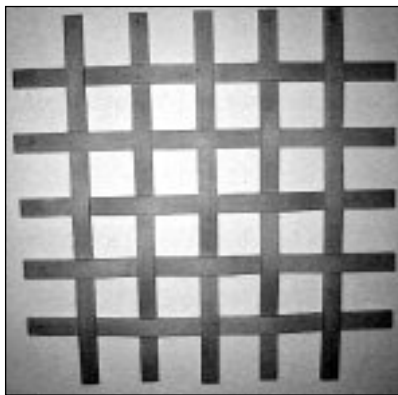


területén előnyösen használható ez a jó alakíthatóság és energiaelnyelő képesség. A tömörített faanyag alkalmazási lehetőségeinek feltárása jelenleg is folyik. Jelen cikk csak néhány kiragadott alkalmazással foglalkozik. A kedvezően megváltozott merevségnek, megnövekedett alakváltozó képességnek és szívósságnak köszönhetően kiválóan alkalmas rugalmas alkatrészek, pl. fémből és műanyagból készített spirál-, tölcsér- és lemezugók, valamint kárpitosipari tartószerkezetek bioanyaggal történő kiváltására. A következő képeken néhány felhasználási lehetőséget mutatunk be (3–4. ábra).



■ 3. ábra. Tömörített bükkfából általunk készített farács



■ 4. ábra. Bükkfából készített energiatároló tömörített farugó

Irodalomjegyzék

- [1] *Alexander von Vegesack*: Thonet, Cser Kiadó, Budapest, ISBN 978-963-9759-77-0 (2009)
- [2] *Dinwoodie, J. M.*: Wood: Nature's Cellular Polymeric Fibre-composite, The Institute of Metals, ISBN 0-9014 62-35-7 (1989)
- [3] *Szabó I. – Kuzsella L.*: Faanyagok alkalmazástechnikája, Miskolci Egyetemi Kiadó, egyetemi jegyzet (2009)
- [4] *Sok ezer éves történet II. Fahajlítás a kezdetektől napjainkig*, Magyar Asztalos és Faipar, 2007. 2. sz. pp: 118–119. (Forrás: Xylon International 2006. május-június)
- [5] *Kuzsella L. – Szabó I.*: A tömörített faanyag és kárpitosipari alkalmazása, Magyar Asztalos és Faipar, 2007. 8. sz. Az Országos Asztalos- és Faipari Szövetség Fóruma, pp: 94-95. (2008)
- [6] *Kuzsella L. – Szabó I.*: The effects of the compression on the mechanical properties of wood materials, Trans Tech Publications, Materials Science Forum, Vol. 537–538. pp. 41–46. (2007)
- [7] *Kuzsella L.*: Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira, PhD disszertáció, Miskolc, 2011.
- [8] *Szabó I. – Eckhardt L. – Czel Gy.*: Energiatároló tömörített farugó; HU – pat. 226783 és Storing spring from wood; EU pat. bejelentés

BALÁZSI CSABA – KONCZ PÉTER – WÉBER FERENC – HORVÁTH ÁKOS

Oxidkerámia-szemcsékkel erősített nanoszerkezetű acélok előállítása porkohászati módszerekkel

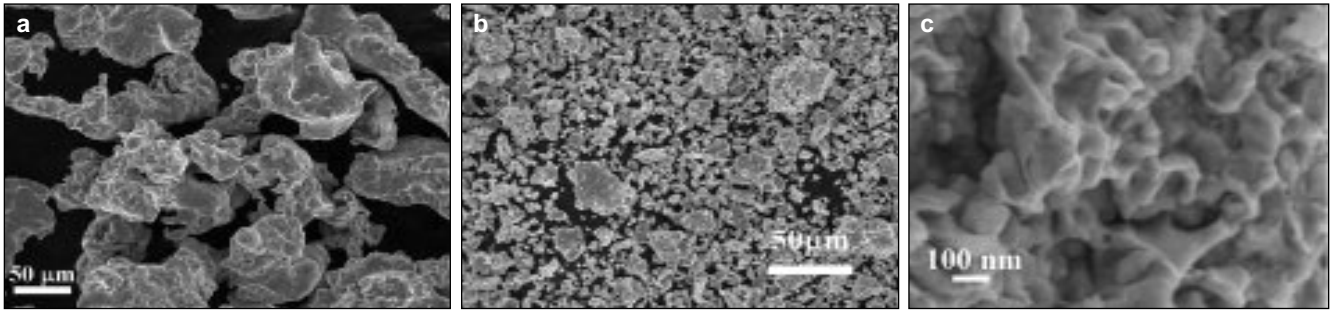
A cikkben a porkohászati módszerekkel előállított oxidkerámia-szemcsékkel erősített nanoszerkezetű acélok vizsgálatát ismertetjük. Az alapanyag előállításától a kész mintadarabok készítéséig szükséges lépéseket mutatjuk be. Röntgendiffrakciós és pásztázó elektronmikroszkópos módszerekkel vizsgáltuk a morfológiai, szerkezeti jellemzőket. Feltártuk, mely módszerek alkalmazhatóak nanoszerkezetű acélok előállítására. Ennek eléréséhez hatékony őrlési eljárás és egy új típusú szinterelési eljárás alkalmazása szükséges.

