

ZÁRÓJELENTÉS

a

Si₃N₄ ALAPÚ KERÁMIÁK TRIBOLÓGIAI ÉS TÖRÉSI VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA ÉS MODELLEZÉSE C. OTKA T 046467 sz.

projekt keretében végzett kutatómunkáról
Témavezető: Dr. Marosné dr. Berkes Mária

I. Kutatási időszak: 2004. április 1. -2008. december 31

II: A kutatás célja:

A pályázat legfőbb célkitűzése a műszaki kerámiák mechanikai tulajdonságainak, tribológiai és törési viselkedésének átfogó vizsgálata, a tönkremeneteli folyamatok fizikai hátterének, a domináns károsodási mechanizmusok és az azt befolyásoló anyagi jellemzők közötti összefüggések tanulmányozása a kopási és törési károsodás fizikai-matematikai modellezésének megalapozása.

III. A kutatási program főbb elemei (A munkatervben rögzített feladatok):

- 1. Különbféle szilíciumnitrid alapú kerámiák dinamikus igénybevétellel szembeni és tribológiai viselkedésének, elméleti és kísérleti tanulmányozása, komplex jellemzése, a károsodási folyamatok anyagszerkezeti hátterének vizsgálata, a mechanikai, törésmechanikai és mikroszerkezeti jellemzők kapcsolatának elemzése a kopási tulajdonságok és az anyagtechnológiai kapcsolatának vizsgálata**
 - 1.1. Műszerezett ütővizsgálatok** és egyéb kiegészítő vizsgálatok a statikus és dinamikus törési szívósság összehasonlítására, a dinamikus törési folyamat jellemzésére
 - 1.2. Kopásvizsgálatok**, különféle mechanikai (keménység-, szilárdsági, szívóssági) valamint mikroszerkezeti (EDS, Rtg. diffr.) és fraktográfiai (SEM) vizsgálatokkal kiegészítve
- 2. A kopási és törési folyamatok fizikai-matematikai modellezésének elméleti vizsgálata, kísérleti megalapozása**
- 3. Eszközfejlesztés**

IV. A kutatási program keretében elért eredmények

Az alábbiakban a kutatási program keretében született eredményeket a főbb témakörök szerinti bontásban közöljük utalva a kutatási szerződés részletes munkatervében (a továbbiakban *MT*) felsorolt részfeladatok megvalósítására az ott használt (*A1*, *A2/1*, stb. típusú) jelölésekkel.

1. Szilíciumnitrid alapú kerámiák mechanikai-tribológiai viselkedésének elméleti és kísérleti tanulmányozása

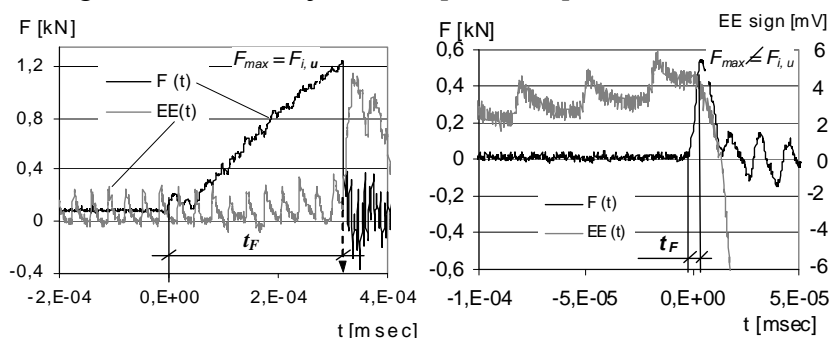
Kutatásainkat a Si₃N₄ kerámiák mechanikai anyagvizsgálatára vonatkozó témakörben specifikus szakirodalmi gyűjtemény és ebből képzett adatbázis [4, 5] összeállításával kezdtük (*MT_A/1*), amely jelenleg közel 60 db nemzetközi szabványt és több, mint 400 szakcikket tartalmaz. A szabványgyűjteményre vonatkozó legfontosabb megállapításunk, hogy a műszaki kerámiák mechanikai anyagvizsgálati eljárásai közül a szilárdsági vizsgálatokra vonatkozóan kellő mértékben kidolgozott nagy mennyiségű nemzetközi szabvány áll rendelkezésre, ugyancsak megfelelő a törési folyamatok és a statikus törési jellemzők fraktográfiai elemzését segítő szabványok kidolgozottsága. A kopásvizsgálatokra vonatkozó szabványok száma a szilárdsági jellemzőkhöz képest korlátozottabb, míg a szívóssági jellemzők tekintetében csak a statikus terheléssel meghatározható K_{IC} törési szívósság mérési módszereire találhatók szabványos útmutatások. Mivel a kutatásaink során vizsgált dinamikus igénybevételi állapotban mérhető jellemzők meghatározására irányuló módszerek kerámiákra ma még kevéssé ismertek, ezért a kerámiák műszerezett ütővizsgálatára vonatkozó eredményeink nemcsak újszerűek, de a szerzett tapasztalatok nagymértékben hasznosíthatók az eljárás nemzetközi szabványosítási folyamatában is [3, 6, 7, 15, 47].

