

Lövedékálló védőmellényekben alkalmazható ballisztikai kerámia megfelelőségének vizsgálata röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel

XRD study on suitability of aluminium-oxide based ballistic ceramics used in body armors

Eur.Ing. Frank György c. docens

az SzVMSzK Szakmai Kollégium elnöke, „SzVMSzK mérnök szakértő” (B5, B6, B7)

Kivonat

Számos kutatás során tanulmányozták az alumínium-oxid bázisú kerámia anyagokat. Ezek a vizsgálatok kimutatták, hogy a röntgendiffrakciós (XRD) technikát alkalmazva számszerűsíthető különbségek mutathatók ki az egyébként hasonló anyagok között.

Ez a cikk bemutatja, hogy az XRD technika eredményesen alkalmazható az alumínium-oxid bázisú ballisztikai kerámiák minősítéséhez is.

Abstract

Up to the present several studies have been written on aluminium-oxide based ballistic ceramics. These studies have shown that by using X-ray diffraction (XRD) technique many differences can be found between otherwise similar materials.

This article demonstrates that XRD technique can be successfully used for qualification of aluminium-oxide based ballistic ceramics as well.

A ballisztikai kerámiák testpáncélokban való felhasználhatóságát, a nagy energiával becsapódó lövedékek hatásainak csökkentését, kivédését, bizonyos kerámia tulajdonságok biztosítják. Az alumínium-oxid ballisztikai kerámiák előállításához alkalmazott porotechnológia egyes fázisait viszont sokféleképpen lehet megvalósítani, ezért a végtermék tulajdonságait nagymértékben befolyásolja pl. a szemcse szerkezet, a szemcse méret-eloszlás, a porok összetétele, az alkalmazott sajtoló nyomás, a sajtoló nyomás maximális hatóideje, az adalékanyag mennyiségének aránya, a hőtartási idő, az égetés hőmérséklete, a kemence atmoszférája, stb. Szükséges kihangsúlyozni, hogy a ballisztikai kerámia soha nem jelenik meg egykomponensű (tiszta) alakban.

Az előzőekben említettekől következik, hogy a mindennapok gyakorlatában törekedni kell arra, hogy lehetőleg szabványokkal is támogatott HMK (harcászati műszaki követelmény) írja elő a testpáncélokban alkalmazható ballisztikai kerámia összetételét, az adalékanyag mennyiségeket és az ajánlatos törésmechanikai értékeket. *Már csak azért is, mivel az 1/2009.(I.30.) HM rendelet 13.§ (2) bek. szerint: „A rendszeresítésre tervezett hadfelszerelési anyagra, katonai védőeszközre vonatkozó HMK-t az alkalmazó határozza meg”*

Az alumínium-oxidból készülő ballisztikai kerámia HMK összeállításánál feltétlenül ismerni kell a különböző adalékok hatását az alfa- Al_2O_3 kialakulására (pl. melyik adalék növelheti a repedésállóságot?), a fizikai-és kémiai tulajdonságokat és az alábbi anyagjellemzőket:

- 1 a kristályos összetevőket
- 2 a szövetszerkezetet*:
- 3 a ballisztikai potenciált (R)
- 4 a törési energiát (W)
- 5 a rugalmassági (Young) modulust (E)
- 6 a sűrűséget (ρ)
- 7 a törési szívósságot (K_{ic})
- 8 a keménységet (mikroVickers)*
- 9 a nyomószilárdságot
- 10 a hajlítószilárdságot
- 11 a hangsebességet (c) és
- 12 az elektromos vezetőképességet

Ez a tanulmány folytatása a ballisztikai kerámia anyagjellemzőit behatárolni igyekvő kutatásaimnak. A tanulmány első része megjelent „A lövedékálló védőmellény alapanyagai és a degradáció veszélye. A ballisztikai kerámia laboratóriumi vizsgálata.” címmel a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bolyai János Hadmérnöki Kar kiadványában. BOLYAI SZEMLE 2009. 3. szám Budapest (*).