Bevezetés

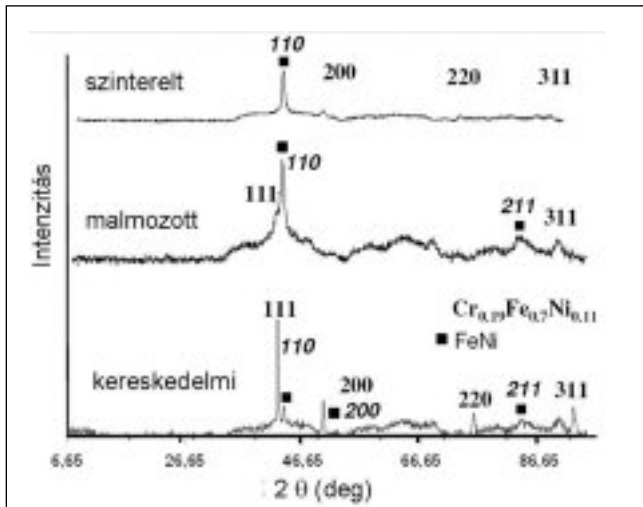
A nanotechnológiák kutatása és alkalmazása a termelésben ma már az ipar számos területének érdeke. Akár elektronikáról, építőiparról vagy például gépgyártásról legyen szó, az anyagvizsgálat ilyen mélységű területei olyan eredményekkel kecsegtetnek, melyek ismerete és alkalmazása a nano-, a mikro- és a makroszkopikus tulajdonságok alakításában egyaránt a hasznunkra válhatnak.

A porkohászati úton előállított rozsdamentes acélokból készült alkatrészek egyre elterjedtebbek, és alkalmazásuk növekvő tendenciát mutat a gépgyártásban, az energetikai és az autóiparban. A porkohászati rozsdamentes acélokból készült alkatrészek részaránya az észak-amerikai porkohászat egész termelését nézve 2000-ben 40%-kal nőtt. Ez főleg az autóiparban megjelent igényeknek köszönhető, ahol a kipufogó részek, terelőlemezek, ABS és oxigénszenzor-ágyak és egyéb alkatrészek komponensei porkohászati úton előállított rozsdamentes acélból készülnek [1–7]. Porkohászati úton szabályozható az acél szemcsemérete, ezért ez az eljárás perspektivikusnak tűnik az acél végső tulajdonságainak javítására is.

A nukleáris ipar is érdeklődést mutat a nagy hőmérsékleten is megfelelő kúszási tulajdonsággal rendelkező szerkezeti anyagok iránt. A fúziós erőmű vagy a következő generációs atomerőművek szerkezeti anyagait Japánban [8, 9], Európában [10, 11] és az USA-ban [12, 13] is fejlesztik és kutadják. A porkohászati eljárással készülő, oxid-szemcsékkel erősített (ODS = oxide dispersion strengthened) ferrites acélok ellenállnak a nagy energiájú neutron-sugárzásnak is, ezért jól alkalmazhatók a jövő gyorsreaktoraiban és fúziós berendezések anyagaiként is [14–32].



■ 1. ábra. Ausztenites por SEM vizsgálatai. a) kiinduló fémpor, b) Y_2O_3 hozzáadása és vegyes őrlés után, c) szinterelés után



■ 2. ábra. Ausztenites por röntgendiffrakciós vizsgálatának eredményei a kiindulási állapotban („kereskedelmi”), az őrlést követően („malmozott”) és szinterelés után („szinterelt”)

A nanoszerkezetű acélok előállítása két, szemléletben eltérő módszerrel valósítható meg. Ismeretes a „top-down” elnevezésű, a szemcsék méretét tekintve fentről lefelé haladó, a mikrostruktúrájú tömbi anyagból nanoszerkezetű végterméket megvalósító technika, a nagymértékű képlékeny alakváltozás (Severe Plastic Deformation, SPD). A másik megközelítés a „bottom-up”, a szemcsék méretét tekintve lentől felfelé építkező módszer, amely a vékonyrétegeket és a tömbi anyagokat indi-

viduális nanorészecskékből, majd nanorészecskék sokaságából építi fel.