A mechanikai vizsgálatokat az alábbi három csoportba sorolható ötféle különböző szilíciumnitrid kerámia mintán végeztük:

- Monolitikus és C-nanocsővel erősített Si_3N_4 kerámiák (gyártó: Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, MFAKI, Budapest).
- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /grafit nanokompozitok (gyártó: Szlovák Tudományos Akadémia, Szervetlen Kémiai Intézet, Pozsony)
- Ion-implantálással és hőkezeléssel a szinterelést követően módosított szerkezetű Si_3N_4 kerámiák (kiinduló próbák gyártója: MFAKI, Budapest, hőkezelés és implantálás: Hahn-Meitner Intézet, Berlin)

1.1. Műszerezett ütővizsgálatok

- Referencia vizsgálatok céljából statikus K_c törési szívósság meghatározása történt hárompontos hajlító vizsgálattal (MT_A2/1), a mérőszámok az a) csoportbeli mintákon az anyagminőség jellemzésére, a dinamikus K_{I_d} -vel való összehasonlításra és a törési szívósság sebességfüggésének vizsgálatára szolgáltak [1, 6, 18, 36, 38], a b) és c) típusú mintákon pedig a kopás és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatának elemzésére.
- Szisztematikus mérési sorozatok alapján (20 hajlító próbatesten) vizsgáltuk a műszerezett ütővizsgálat információtartalmát Si_3N_4 kerámiákra, meghatároztuk a vizsgálatból származtatható anyagi mérőszámokat és elemeztük a vizsgálati paraméterek hatását a mért jellemzőkre [1, 7, 16]. Korrelációs kapcsolatot mutattunk ki a törési idő és a vizsgálati sebesség között: $t_F = 0,2187v^{-0,9121}$ [47].
- A dinamikus törési szívósság meghatározása műszerezett ütővizsgálattal (MT_A2/1) újszerű anyagvizsgálati eljárás a műszaki kerámiák dinamikus terheléssel szembeni viselkedésének jellemzésére [17, 20, 27, 35]. A vizsgálati technika különös jelentőségét szilíciumnitrid kerámiáknál az a felismerésünk adja, hogy a Si_3N_4 kerámiák töréskor elektromos aktivitást mutatnak (ld. 1. ábra), ami lehetőséget nyújt a törési időnek az ún. elektro-emissziós technikával történő meghatározására. Ezáltal a rendkívül gyors, μs nagyságrendű tönkremeneteli folyamat időbeli lejátszódásáról, a repedéseketkezés és terjedés szakaszáról és annak jellemzőiről pontos, gyors és egyszerű módszerrel kaphatunk felvilágosítást. Az alkalmazott eljárás révén más módszerekkel nem, vagy kevésbé megbízható és bonyolultabb vizsgálatokkal feltárható ismeretekhez, anyagi jellemzőkhöz — pl. dinamikus hajlítószilárdság, dinamikus törési szívósság, törési energia, törési idő —, juthatunk [1, 18, 40].

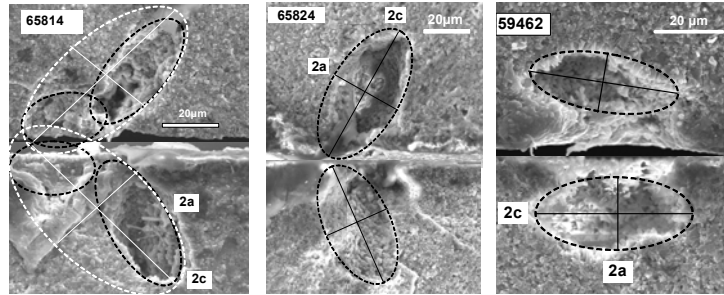


1. ábra Az elektro-emissziós jel és az erő-idő diagram kapcsolata Si_3N_4 ütővizsgálatokor

