XI. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2006. március 24-25.

RÉTEGELT KERÁMIÁK VIZSGÁLATA VÉGESELEMES MÓDSZERREL

Tibor Köves, Ján Dusza

Abstract

The microstructure characteristics and indentation fracture toughness of the individual layer of a layered Al_2O_3 / $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ composite have been investigated. Different methods (analytical model, finite element calculation and experimental methods) have been used for the residual stress evaluation in the individual layers and the influence of the residual stresses on the fracture toughness anisotropy and crack propagation in the individual layers have been studied.

Összefoglaló

Rétegelt Al_2O_3 / $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ kerámiák egyes rétegeinek mechanikai tulajdonságai lettek vizsgálva. Különböző módszerekkel történt a maradó feszültség meghatározása (analitikus úton, FEM számítással és méréssel) a különböző rétegekben. A maradó feszültség hatása a törési szívósság anizotrópiájára és a repedésterjedésre az egyes rétegekben volt tanulmányozva.

Bevezetés

A szerkezeti kerámiáknak számos kiváló tulajdonsága van magas és szobahőmérsékleten, úgymint nagy szilárdság-súly arány, keménység, jó kopásállóság, kémiai stabilitás és relatíve jó kúszási tulajdonságok. Azonban, ridegségük miatt nagyon érzékenyek a gyártási hibákra, anyagfolytonossági hibákra, repedésekre, ezért nagyon behatárolt az alkalmazhatósági területük [1,2]. Ezen hibák hatásának mérséklése miatt kezdték el kutatni a rétegelt kerámiákat, mert ezekben, a különböző rétegek hőtágulási együtthatóinak különbsége miatt, a szinterelés utáni lehűléskor maradó feszültség alakul ki[3,4].

Kutatott anyag, és alkalmazott módszerek

A vizsgált rétegelt kerámia 9 rétegű, szabályosan váltakozó rétegekkel, amit a National Research Council, Institute of Science and Technology for Ceramics, Faenza, Italy készített. A rétegek elrendezését az 1. ábra mutatja. A vékonyabbik réteg $193 \pm 5 \mu\text{m}$ vastag Al_2O_3 . A vastagabb réteg $529 \pm 15 \mu\text{m}$ vastag 60 tömeg% Al_2O_3 + 40 tömeg% ZrO_2 (ZTA) kompozit.

A maradó feszültségek meghatározása az MSC.MARC programrendszerrel történt. Az adott méretű, és rétegelrendezésű kerámia 3D-s modelljében a rétegek síkjában az elemméret $\sim 0.14\text{mm} \times 0.14\text{mm}$ volt és minden egyes réteg 10 egyenlő részre lett felosztva, az elemtípus hex8. Az első számításban az Al_2O_3 réteg vastagsága $193\text{ }\mu\text{m}$, az ZTA réteg vastagsága $529\text{ }\mu\text{m}$. A modell készítésénél a szimmetria-feltételeket felhasználva elegendő volt modellezni az eredeti kerámia 1/8-részét (1. ábra). A rétegvastagság arány változásának hatását a maradó feszültségek nagyságára és eloszlására, a fentiekben leírt modell lett használva (ugyanazon méretek – kivéve a rétegvastagság – és anyagparaméterek), azonban a rétegvastagságok ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{ZTA} = 1 : 1 - 1 : 10$) változtak 10 lépésben. A maradó feszültség a rétegek síkjára merőleges irányban, az anyag középvonalában, az oldallap középvonalán, és a sarok”vonal”-ban (1. ábra) lettek vizsgálva.

1. ábra Rétegelt kerámia-, modellszemléltetés

A maradó feszültségek analitikus meghatározásához az alábbi képletek voltak használva [5]:

$$\sigma_A = -\frac{E_A E_B (n+1)(\alpha_B - \alpha_A)(T_1 - T_2)}{xnE_B(1-\nu_A) + E_A(n+1)(1-\nu_B)}, \quad (1)$$

$$\sigma_B = \frac{xnE_A E_B (\alpha_B - \alpha_A)(T_1 - T_2)}{xnE_B(1-\nu_A) + E_A(n+1)(1-\nu_B)}. \quad (2)$$

ahol: E – Young modulus, n – rétegek száma, α – hőtágulási együttható, T_1 – szinterelési hőmérséklet, T_2 – működési hőmérséklet (most szobahőmérséklet), ν – Poisson szám.

A törési szívósság méréssel történő meghatározásánál, a keménységmérésnél alkalmazott terhelés, a törési szívósság és a keménységmérés közben keletkezett repedések hossza közti kapcsolatot monolit – nincs benne maradó feszültség – kerámia esetében az alábbi képlet írja el:

$$K_{IC} = \chi \cdot \left(\frac{P}{c_0^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (3)$$

ahol: K_{IC} – törési szívósság, χ – konstans, P – alkalmazott terhelés, c_0 – repedéshossz.