Ez utóbbi utat követve, jelen munkánkban ittrium-oxid adalékolt ausztenites és martenzites acélporok előállításával foglalkoztunk. Részletesen vizsgáltuk a nagy energiájú őrléssel előállított nanoporok szerkezetét, morfológiáját, a szinterelés paramétereit, és mechanikai vizsgálatokkal jellemeztük a végtermékeket.

Előállítási és vizsgálati módszerek

Kiindulásként a kereskedelemben kapható ausztenites „Metco 41C” (AISI 316) és martenzites „Metco 42C” (AISI 431) acélporokat használtunk.

A minták előkészítése a porok bemérésével kezdődött, amely SARTORIUS AG GÖTTINGEN 1205 MP mérleggel történt. A kísérletek négyféle por (ausztenit, martenzit, ausztenit+ittrium-oxid, martenzit+ittrium-oxid) őrléséből álltak. A porokat az attritor (HD/HDDM Union Process) rozsdamentes acéltégelyébe töltöttük, és rozsdamentes acélkeverővel és golyókkal (3 mm átmérővel) 600 fordulat/perc fordulatszámom nedvesen etanolban és 5 órát szárazon őrltük (ún. vegyes őrlés). A száraz őrlés esetében a fémpor őrlése folyadék és védőgáz használata nélkül történt. A nedves őrlés esetében tiszta alkoholban végeztük az őrlést. Ittrium-oxid adalék hozzáadásával a nagyobb szilárdság és kopásállóság elérése a célunk. Az őrlést követően a porokat gyors szinterelés (SPS) módszerével szintereltük. Az SPS (Spark Plasma Sintering)

Balázs Csaba 1993-ban szerzett kohómérnöki oklevelet a brsói Transilvania Egyetem Anyagtudományi Karán, majd 2000-ben PhD fokozatot a Miskolci Egyetemen. 1996 óta az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetben dolgozik, 2005-től tudományos főmunkatárs, 2006-tól a Kerámia és Nanokompozitok Osztály vezetője. 2006-tól a Magyar Anyagtudományi Egyesület titkára, 2008-tól az MTA Metallurgiai Bizottság tagja és a Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola külső tagja. Szakterülete új szerkezetű kerámia, polimer és fém-mátrixú nanokompozitok pometallurgiai előállítása és fejlesztése nagy hőmérsékletű, szenzor- és bioalkalmazásokra. Számos hazai és nemzetközi projekt témavezetőjeként ipari és orvosi alkalmazásokat célzó sikeres anyagfejlesztésekben vett részt.

Koncz Péter a veszprémi Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Gépészmérnöki, BSc szak, mechatronikai szakirány hallgatója. TDK és szakdolgozatának témája: Diszpergált oxidkerámia szemcsékkel erősített nanoszerkezetű acélok előállítása por-kohászati módszerekkel. A dolgozat a Pannon Egyetem 2010-

es TDK konferenciáján dicséretet és OTDK jelölést kapott.

Wéber Ferenc 1982-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a BME Villamosmérnöki Karának Anyagtechnológiai Szakán. 1982 óta az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetben a Kerámia és Nanokompozitok Osztályán kutatómérnökként dolgozik. 1986 óta kerámia alapú nanokompozitok fejlesztésében vesz részt.

Horváth Ákos 1995-ben szerzett mérnök-fizikus diplomát az ELTE Természettudományi Karon, majd ugyanott 2003-ban PhD fokozatot. Szakterülete nukleáris reaktorok szerkezeti anyagainak korróziója. 1995 óta az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben dolgozik, 2003 óta tudományos főmunkatárs. 2008-ban kinevezték az Anyagszerkezeti Laboratórium vezetőjévé, 2010-től az Intézet nukleáris energetikai igazgatóhelyettese. A kutatócsoportja vezetőjeként 2005 óta foglalkozik – egy hazai és számos európai kutatási program keretein belül – a negyedik generációs atomreaktorok szerkezeti anyagainak élettartamát korlátozó nagy hőmérsékletű korrózióval és neutronsugárzás okozta öregedéssel.

berendezésben a porok 940–950 °C között, néhány ezer amper erősségű áram és 50 MPa nyomás hatására szinterelődtek. A módszer nagy előnye a rövid szinterelési idő (esetünkben 5 perc), amellyel elkerülhető a szemcse-durvulás [34–38].