Vizsgálatainkat (összesen 33 db) bemetszetlen és bemetszett hajlító próbatesteken különböző ütési energiával és terhelési sebességgel végeztük. A méréseket a Szlovák Tudományos Akadémia Anyagtudományi Kutató Intézete Szerkezeti Kerámiák Osztályán, valamint a KFAKI-val együttműködésben nagyszabású fraktográfiai vizsgálatsorozattal (több, mint 400 SEM vizsgálat a töretfelületeken) egészítettük ki. Bár az eredeti munkatervben nem volt célkitűzés a **kerámiák töretfelületének tanulmányozása**, ezek a vizsgálatok új tudományos eredmények elérését tették lehetővé és a kutatás szerves részévé váltak. A legfontosabb megállapítások a következők voltak [2, 15, 19, 28, 36, 37, 40, 48, 58, 61]:

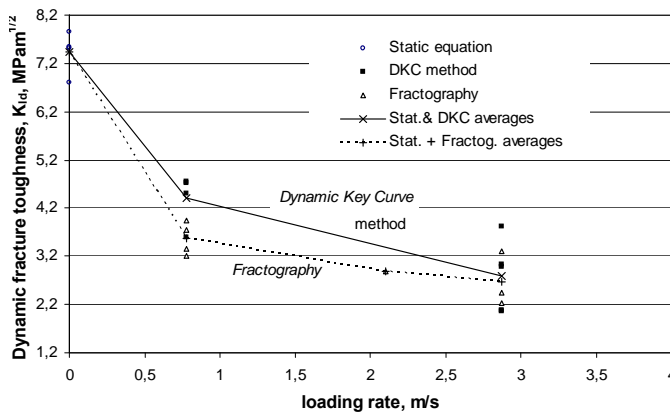
- A *dinamikus* törési szívósság meghatározására monolitikus Si₃N₄ kerámiákon két új kísérleti módszert alkalmaztunk és hasonlítottunk össze. Az elektro-emissziós technikával kiegészített vizsgálat segítségével a K_{Id} értékét bemetszett próbatesteken az ún. dinamikus kulcsgörbe módszer segítségével határoztuk meg, míg bemetszés nélküli próbatesteken a K_{Id} értékét a töretfelületek fraktográfiai elemzésével a törés kiinduló pontjaként szolgáló anyagszerkezeti hibák ismeretében (2. ábra) törésmechanikai alapokon becsültük [1, 19, 41, 46, 48, 58, 61]. A módszerrel költséges törésmechanikai próbatestek nélkül, egyszerű, szabványos hajlító próbákön, gyorsan és elfogadható megbízhatósággal meghatározható a dinamikus törési szívósság. A fraktográfiai módszer a statikus törési szívósság vonatkozásában szabványos eljárás, dinamikus igénybevételre ezen elvek alkalmazása újszerű volt.

$$K_{Ic} = \sigma_f \cdot Y \cdot a^{1/2}$$



2. ábra A K_{Id} meghatározása és a jellemző hibaméret a vizsgált Si₃N₄ kerámiákon

- Új eredmény, hogy a vizsgált kerámiákon egyértelműen igazoltuk a dinamikus törési szívósság terhelési sebességtől való függését — csökkenés a sebesség növekedésével —, amint azt a 3. ábra mutatja [18, 22, 36, 48]. Az eredmények egyúttal egy közeljövőben beadandó PhD disszertáció téziseiként is szolgálnak.



3. ábra A dinamikus törési szívósság értékének sebesség-függése Si₃N₄ kerámiákon

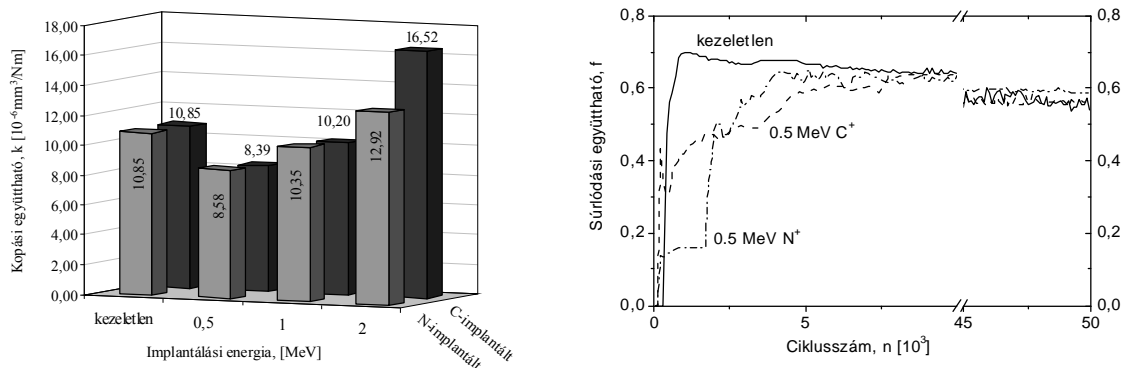
- A K_{Id} sebességfüggésének vizsgálatát C-nanocsöves Si₃N₄ kerámiák műszerezett ütővizsgálatára is kiterjesztettük. A vizsgálati eredmények feldolgozása és publikálása — többek között egy idén beadandó diplomamunka keretében [68] — folyamatban van. Az eddigi megfigyelések alapján az említett két számítási módszer alkalmazhatósága a monolitikus mintákhoz képest korlátozottabb feltehetően a jelentős mikroszerkezeti és ebből adódóan a károsodási mechanizmusokban jelentkező eltérések miatt
- Az eredeti kutatási tervben nem szereplő feladatként nyúlásmérő bélyeggel ellátott ütőpróbatésteleken elemeztük a műszerezett ütővizsgálat egy újabb alkalmazási lehetőségét, a dinamikus rugalmassági modulus meghatározása céljából [16, 23].