A jelen tanulmány csak a testpáncélokban alkalmazható alumínium-oxid ballisztikai kerámia kristályos összetevőinek röntgendiffrakciós módszerrel való meghatározását mutatja be, elsősorban felhasználói szempontokra figyelemmel, azzal a céllal, hogy az adatok ismeretében elemezhetőek legyenek a védőeszköz használhatóságának határai.

Szükséges majd a többi anyagjellemző célirányos behatárolása is, azzal a megjegyzéssel, hogy időszerű kiemelten foglalkozni a ballisztikai kerámia elektromos vezetőképességével is, figyelemmel a TAESER típusú „nem halálos fegyverek” megjelenésére.

A ballisztikai kerámia kristályos összetevőinek meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel

Mielőtt elmerülünk néhány részletben, célszerű meghatározni vagy talán minél pontosabban körülírni a röntgendiffrakciós diagnosztika lényegét.

A röntgendiffrakciós diagnosztika rendkívül kis mennyiségű mintából képes értékelésre alkalmas adatokat biztosítani. A röntgendiffrakció (röntgensugár-elhajlás) olyan méretű kristályok tanulmányozását biztosítja, amik nagyságrendekkel az ember által közvetlenül érzékelhetőek alatt vannak, ezek a méretek már atomi és molekuláris nagyságrendek. A röntgendiffrakció olyan fázisanalitikai módszer, amely alkalmas a ballisztikai kerámia kristályszerkezetének kimutatására, azonosítására, vizsgálatára és a mennyiségi fázisösszetétel meghatározására annak felhasználásával, hogy a rácselem élek abszolút hossza a kristályrácsban helyet foglaló anyagi részecskék fajtájától (méretétől) függő érték, vagyis anyagra jellemző.

Kristályos szerkezetű ballisztikai kerámiáról készült röntgen diffraktogramon a vonalak helyét és az egymáshoz képesti relatív intenzitásokat a vizsgált ballisztikai kerámia kristályszerkezete, valamint az elemi cellában helyet foglaló atomok típusa határozza meg.

Következésképpen, a röntgen diffraktogram a különböző kristályos fázisokra más és más, azaz ujjlenyomatszerűen alkalmas a ballisztikai kerámia azonosítására. Egy-egy ballisztikai kerámiára jellemző diffrakciós kép általában akkor is felismerhető, ha az adott kristályszerkezet a mintában más anyagokkal keverve fordul elő. Ezen alapszik a diffrakciós fázisanalízis.

Ballisztikai kerámiákkal folytatott kísérleteim során első feladatnak választottam egy nagyjából ismert eredetű ballisztikai kerámia kristályszerkezetének ellenőrzését, azonosítását mért diffraktogram alapján. A kapott röntgendiffraktogram értékelése során ismert minták diffraktogramjainak adatait is hasonlítottam a mérési eredményekhez

A mért diffraktogram meghatározta a csúcsok helyeit és a hozzájuk tartozó rácstávolságokat. A behatárolt csúcsok alapján, az adatbázisok felhasználásával vált azonosíthatóvá a A-BAL jelű ballisztikai kerámia minta.



90 – 97,5 % Al_2O_3 tartalmúnak meghatározott
A-BAL jelű ballisztikai kerámia minta lapok

Egy A-BAL jelű ballisztikai kerámia minta lap kristályos fázisainak azonosítása röntgendiffrakciós Philips PW 3710 vezérlő egységű PW 1050 goniométerű (irányszögmérő) röntgendiffraktométer felhasználásával, szoftver és adatbázis segítségével történt. A Bragg-Brentano parafókuszáló goniométer $\text{CuK}\alpha$ sugárzást használt (hullám-hosszúság: $\lambda=0,15418$ nm) sugárforrásként, grafit monokromátort és detektorként proporcionális számlálót. A mérés során 40 kV cső feszültség és 35 mA cső áram. volt