χ értékére regressziós analízissel 0.089 adódott monolit Al kerámiánál ($K_{IC} = 3.61 \text{ MPam}^{1/2}$) Chevron hornyos technikával [6].

Ha maradó feszültség is van az anyagban, akkor a fenti képlet (3) a következőképpen módosul:

$$K_{IC} = \chi \cdot \left(\frac{P}{c_0^{\frac{3}{2}}} \right) + Y \cdot \sigma_{res} \cdot c_1^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ahol: c_1 – repedés hossz a maradó feszültséget tartalmazó anyagban, $Y = 1.29$, σ_{res} – maradó feszültség

A (4) képletből kiszámítható a maradó feszültség értéke, a mérés adatainak felhasználásával.

Eredmények

A (1,2) analitikus számítás alkalmazásával a maradó feszültség $\sigma_{Al_2O_3} = \sigma_1 = -405 \text{ MPa}$ (nyomó), $\sigma_{ZTA} = \sigma_2 = 148 \text{ MPa}$ (húzó) adódott. A FEM analízis eredményét a 2. ábra mutatja:

2. ábra FEM háló, és maradó feszültség eloszlás az $Al_2O_3 - Al_2O_3 + ZrO_2$ (1/8) próbatest esetén

FEM számítással a feszültségek $\sigma_{Al_2O_3} = \sigma_1 = -405.5 \text{ MPa}$ (nyomó), $\sigma_{ZTA} = \sigma_2 = 216.6 \text{ MPa}$ (húzó) értékre adódtak.

Méréssel, (4) felhasználásával pedig $\sigma_{Al_2O_3} = \sigma_1 = -214.2 \text{ MPa}$ feszültség lett meghatározva.

Az eredményekből látszik, hogy az analitikus és a FEM számítás jó egyezést mutat, azonban a méréssel meghatározott érték jóval alacsonyabb.

A rétegvastagság arány hatását a maradó feszültségekre analitikus számítással a I táblázat, FEM számítással a II. táblázat tartalmazza.

Stress type	Layer width ratio ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$)									
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10
Compression	-259,4	-362,1	-416,9	-451,1	-474,5	-491,5	-504,4	-514,6	-522,7	-529,4
Tension	259,4	181,0	139,0	112,8	94,9	81,9	72,1	64,3	58,1	52,9

I. táblázat Analitikusan számított max. és min. maradó fesz.-ek különböző rétegvast. arányok esetén

Stress type	Layer width ratio ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$)									
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10
Compression	-260,7	-362,1	-417,2	-451,7	-475,2	-492,4	-505,3	-515,5	-523,7	-530,4
Tension	307,4	244,2	209,0	186,7	169,7	157,5	147,0	138,3	130,4	123,4

II. táblázat FEM-el számított max. és min. maradó fesz.-ek különböző rétegvast. arányok esetén

Összehasonlítva az eredményeket, a két módszer jó egyezést mutat a nyomófeszültségek meghatározásakor, húzófeszültségek esetén azonban az analitikus módszer alulbecsli a FEM számítást.

A következő ábra a FEM-el számolt feszültségeloszlást mutatja a keresztmetszet mentén.

3. ábra Feszültségeloszlás a rétegek mentén (FEM számításból) a kerámia rétegekre merőleges irányú tengelyek mentén, de különböző pozíciókban

Irodalomjegyzék

- [1] R.F. Cook and G. M. Pharr: in Materials science and technology, **11**, Mechanical properties of ceramics, (ed. M.V. Swain), 339-407, 1994, Weinheim, VCH
- [2] P.F. Becher: in Materials science and technology, **11**, Mechanical properties of ceramics, (ed. M.V. Swain), 339-407, 1994, Weinheim, VCH
- [3] M. P. Harmer, H.M. Chan, and G.A. Miller: J. Am. Ceram. Soc., 1992, **75**, 1715-1728
- [4] W.J. Clegg, K. Kendall, N. McN. Alford, T.W. Button, and J.D. Birchall; Nature, 1990, **347**, 455-457
- [5] T. Chartier, D. Merle and J.L. Besson: J. Eur. Ceram. Soc., 1995, **15**, 101-107
- [6] F. Toschi, C. Melandri, P. Pinasco, E. Roncari, S. Guicciardi, G. De Portu, J. Am. Ceram. Soc. **86** [9] (2003) 1547-53

Név/tud. fok.: **Köves Tibor**
Munkahely: Bay Zoltán Közalapítvány
Cím: 3519 Miskolctapolca, Iglói út 2.
e-mail: kovest@alpha.bzlogi.hu

Név/tud. fok.: **Doc. RNDr. Ján Dusza, DrSc.**
Munkahely: Institute of Material Research
Cím: Watsonova 47, 043 53 Kosice, Slovak Republic
e-mail: jdusza@imr.saske.sk