1.2. Kopásvizsgálatok mechanikai és fraktográfiai vizsgálatokkal kiegészítve

1.2.1. *Ion-implantált és szinterelést követően hőkezelt Si₃N₄ kerámiák kopási, mechanikai és mikroszerkezeti vizsgálatai (MT_A2/2, B1, B2) A vizsgálatok helyszínei: Miskolci*

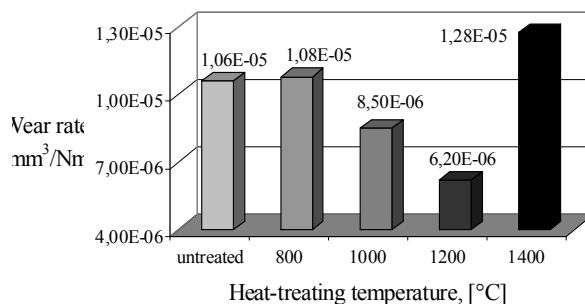
Egyetem Anyagtudományi Intézete, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin, KFAKI, Budapest.

- Egyenes vonalú ciklikus terheléssel pin-on-disc kopásvizsgálatok során referencia (kezeletlen), valamint C^+ és N^+ ionokkal implantált kerámiákon kopási anyagvesztéget, ún. együttes kopási együtthatót és a súrlódási tényezőt határoztunk meg. Kisenergiájú imlantáció az együttes kopást, valamint a kopás kezdeti szakaszára jellemző súrlódási együtthatót csökkentette (4. ábra). A kedvező hatás a felület alatt kialakult amorf réteg okozta nyomó maradó feszültségekre vezethető vissza [8, 9, 10, 12, 13]. A C^+ implantációs kísérletek az alkalmazott technológiai paraméterek tekintetében újszerűek, mások által az irodalomban eddig nem publikált vizsgálatok voltak.



4. ábra Az implantálási energia hatása Si_3N_4 kerámiák kopási együtthatójára, és a súrlódási tényező változása különböző ionokkal kezelt darabokban

- A szinterelt kerámiákon alkalmazott 800, 1000, 1200 és 1400 °C-os térfogati hőkezelés különbözőképpen módosította a kopási viselkedést (5. ábra). Az 1200°C-os hőkezelést követő szignifikánsan kedvezőbb kopási tulajdonságok az oxidáció és az adott hőmérséklet hatására együttesen bekövetkező mikroszerkezeti változásokkal (a mátrix és a kristályközi üvegfázis átalakulása, szemcsefinomodás) magyarázhatók [11, 21]. A kezeléseket okozta mikroszerkezeti változásokat részben elméleti modellek alapján becsültük, részben finomszerkezeti vizsgálatokkal (SEM, TEM, rtg. diffr., elektron diffr. stb.) mutattuk ki [64]. Vizsgáltuk a keménység, a hajlítószilárdság és a kopási mérőszámok kapcsolatát is, de modellezésre alkalmas korrelációt a rendelkezésre álló kisszámú eredmény alapján nem találtunk.



5. ábra Az utóhőkezelés hőmérsékletének hatása a kopási sebességre

1.2.2. In-situ erősített $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}$ /grafit nanokompozitok kopási viselkedése (MT_A2/2)

Grafittal adalékolt, anyagtechnológiai fejlesztés kísérleti Si_3N_4 -kerámia anyagain (a bevezetőben említett b) típusú próbatetek) különböző mennyiségű illetve kiinduló szemcseméretű grafitot tartalmazó 6 db próbatesten pin-on-disc vizsgálatosorozatot végeztünk a terhelőerő, az összetétel, valamint a mikroszerkezet kopási tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálatára. A kezdeti biztató eredmények [33] után újabb fiatal kutatót (végzős gépészmérnök hallgatót) is bevontunk a munkába [32, 34, 39, 44], aki azóta PhD kutatásait folytatja ezen témában.

