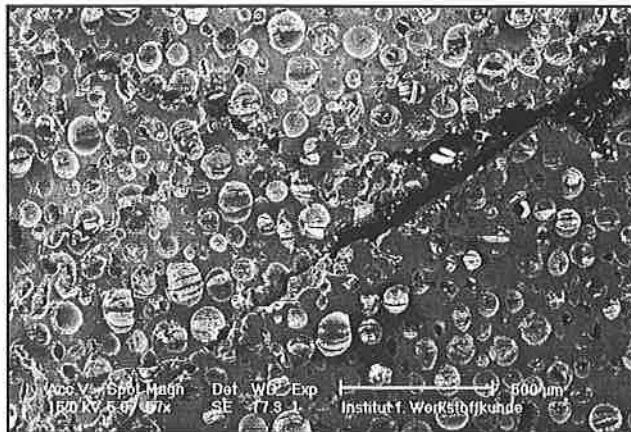


12. ábra. 8% alakváltozásnál a csúszsósíkokban intenzív repedésképződés és -terjedés figyelhető meg

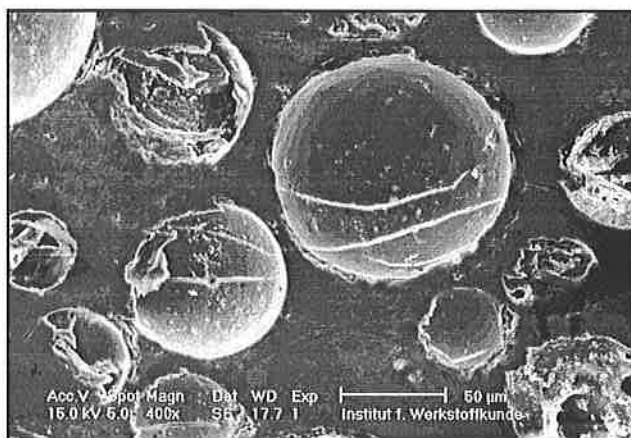


13. ábra. 8% alakváltozásnál a nagy alakítási fok csak a csúszsósík környezetére koncentrálódik. Attól távolabb kisebb az alakítási fok

12% alakváltozásnál az eredeti nagyméretű repedés továbbterjed, és megkezdődik az ebből kiinduló, az eredeti repedésirányra merőleges repedésképződés (14. ábra). A nagy alakváltozás továbbra is csak helyi jellegű, és a csúszsósík környezetére koncentrálódik (15. ábra).



14. ábra. 12% alakváltozásnál megindul a repedésképződés a nagy repedésre merőleges irányban is



15. ábra. 12% alakváltozásnál a nagy alakítási fok szintén csak a csúszsósík környezetére koncentrálódik. Attól távolabb kisebb a helyi alakváltozás

Az eredmények kiértékelése

Az üreges kerámia részecskével erősített alumínium mátrixú kompozit mechanikai viselkedését alapvetően befolyásolja a rideg, repedésre érzékeny kerámia részecske. A kompozit gyakorlati alkalmazása ezért csak kismértékű alakváltozás esetén lehetséges (max. 3-5%). Ennél nagyobb alakváltozásnál a részecskékben keletkező repedések már gyengítik az anyagot, és irányfüggővé teszik a mechanikai tulajdonságait, de a teljes tönkremenetelig jelentős munkamenységet képes elnyelni.

A kompozit előnyös tulajdonságai közé tartozik, hogy a vizsgált alakváltozási tartományban rendkívül jó rezgéscsillapító képességekkel rendelkezik. Ez a rezgéscsillapító tulajdonság a kerámia részecskék üregességéből és a mátrix nagy alakváltozó, feszültségelnyelő képességéből adódik. Ehhez még figyelembe véve az anyag rendkívül kis sűrűségét ($\rho=1,295 \text{ g/cm}^3$) egy jól alkalmazható, könnyű szerkezeti anyagot kaptunk.

Irodalom

- [1] Artinger István, Németh Árpád: Fémek és kerámiák technológiája, 1997.
- [2] Ray Ericson: Foams in the Cutting Edge: Mechanical Engineering 1999/1. 58-61. pp.
- [3] S. T. Milejko: Metal and ceramic based composites, 1997.
- [4] Jürgen Rödel: Rissüberbrücken in keramischen Werkstoffen, 1993.
- [5] Dr. Kóves Elemér: Alumínium kézikönyv, 1984.
- [6] F. Thümmer: Herstellung und Eigenschaften partikelverstärkter TZP(Y)-Werkstoffe mit Mullit, Cr_2O_3 und SiC als Versterkerungskomponenten, 1993.