A 90 – 97,5 % alumínium oxid tartalmúnak megadott A-BAL jelű ballisztikai kerámia minta lap szerkezetének feltérképezése 10 - 70.0 fok közötti szögterületben, 2θ beesési szögek mellett történt, 0.08 fokként,

meghatározott nagyságú mintavételi idővel (sec). A mért 10 – 70 fok közötti szögteromány 8.845 – 1.344 Å közti rácssík távolság tartományt takar. A több kristályos fázisból álló A-BAL jelű ballisztikai kerámia minta lap egyes fázisainak mennyiségét (mennyiségi fázisösszetétel) a számítógép programjában szereplő „finomított” paraméterek határozták meg az alábbiak szerint:

	Coru	Spin	AnSD
Shape: (exp)	1,50	1,50	1,50
FWHM: (0.11)	0,10	0,12	0,12
xSize: (nm)	>1000	987	987

Ahol:

Shape: csúcsalakot leíró függvény kitevője

FWHM (Full width at half maximum): félértékszélesség, amiből az átlagos szemcseméret meghatározható. Minél kisebb az anyagot felépítő kristályszemcsék mérete annál nagyobb a diffrakciós csúcsok kiszélesedése, így a vonalprofil szélességéből a kristályszemcsék mértékére lehet következtetni.

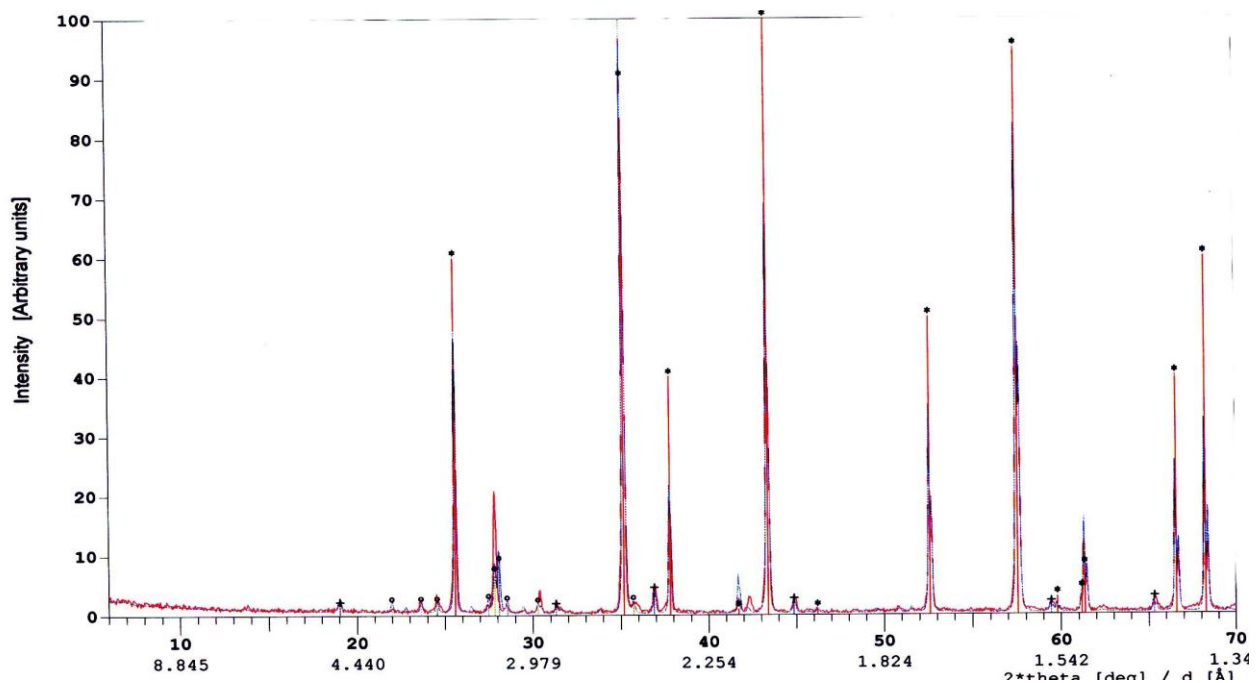
Az átlagos szemcseméret a diffraktogramon a legkisebb szögnél megjelenő reflexió (un. első reflexió) szélességéből határozható meg.