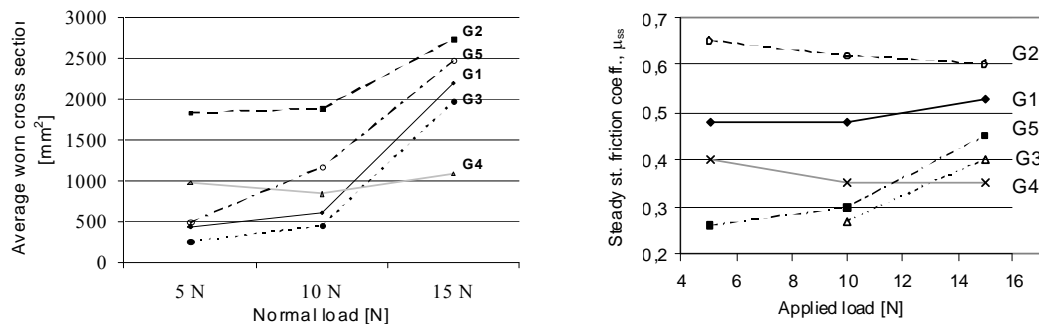
- Pin-on-disc kopásvizsgálatok [42, 43, 49, 51, 52, 53, 57] (a vizsgálatok helyszíne a Miskolci Egyetem Polimermérnöki Tanszéke volt)

A profilométeres- valamint on-line súrlódási együttható méréssel kiegészített pin-on-disc vizsgálatokat (MT_A2/2, B3) háromféle normálirányú terhelőerővel, állandó sebességgel, a korábbi kopásvizsgálatoktól eltérő mozgásviszonyok mellett — a szerszám és a próbatest egyirányú, körpályán történő relatív elmozdulásával — végeztük. A kopás mértékét a

$$k = \frac{V_W}{s \cdot F_N} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{N} \cdot \text{m}} \right],$$

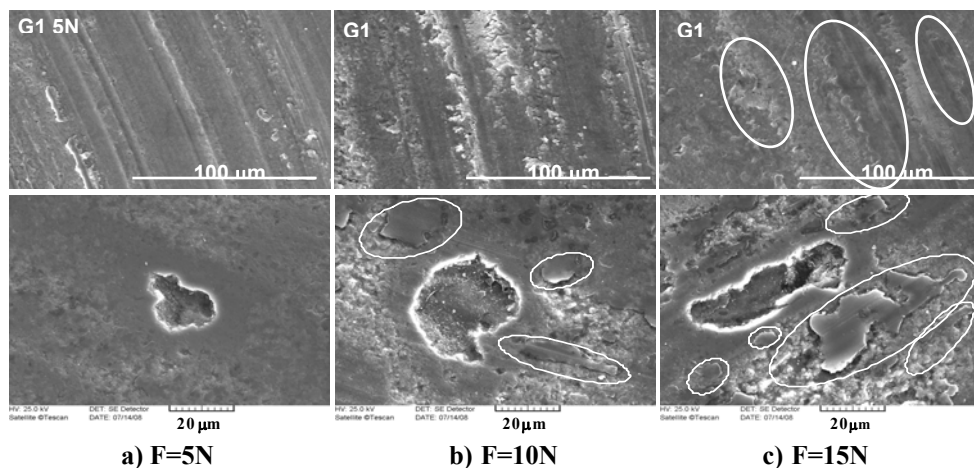
összefüggés szerint értelmezett kopási együtthatóval jellemeztük,

ahol F_N [N] a terhelőerő, s [m] a teljes csúszási hossz, V_W [mm³] a kikopott anyag térfogata. A kopási tényező értéke a vizsgálatok során a $3,85 \cdot 10^{-6}$ és $1,46 \cdot 10^{-5}$ értékek között, a súrlódási együttható értéke 0,26 és 0,58 között változott. A terhelőerő hatását a kikopott térfogatra és a súrlódási együtthatóra vonatkozóan a 6. ábra foglalja össze.