A porminták szerkezeti vizsgálatát pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM, Jeol JSM-25-SIII) és röntgendiffrakcióval (XRD, Bruker AXS D8 Discover X-Ray Diffractometer) vizsgáltuk.

A mechanikai vizsgálatot INSTRON Blender készüléken végeztük, amelyen 3 pontos hajlításra volt lehetőségünk. Ezzel az eszközzel meghatározható a töréshez szükséges erő, rugalmassági modulus, folyáshatár, és a nyúlás-terhelési görbe is.

Eredmények

Az *1a ábrán* látható a kiinduló ausztenites acélpor pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvétele, amely a szemcsék méretéről, illetve alakjáról ad információt. A szemcsék átlagos mérete megfelel a gyártó által szavatolt szemcseméretnek, azaz ~ 100 µm. Az ausztenites acél összetétele: 17Cr 12Ni 2.5Mo 2.3Si 0.1C volt.

Mechanikai őrléssel szinte minden anyagtypusból lehet „nanoport” készíteni. Fémek esetén a mechanikai deformáció következtében ugyan nanoméretű szemcsék keletkeznek, de ezek összetapadhatnak, nagyobb szemcséket alkotnak. Így a látszólag mikroszerkezetű szemcsék nanoszerkezetű elemekből épülnek fel. A módszer hátránya, hogy az őrlőgolyókról és a tégely faláról az őrlés során szennyező anyagok kerülnek. Az ausztenites por vegyes őrlése (*1b ábra*) után, amikor először nedvesen, majd szárazon őrltük a porokat 5–5 órán keresztül, 20–50 µm-es szemcsék kialakulása is látható. Gömb és korong alakú szemcsék is megfigyelhetők. Az SPS módszerrel történt szintereléssel előállított ODS minták töretfelülete látható az *1c ábrán*. Az ausztenites mintákban 100 nm átlagos szemcseméretet figyeltünk meg, ugyanez a martenzites mintákban 100–300 nm volt.

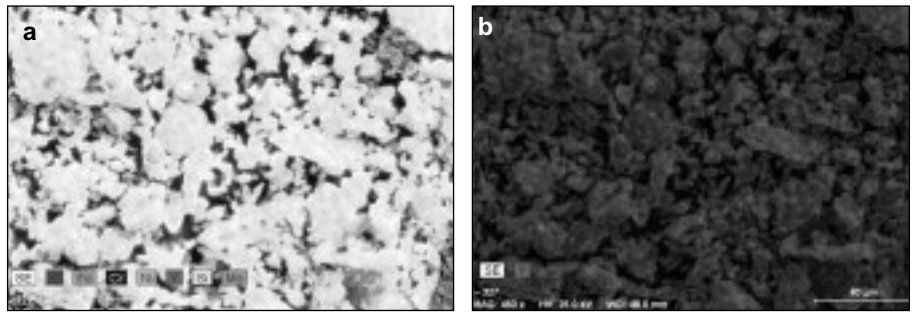
A *2. ábrán* a minták röntgendiffrakcióval végzett fázisanalízise látható. Az ausztenites acélpor esetében a legintenzívebb vonalakat a köbös Cr_{0.19} Fe_{0.7} Ni_{0.11} (JCPDFWIN 33-0397) és a FeNi (JCPDFWIN 03-1209)

fázisok adják. Az ausztenites acélpor esetében a CrFeNi fázis a domináns ($2\theta=43.55$, $2\theta=50.75$, és $2\theta=74.6$). Emellett FeNi fázis is megtalálható a mintában. Utóbbi azonosítható volt EDS analízissel is, de a FeNi fázis vonalai megjelennek a diffraktogramon ($2\theta=44.5$, $2\theta=64.2$ és $2\theta=82.1$).