xSize: kristallit méret a reflexiók félértékszélességéből számítva

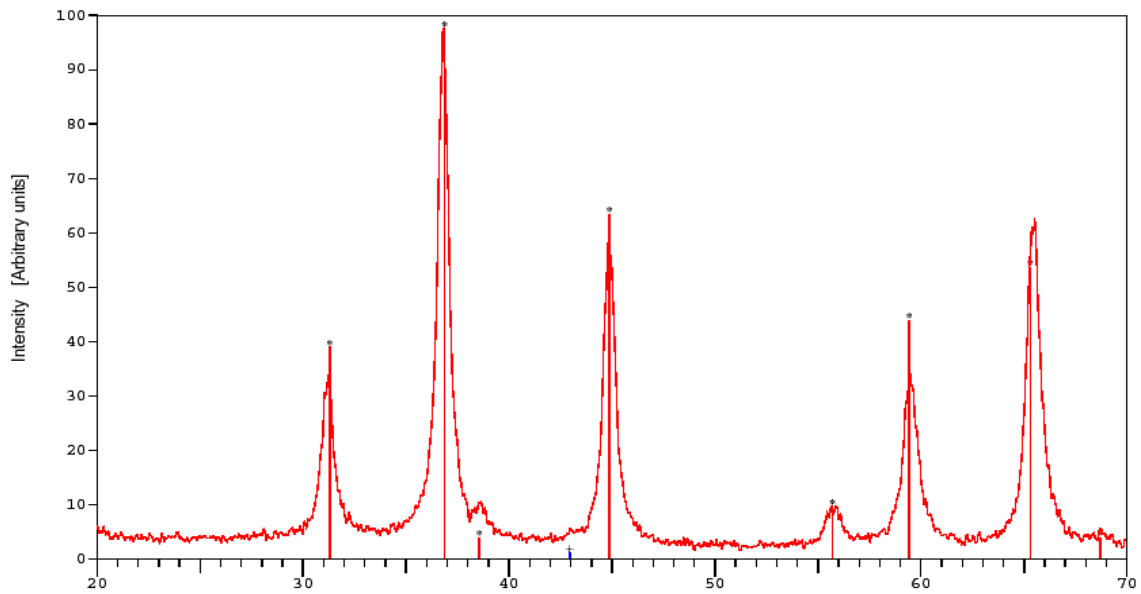
Ugyancsak a számítógép kiértékelése szerint az **A-BAL jelű** ballisztikai kerámia minta lapban jelen van 88,00 % korund (alfa- Al_2O_3) rész, 1000 nanométernél (nm) kisebb kristallit mérettel, mellette megjelenik 2,00 % spinell rész, 987 nm kristallit mérettel, ami kémiaailag magnézium-alumínium oxid (MgAl_2O_4) és 10,00 % kalciumföldpát (anortit) is, 987 nm kristallit mérettel.

Az értékelés szerint a minta összesen 92,82 % alumínium oxid tartalmú . A röntgendiffrakciós felvételen az alfa Al_2O_3 azonosító reflexiósorozat specifikusan éles és csúcsos reflexiókból tevődik össze.