6. ábra A terhelőerő hatása a kikopott keresztmetszetre és a súrlódási együtthatóra

- A mikroszerkezeti vizsgálatok rámutattak, hogy azon minták, amelyekben a gyártáskor adalékolt grafit mennyisége és szemcsemérete kedvezett az in situ módon történő SiC kialakulásának, nagyobb kopásállóságúak. Ezzel szemben a kiinduló porkeverékhez adott, túlzottan nagy mennyiségű, vagy nagyobb szemcseméretű grafit nem képes teljes mértékben átalakulni kopásállóbb SiC fázissá, és szabad grafit agglomerátumok formájában visszamaradnak az anyagban. Ezek hatása összetett: egyrészt a szilárdsági tulajdonságokat jelentősen rontják, másrészt szilárd kenőanyagként is szolgálnak, a súrlódási együtthatót csökkentik, a vizsgált esetekben pedig a kopási viselkedés romlásához vezettek [54, 56]. Ugyancsak mikroszerkezeti vizsgálatokkal (SEM) tanulmányoztuk a kopási folyamatot irányító károsodási mechanizmusokat, amelyek a terhelőerő függvényében jellegzetes eltérést mutattak (7. ábra).



7. ábra A károsodási mechanizmusok változása a terhelőerő függvényében
a) ridegtörés, b) képlékeny alakváltozás, c) képlékeny alakváltozás+tribo-oxidáció

- Az érdességmérés kísérletek során érdekes megfigyelést tettünk. A kopásvizsgálatoknál a szakirodalomban leggyakrabban közölt átlagos érdesség és egyenetlenség magasság — R_a és R_z — értékek nem mutattak korrelációs kapcsolatot a kopási tényező értékeivel, ugyanakkor a kevésbé ismert és használt t_p hordozóhossz nagyobb értékeihez egyértelműen kisebb kikopott térfogat társult, ami az egyes jellemzők fizikai tartalmát tekintve egyáltalán nem meglepő. A megfigyelt kapcsolat különösen a legnagyobb (15N) terhelőerővel végzett vizsgálatokra volt jellemző. Közleményeinkben javaslatot tettünk a hordozóhossz szélesebb körű használatára [54, 55] a kopási viselkedés és az anyagtulajdonságok kapcsolatának elemzésekor.
- A kopási próbák (kétféle terhelőerővel) elvégzett mikrokeménység mérések [50], valamint a K_c törési szívósság meghatározásának célja a kopási tényező és az anyagtulajdonságok kapcsolatának vizsgálata volt (*MT_A2/1, B3*) a későbbiekben felállítandó kopási modell megalkotása céljából. A fémek abrazív kopásakor a keménység és a kopásállóság között szoros és egyértelmű kapcsolat van, amit a jól ismert Archard törvény fejez ki. Kerámiák esetében az anyagok szerkezetéből következő eltérő károsodási mechanizmusok miatt nincs ilyen egyértelmű és direkt kapcsolat, ezt vizsgálataink is igazolták, de a keménység számos kopási viselkedést is befolyásoló jellemzővel hozható összefüggésbe így egy adott kerámia kopási modelljében közvetetten mindenképpen figyelembe veendő mérőszám. Ugyancsak fontos információt hordoz a kopás szempontjából a törési szívósság értéke, ami a vizsgált hat mintára 5,68-7,99 MPa·m^{1/2} között változott. Mivel kimutattuk, hogy a SiC mennyiségével a szívósság nőtt, ez a jellemző egyértelmű kapcsolatba hozható a kopási tulajdonságokkal. Ez a tény a kopási modell megalkotásánál a megfelelő korrelációs kapcsolat meghatározásával vehető figyelembe.
- A vizsgált kerámiák kopási viselkedésének minősítésére alkalmas komplex vizsgálati rendszer kidolgozásakor (*MT_B4*) figyelembe kell venni a kopási folyamatra, mint rendszertulajdonságra ható számtalan befolyásoló tényező — anyagtulajdonságok, vizsgálati feltételek, uralkodó károsodási mechanizmusok, stb.— értékét, ezek számbavétele és hatásuk relevanciájának megítélése után javaslat tehető a vizsgálati rendszer (műveleti) elemeinek megadására, értékükre vonatkozó korlátok, irányelvek meghatározására [57]. Ehhez a munkához nyújt segítséget az [49] közlemény, amely a kopási mechanizmusok, illetve kopástípusok csoportosításának, leírásának, valamint terminológiájának problémáival foglalkozik, s egyben hiánypótló szakmai anyagként szolgál a fenti fogalmak rendszerező áttekintését nyújtva.