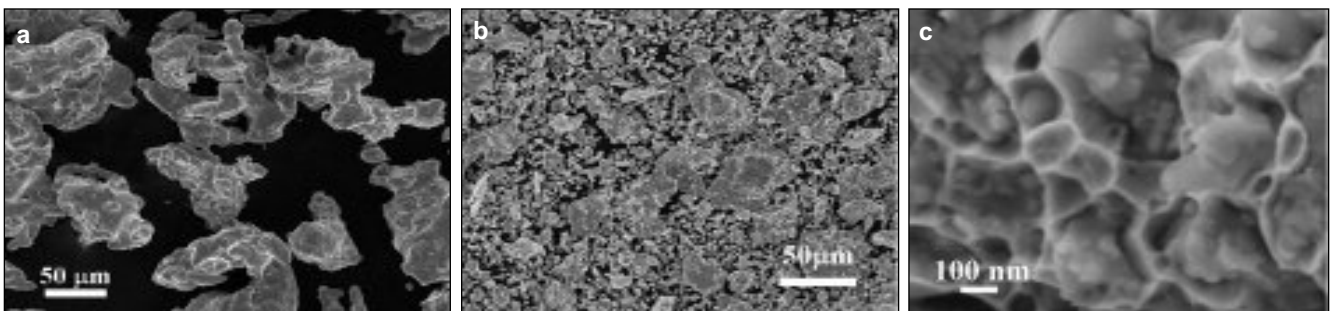
A röntgendiffrakcióval követhető a szerkezet változása a porok őrlése és az azt követő szinterelés során (*2. ábra*). Miközben a kezdetben domináns CrFeNi fázis az őrlést követően nehezen azonosítható, a FeNi fázis vonalainak intenzitása nőtt. Ez az intenzív őrlésnek tulajdonítható, amelynek során a szemcsék összetöredeznek. A vonalak kiszélesedése összhangban van a pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeken tapasztalt csökkenő szemcsemérettel. Új fázisok megjelenését nem tapasztaltuk, de az átlagos szemcseméret tovább csökken, amint az a SEM felvételeken látható.

Az ausztenites ODS acélpor elemeloszlás térképe, amelyet energiadiszperzív spektroszkópia (EDS) segítségével készítettünk, a *3a ábrán* látható. A vas mellett nikkel és króm alkotják az acélpor fő elemeit. Megfigyelhető, hogy a karbon nem egyenletesen oszlik el a mintában. A karbon elsősorban a kiindulási anyaggal kerül be, de kisebb mennyiségben az őrlés során szennyezőként is bekerülhet. A legérdekesebb az itrium eloszlása őrlés után, amely a *3b ábrán* látható. A kiindulási anyaghoz 1% itrium-oxidot kevertünk a nagy hőmérsékletű (> 500 °C) mechanikai tulajdonságok javítása érdekében. Az EDS felvételen látható, hogy az itrium-oxid egyenletesen beborította az acél szemcséinek felszínét (*3b ábra*).

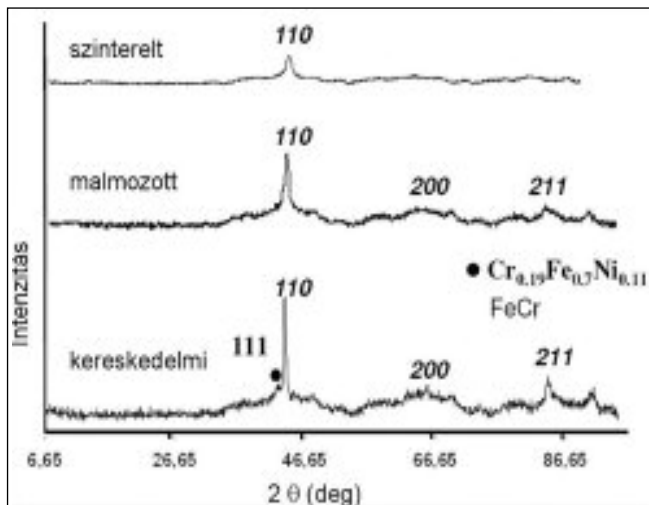
A *4a ábra* a martenzit fémport ábrázolja a kiindulási állapotban. A szemcsék átlagos mérete 100 µm, ami megfelel a gyártó által szavatolt szemcseméretnek. A martenzit por kémiai összetétele Fe 16Cr 2Ni 0.2C. Az őrlést kö-



■ **3. ábra.** Az ausztenites ODS acél összetételének elemi térképe. a) EDS térkép (detektált elemek a feltüntetett sorrendben: C – fekete, Fe – szürke, Cr – sötétebb szürke, Ni – szürkés, Y – szürke, Si – fehér, Mo – fekete), b) az itrium elemi térképe (fehér) Marker: 40 µm



■ **4. ábra.** Martenzites por SEM vizsgálatai. a) kiinduló fémpor, b) Y₂O₃ hozzáadása és vegyes őrlés után, c) szinterelés után



■ 5. ábra. Martenzites por röntgendiffrakciós vizsgálatának eredményei a kiindulási állapotban („kereskedelmi”), az őrlést követően („malmozott”) és szinterelés után („szinterelt”)

vetően a por szemcséinek jellemző mérete lényegesen kisebb lett (4b ábra). A 4c ábrán látható az SPS módszerrel történt szinterelést követően kapott ODS martenzit minták töretfelületének fényképe. A szinterelés után kapott ausztenites mintákban 100 nm átlagos szemcseméretet tapasztaltunk, ezzel szemben a martenzites minta mikroszerkezete 100–300 nm méretű szemcsékből áll.