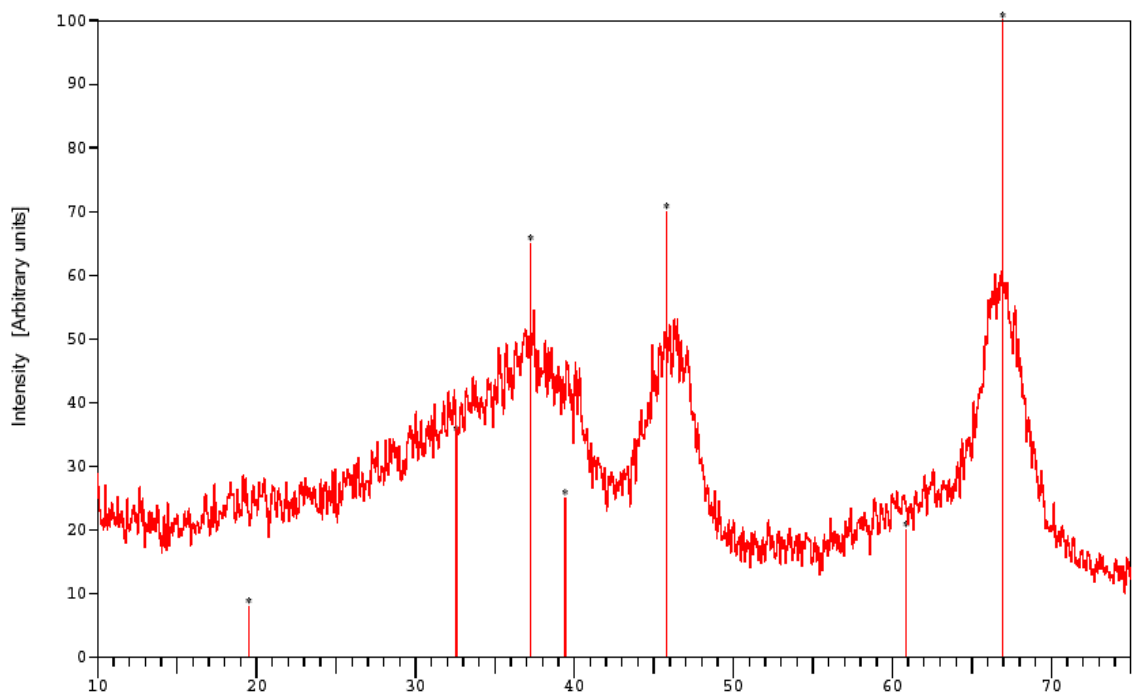
Az amorf, rendezetlen anyagnak nincs specifikus éles, csúcsos diffrakciós képe. Abból a megállapításból, hogy a mintában jelen van alfa- Al_2O_3 az égetés hőfokára lehet következtetni, mivel az alumínium oxid 1200-1300 $^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten alakul át alfa Al_2O_3 -á.



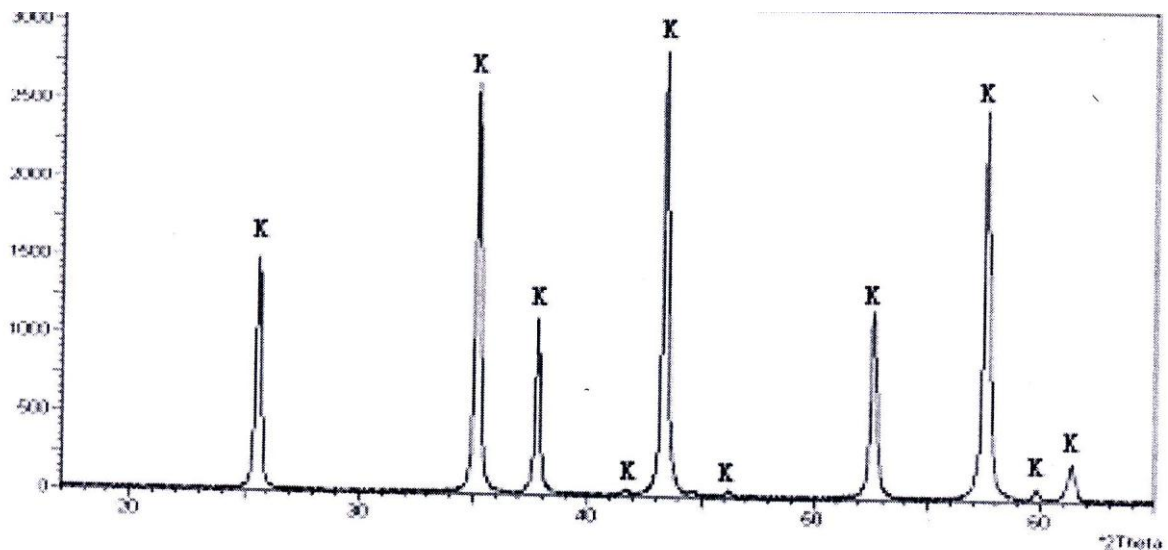
Az A-BAL jelű ballisztikai kerámia lap felület fázisösszetétele
A jellegzetes azonosító reflexiósorozat a röntgendiffrakciós felvételen a
1.344 – 4.440 Å reflexiók között helyezkedik el.