2. A kopási és törési folyamatok fizikai-matematikai modellezésének elméleti vizsgálata, kísérleti megalapozása

A modellalkotás elméleti alapjainak, továbbá a kerámiák vizsgált károsodási folyamatainak leírására szolgáló szakirodalom áttekintésével, összefoglalásával több tanulmányt is készítettünk [29, 30, 49, 56] (*MT_C1*). A károsodási folyamatok kvantitatív jellemzése, a károsodási paraméterek és az anyagi jellemzők kapcsolatának leírása a kísérleti eredmények értékelésének szisztematikus részét képezte, az ott felsorolt publikációkban megtalálható [52, 65, 66] (*MT_C2*). A kopást és a törési folyamatokat széles körben modellezik végeselemes módszerekkel, ezért a szakirodalomban található modellek végeselemes rendszerekbe integrálhatóságát is elemeztük [31]. Ezek a megközelítések mivel általában empirikus konstansokat tartalmaznak vagy csak egyetlen károsodási mechanizmus leírására alkalmasak, vagy anyagfüggő modellek (l. Archard kopási törvénye fémekre). A kerámiák kopási folyamatának leírására számos szerző vállalkozott (Evans és Wilshaw, Hamilton és Goodman, Zum Gahr, Hornbogen, stb.). Ezen megközelítések közül a Hornbogen által kidolgozott modell a legkomplexebb, mivel a legtöbb anyagjellemzőt tartalmazza, ezáltal a kopás pontosabban közelíthető. A kísérleti munka befejező fázisaként vizsgáljuk az általunk kimutatott korrelációs kapcsolatok rendszerbe foglalásával [51, 53] a Hornbogen törvény érvényességét (*MT_B3*), másrészt kidolgozás alatt áll egy — az eddigi

megfigyeléseinket integráló — kopási modell a vizsgált Si_3N_4 kerámiákra Ezen munka eredményei várhatóan egy éven belül kerülnek publikálásra.

3. Eszközfejlesztés (MT_A3/1, A3/2, A3/3, A3/4, A3/5)

3.1. Kiegészítő vizsgálóeszköz tervezése és kivitelezése kerámiák hajlító vizsgálatához

Kidolgozásra került egy műszaki kerámiák négyponos hajlító vizsgálatára alkalmas egyedi mérőfej és befogószerkezet gépészeti terve [24], amely alapján a gyártás a kutatás utolsó évében megvalósult (MT_A3/1, A3/3). Az eszközzel tervezett mérési kísérletek a tervezetthez képest később kezdődtek, ezért a vonatkozó vizsgálatok, amelyeket a beszámoló részletesen ismeret más laboratóriumokban lettek végrehajtva. Jelfeldolgozó elektronika beszerzésére (MT_A3/4) nem volt szükség, mivel a kutatóhelyen meglévő műszerek adaptálhatók voltak a tervezett mérési feladatokhoz.

3.2. Lehajlasmérő eszköz: a terv szerint beszerzésre került (MT_A3/2).

3.3. Mérési adatgyűjtő rendszer : a beszerzés megvalósult (MT_A3/5).

V. Eltérések a szerződésben vállaltaktól

Szakmai-tartalmi változtatások

1. MT_A4 és A7 szerinti saját mérések

A beszámolóban nem tárgyalt A4, ill. A7 munkatervi pontok szerinti saját mérések — a megépítendő eszközök kivitelezésének elhalasztása miatt—némi csúszással kezdődtek meg, és nem fejeződtek be. Ezért a vonatkozó mérőszámok különböző hazai és nemzetközi együttműködések keretében kerültek meghatározásra és kiértékelésre.

2. Fraktográfiai vizsgálatok:

Az 1.1. pontban már említett okok miatt igen jelentős és meghatározó, kiegészítő tevékenységet képviseltek a műszerezett ütővizsgálatok, amelyek segítségével új K_{Ic} mérési módszert is kikísérletezhettünk és új tudományos eredményeket publikáltunk [19, 27, 28, 36, 37, 48].

3. Karcvizsgálat adaptálása kerámiák károsodásának vizsgálatához

Ez a tevékenység az OTKA pályázat beadásakor még részét képezte a munkatervnek, csak szerződéskötéskor lett elhagyva, a pályázott összeghez képesti alacsonyabb finanszírozás miatt. A kutatási program megvalósításának időszakában a GE, Hungary által fedezett ösztöndíjas hallgatói program keretében lehetőség nyílt rideg kerámiák (üvegek) műszerezett karcvizsgálatára, amelynek kiértékelésében az ME Fémtechnológiai és Képlékenyalakítási tanszéke, valamint a Debreceni Egyetem, Informatikai Kara kezdeményezésére egy új mérési eljárás kifejlesztése, és próbakísérletei valósultak meg. Az eredmények két TDK dolgozatban [14, 62] egy egyetemi szintű diplomatervben [25] és rangos publikációkban [26, 45, 59, 60, 63, 67] lettek közölve. A kísérletek legfőbb megállapításai, — amelyek kiválóan hasznosíthatók a műszaki kerámiákkal kapcsolatos kutatásokban is — az alábbiak voltak:

- A számítógépes képelemzéssel kiegészített karcvizsgálat az üvegek felületi rétegeiben kialakult maradó feszültségek jellemzésének egy lehetséges új módszere.
- A munka során definiált károsodási paraméterek, továbbá a meghatározásukra kidolgozott új képelemzési algoritmus és annak informatikai megoldása új szakmai eredményeket képviselnek.