Az őrlés utáni átlagos szemcseméret ugyan 1–2 μm, de hasonló tendenciát tapasztaltunk a kisebb szemcsék összetapadása tekintetében, mint az ausztenites por esetében. Ennek eredményeként megjelennek 25–50 μm méretű szabálytalan alakú szemcsék, amint az a 4b ábrán látható.

A martenzites por röntgendiffrakcióval készített fázisanalízisének felvételét az 5. ábra mutatja. A kezdeti állapotban a martenzites köbös $\text{Cr}_{0.19}\text{Fe}_{0.7}\text{Ni}_{0.11}$ fázis (JCPDFWIN 33-0397) és a köbös FeCr (JCPDFWIN 34-0396) fázis főbb vonalai láthatók. A kiindulási martenzites porban a köbös FeCr fázis dominál ($2\theta=44.7$, $2\theta=65.4$ és $2\theta=82.3$), de CrFeNi is jelen van. Az ausztenites por 12% Ni-tartalmával ellentétben a martenzites porban csak 2% nikkelt van.

A szemcseméret csökken az őrlés során, és nem jelennek meg új fázisok, hasonlóan az ausztenites porhoz. Szinterelés után FeCr uralja a szerkezetet. A vonalak

kiszélesedése a szemcseméret csökkenésével függ össze. A nanoszerkezet kialakulását a SEM felvételek is alátámasztják (5. ábra).

A röntgendiffrakciós és energiadisziperzív spektroszkópia analízis eredményei alapján az ODS acélban jelenlévő oxigéntartalom legfeljebb a kimutatható határ alatti érték lehet (6. ábra).

Mechanikai tulajdonságok

A szinterelt ODS acél mikrokeménységét 5 N és 10 N terheléssel mértük (1. táblázat). A martenzites ODS acél keménysége csaknem kétszerese az ausztenitesnek.

1. táblázat. Az ausztenites és martenzites ODS acélminták keménysége 5N és 10N terheléssel mérve

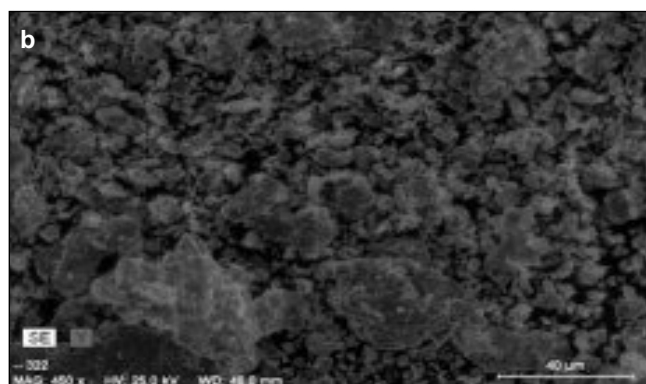
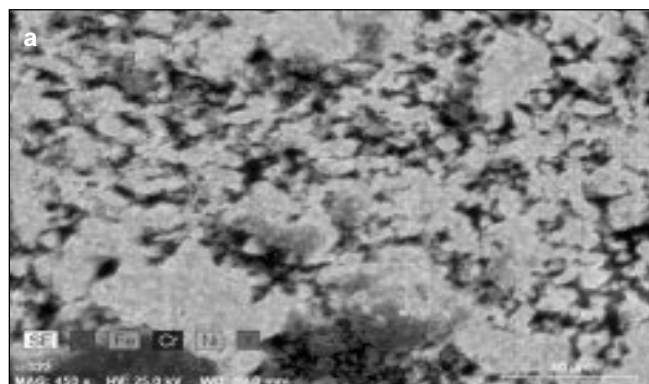
Minta	HV (5 N)	Hiba	HV (10 N)	Hiba
ausztenit +1wt% Y_2O_3	415	± 18	516	± 48
martenzit +1 wt% Y_2O_3	735	± 29	849	± 43

A szinterelt minták mechanikai tulajdonságait hajlítóvizsgálattal is értékeltük. Az ODS ausztenites és martenzites minták feszültség-lehajlás görbéi láthatók a 7. ábrán. A görbéről leolvasható, hogy a késztermékek ridegen viselkednek. A martenzites ODS minta hajlítási-lárdása 1806,7 MPa, az ausztenitesé 1210,8 MPa.