A spinell - magnézium-alumínium oxid ($MgAl_2O_4$) röntgendiffrakciós felvétele
Amorf, rendezetlen anyagoknak nincs specifikus, csúcsos diffrakciós képe



A gamma - Al_2O_3 röntgendiffrakciós felvétele
A minta csak kismértékben tartalmaz kristályos fázist



99,99 % tisztaságú alfa-Al₂O₃ röntgendiffrakciós felvétele
 Kristályos fázisként csak korundot (K) tartalmaz

Összefoglalás

A védőeszközre (pl. lövedékálló védőmellényre) vonatkozó harcászati műszaki követelményeket az alkalmazó határozza meg, ezért szükséges a ballisztikai kerámia fizikai-és kémiai tulajdonságainak, anyagjellemzőinek ismerete, ellenőrzése.

A röntgendiffrakció olyan fázisanalitikai módszer, amely alkalmas a ballisztikai kerámia. kristályszerkezetének kimutatására, azonosítására és a mennyiségi fázisösszetétel meghatározására

Az elvégzett vizsgálat alapján sikerült meghatározni az ismeretlen **A-BAL** jelű alumínium-oxid ballisztikai kerámia összetételét

Az **A-BAL** jelű minta fázisai azonosíthatók, mivel az **A-BAL** jelű kerámia minta felületének fázisösszetételét kimutató röntgendiffrakciós felvételen az alfa- Al_2O_3 reflexiószorozatnak és a MgAl_2O_4 -spinell minta reflexiószorozatnak a helyei és intenzitásai egyezést mutatnak az alfa- Al_2O_3 **referencia** minta röntgendiffrakciós felvételén látható és a MgAl_2O_4 -spinell **referencia** minta röntgendiffrakciós felvételén látható reflexiószorozatoknak a helyeivel és az intenzitásaival.

A ballisztikai kerámia szövetszerkezet megismerése, a kristallit méretek meghatározása lényeges, mivel a kerámia anyagok speciális sajátossága, hogy az instabil repedésterjedést előidéző kritikus hibanagyság még a mikro szerkezetüket jellemző szemcsék nagyságrendjébe esik. Ennek következtében a törést nagyon kicsi vagy semmi maradó alakváltozás sem előzi meg, ezért a repedés kialakulása után már viszonylag minimális erő is előidézheti a ballisztikai kerámia törését.

Irodalom

- Dr. Bartha Tibor: A nem halálos eszközök és alkalmazásuk lehetőségei a magyar honvédség egyes nem háborús katonai műveleteiben. Budapest, 2005.
- Eur.Ing.Frank György 2008. évben elhangzott előadásai a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen és a Rendőrtiszti Főiskolán
- Eur.Ing.Frank György: Ballisztikai védőanyagok és laboratóriumi méréseik. „Korszerű ballisztikai anyagok” c. nemzetközi konferencia. 2008. november 18. Stefánia Palota. Budapest.
- Eur.Ing.Frank György: Ballisztikai kerámia alkalmazása testpáncélokban karabély-és puskatöltények lövedékei ellen. BOLYAI SZEMLE 2008. XVII. évf. 3. szám.
- Eur.Ing.Frank György: A ballisztikai kerámiák alkalmassága. Biztonság. XXI. évf. 2009/1. szám
- Eur.Ing.Frank György: Saját jegyzetek. ZMNE Ballisztikai Laboratórium. 2009.
- Eur.Ing. Frank György: A lövedékálló védőmellény alapanyagai és a degradáció veszélye. A ballisztikai kerámia laboratóriumi vizsgálata. BOLYAI SZEMLE VIII. évf. 2009. 3. szám
- Eur.Ing. Frank György: Lövedékálló védőmellényekben alkalmazható ballisztikai kerámia megfelelőségének vizsgálata röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel BOLYAI SZEMLE XX. évf. 2011. 1. szám
- Elter András, Korim Ildikó: Szilárdtest kémia. BME jegyzet. Budapest, 1989.