Tartalmi eltérés tehát a munkatervtől alapvetően nem történt, ugyanakkor a vállalt tevékenységeket sikeresen kiegészítettük olyan kutatási részfeladatokkal, amelyekkel az OTKA T046467 program eredményeit továbbfejlesztettük és megteremtettük a lehetőségét a munka szerves folytatásának. A többletfeladatok anyagi forrásait utólagos pályázatokkal (MÖB, GE, Hungary, stb.) biztosítottuk. A munka egyik legfontosabb eredményének a szakmai utánpótlás nevelést tartjuk, ami az ismert

társadalmi-gazdasági környezetben ma különös hangsúlyt kap. A résztvevő fiatalok eredményeiből a publikációs listában közölt 4 diplomaterv és 3 TDK dolgozat mellett, rövid időn belül (1-3 év) további három PhD disszertáció és egy újabb diplomaterv kerül beadásra.

Módosítások a pénzügyi keret felhasználásában

Jelentős 20%-nál nagyobb mértékű eltérés az eredeti pénzügyi tervtől a 4. főszoron valamint a 3.1. ill. 3.3. alsorokon történt, amelyek indoka az alábbi:

- 2007-ben az OTKA iroda engedélyével költség átcsoportosítás történt egy a projekt szempontjából igen jelentős és rangos publikálást (1 szóbeli, 2 poszter előadás és két lektorált angol nyelvű cikk) biztosító szakmai konferencia költségeinek fedezése céljából. Az engedély szerint a 4. főszoron (*Befektetett eszközök*) tervezett 1908 eFt-ból 540 eFt átcsoportosításra került a 3.1. sorra (*Külföldi utazás, konferencia*), így ez utóbbi záró egyenlege csak -102 eFt.
- A 3.3. költségsor elemi, szintén a projekttel összefüggő fontos konferenciákhoz kapcsolódó utazási költségek voltak.
- A 3.1. és 3.3. költségsorokon így megmaradt negatívumok fedezetéül részben a szerződési feltételek változása miatt visszamaradó 127 eFt ÁFA valamint a készletbeszerzés megtakarításai szolgálnak. Ilyen módon, a főszorokon a végleges eltérések mindössze 1-2 %-ot tesznek ki. (Ez az átcsoportosítás után egyértelműen kiadódik).

Személyi változások

A kutatói létszámban a többletfeladatokhoz igazodva némi bővülés történt: a szerződéshez képest négy további fő vett részt a munkában: Cserjésné Sutyák Ágnes (tudományos munkatárs ME., Mech. Techn. Tsz.) Koncsik Zsuzsanna, (PhD, ME, Mech. Techn. Tsz) Kállay János (nappali tagozatos hallgató, ME Gépészmérnöki Kar) és Szeghalmy Szilvia (Debreceni Egyetem, Informatikai Kar). Kifizetés közülük Cserjésné Sutyák Ágnes és Koncsik Zsuzsanna részére történt.

A kutatási szerződés 1.1 mellékletében nem nevesített adminisztratív és programozói feladatokat végző kollégák létszáma is bővült: Alexáné Farkas Marianna és Szántó Lászlóné az adminisztratív munkákban, Dül Jenőné és Csurilláné Balogh Ágnes (laboránsok, ME. MTT Tsz.) a mikroszkópos vizsgálatokban, Kanizsai Gyula (szakmunkás, (ME. MTT Tsz.) a vizsgálati eszközök készítésében vett részt. Mindannyian kifizetésben is részesültek.

Köszönetnyilvánítás:

A kutatómunkához nyújtott értékes támogatásért az OTKA Bizottságnak ezúton mondok hálás köszönetet. A T046467 sz. kutatási program nemcsak a szakmai munka alapvető technikai és anyagi feltételeinek megteremtéséhez, de a kutató-fejlődő szakember számára rendkívül fontos nemzetközi konferenciákon való részvételhez, rangos külföldi szakemberekkel való kapcsolatteremtéshez és együttműködéshez is hatékonyan járult hozzá.

Miskolc, 2009. február 28.

Tisztelettel:

.....
Dr. Marosné dr. Berkes Mária
Témavezető