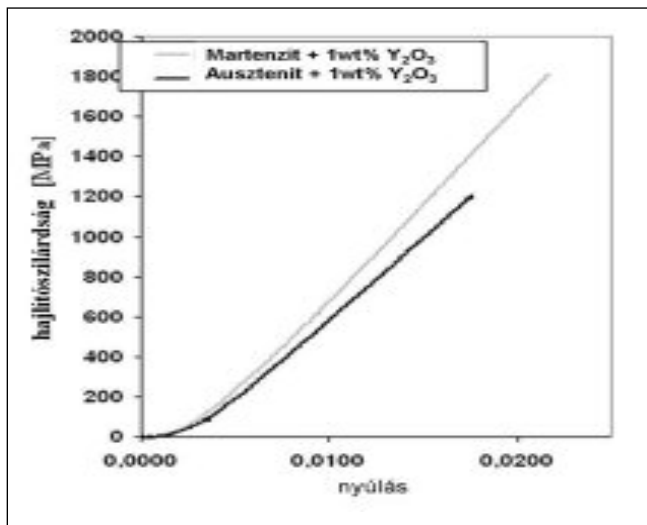
Összefoglalás

A mechanikai őrléssel előállított, itrium-oxid adalékkal erősített ODS acélok fejlesztéséről számoltunk be. Bemutattuk az őrlés során kialakuló szerkezet változását, és a végtermék mechanikai tulajdonságait. Az őrlés során a szerkezet jelentősen megváltozik. A vegyesen (nedvesen és szárazon) őrlött szemcsék közötti különbség abban mutatkozik meg, hogy az ausztenites porban arányaiban több kisméretű szemcse fordul elő, mint a martenzites porban.

Az ODS acél szemcséi átlagosan 1–2 μm-esek, de ezek a szemcsék 25–50 μm-es szabálytalan alakú egységekké állnak össze. A szinterelést gyors szintereléssel (SPS) végeztük. Az ausztenites ODS acélban az átlagos szemcseméret 100 nm. Ehhez képest a martenzites ODS acél valamivel nagyobb, 100–300 nm méretű szemcsék-



■ 6. ábra. A martenzites ODS acél összetételének elemi térképe. a) EDS térkép (C – fekete, Fe – szürke, Cr – szürke, Ni – szürke, Y – szürke), b) Az itrium eloszlása a mintában (fehér). Marker: 40 μm



■ 7. ábra. Az ausztenites és martenzites ODS minták feszültség-nyúlás görbéi

ből áll. A mechanikai vizsgálatok mindkét esetben nagy szilárdságot és rideg jellemzőket mutattak ki. A martenzites ODS acél keménysége csaknem kétszerese az ausztenitesének.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TÁMOP 4.2.2-08/1-2008-0016, FEMAS, EF-DA projektek támogatták. Köszönjük Horváth Zsolt Endrénének és Illés Leventének az XRD és SEM méréseket.

Irodalom

- [1] Borgioli, F. – Galvanetto, E. – Bacci, T. et al.: Surf. Coat. Technol. 149 (2002) 192–197.
- [2] Sandberg, O. – Jönson, L.: Adv. Mater. Process., 12 (2003) 37–42.
- [3] Lindskog, P.: The future of ferrous PM in Europe, Powder Metall. 47 (2004) 6–9.
- [4] Sobral, W. – Ristow, D. – Azambuja, I. – Costa, et al.: Corr. Sci. 43 (2001) 1019–1030.
- [5] Otero, E. – Pardo, A. – Utrilla, M. – Perez, F. – Merino, C.: Corr. Sci. 39 (1997) 453–463.
- [6] Corpas Iglesias, F. A. – Ruiz Roman, J. M. et al.: Powder Metall. 46 (2003) 39–42.
- [7] Adolf, F. – Paul, S.: Fémtechnológiai alapismeretek. B+V Lap- és Könyvkiadó, (2001) 96–97.
- [8] Ukai, S. – Nishida, T. – Okada, H. – Okuda, T. – Fujiwara, M. – Asabe, K.: J. Nucl. Sci. Technol. 34 (1997) 256.
- [9] Ukai, S. – Yoshitake, T. – Mizuta, S. – Matsudaira, Y. – Hagi, S. – Kobayashi, T.: J. ucl. Sci. Technol. 36 (1999) 710.
- [10] Alamo, A. – Decours, J. – Pigoury, M. – Foucher, C.: Structural Applications of Mechanical Alloying, ASM International, Materials Park, OH, 1990.
- [11] Alamo, A. – Regle, H. – Pons, G. – Bechade, L. L.: Mater. Sci. Forum 88–90 (1992) 183.
- [12] Mukhopadhyay, D. K. – Froes, F. H. – Gelles, D. S.: J. Nucl. Mater. 258–263 (1998) 1209.
- [13] Miller, M. K. – Kenik, E. A. – Russell, K. F. – Heatherly, L. – Hoelzer, D. T. – Maziasz, P. J.: Mater. Sci. Eng. A 353 (2003) 140.

- [14] Ukai, S. – Harada, M. – Okada, H. – Inoue, M. et al.: J. Nucl. Mater. 204 (1993) 65.
- [15] Ukai, S. – Harada, M. – Okada, H. – Inoue, M. et al.: J. Nucl. Mater. 204 (1993) 74.
- [16] Fischer, J. L.: US Patent 4,075,010 issued 21 February 1978.
- [17] Alamo, A. – Decours, J. – Pigoury, M. – Foucher, C.: Structure Application of Mechanical Alloying, Proceedings of an ASM International, 27–29 March 1990.
- [18] Yun, T. – Guangzu, L. – Bingquan, S.: 6th Japan–China Symposium on Materials for Advance Energy Systems and Fission and Fusion Engineering, RIAM, Kyushu University, 4–6 December 2000.
- [19] Mukhopadhyay, D. K. – Froes, F. H. – Gelles, D. S.: J. Nucl. Mater. 258–263 (1998) 1209.
- [20] Kimura, A. – Sawai, T. – Shiba, K. et al.: Nucl. Fusion 43 (2003) 1246.
- [21] Kimura, A. – Cho, H. S. – Lee, J. S. – Kasada, R. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: in: Proceedings of the 2004 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, 2004, p. 2070.
- [22] Kimura, A.: Mater. Trans. 46 (2005) 394.
- [23] Huet, J. J.: Powder Metall. 10 (1967) 208.
- [24] Huet, J. J. – Leroy, V.: Nucl. Tech. 24 (November, 1974) 216.
- [25] Igaki K. (Ed.), Iron and Steels, vol. 4, Japan Institute of Metals, 1985, p. 168.
- [26] Kimura, A. – Cho, H. S. – Toda, N. – Kasada, R. – Kishimoto, H. – Iwata, N. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: in: Proceedings of the 2005 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, 2005, paper no. 5338.
- [27] Cho, H. S. – Kimura, A. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: J. ASTM Int. 2 (7) (2005) 197.
- [28] Kimura, A. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: in: Proceedings of the 2004 International Congress Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP'04), 2004, p. 2070.
- [29] Cho, H. S. – Kimura, A. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: J. Nucl. Mater. 329–333 (2004) 387.
- [30] Cho, H. S. – Ohkubo, H. – Iwata, N. Y. – Kimura, A. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: in: Proceedings of the 2005 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, 2005, no. 5457.
- [31] Cho, H. S. – Ohkubo, H. – Iwata, N. et al.: Fusion Eng. Des. 81 (8–14) (2006) 1071.
- [32] Lee, J. S. – Kimura, A. – Ukai, S. – Fujiwara, M.: J. Nucl. Mater. 329–333 (2004) 1122.
- [33] Zorkóczy B.: Metallográfia és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó, 1988
- [34] Palm, M. – Preuhs, J. – Sauthoff, G.: Production scale processing of a new metallurgical NiAl-Ta-Cr alloy for high-temperature application. PART II., Powder metallurgical production of bolts by HIP, J. Mater. Process. Technol., 136, 2003, 114–119
- [35] Groza, J. R. – Ribaud, S. H. – Yamazaki, K.: Plasma Activated Sintering of Additive free AlN Powders to Near-theoretical Density in 5 Minutes, J. Mater. Res. 7 (1992) 2643–45.
- [36] Groza, J. R. – Curtis, J. D. – Kramer, M.: Field Assisted Sintering of Nanocrystalline Titanium Nitride, J. Am. Ceram. Soc. 83 (2000) 1281–83.
- [37] Lenel, F. V.: JOM, 7 (1955) 158.
- [38] Bevezetés a nanoszerkezetű anyagok világába, szerk. Csanády Andrásné – Kálmán Erika – Konczos Géza, ELTE Eötvös Kiadó Kft., Budapest, 2009