

Ferrites acéllemezek textúrájának jellemzése csészehúzás előtti és utáni állapotokban

Benke Márton*, Hlavács Adrienn, Schweitzer Bence, Mertinger Valéria

¹Fémtechnológiai Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem, Miskolc,
Magyarország

*Levelező szerző: fembenke@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Hengerelt lemezek síkbeli alakváltozóképségének inhomogenitását, más szóval a fülesedést csészehúzó vizsgálatokkal szokták kísérleti úton meghatározni. Amennyiben a csészehúzás eredménye egy olyan fülesedés becslésére alkalmas módszer validációjához kell, amely egyéb vizsgálatok (szakítóvizsgálatok, textúravizsgálatok) eredményein alapul, érdemes szem előtt tartani, hogy ipari méretű lemezekben a lemez szélessége, illetve hossza mentén a fülesedésbeli viselkedés jelentős eltéréseket mutathat. A fülesedésbeli viselkedés mintavételi helytől való függése ugyanakkor kedvezőtlen a módszer fejlesztési folyamata során. Jelen kutatásunkban célunk annak megválaszolása, hogy a csészehúzóvizsgálat megváltoztatja-e ferrites acéllemezek textúráját a csésze alsó, sík felületén. Röntgendiffrakciós textúravizsgálatokat végeztünk különböző állapotú DC01-es acéllemezekben csészehúzás előtt, majd a csészehúzóvizsgálatok után, a csészek alsó sík felületén. Kimutattuk, hogy a csészehúzás előtt, illetve után mért textúrákban nincs érdemi különbség. Ezek alapján, a csészehúzóvizsgálatok, illetve röntgendiffrakciós textúramérések elvégezhetőek ugyanazon mintahelyeken, ami növeli a megbízhatóságot, valamint csökkenti a vizsgálatokhoz szükséges anyagmennyiséget.

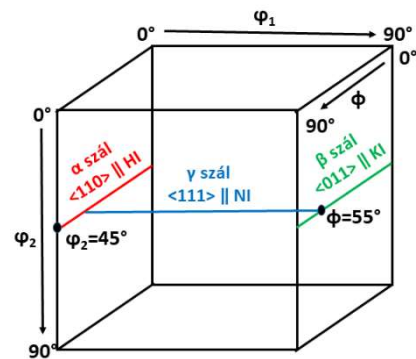
Kulcsszavak: textúra, csészehúzás, ferrites acél

1. Bevezetés

A kristálytanilag textúrált lemezszerű félkésztermékek csészehúzás, illetve az ehhez hasonló alakító eljárások (mélyhúzás, hátrafolyatás) során az inhomogén alakváltozóképségüknek köszönhetően egyenetlen magasságú csészt eredményeznek. A jelenséget fülesedésnek nevezi a szakirodalom, valamint a legnagyobb magasságú irányokat füleknek, a legkisebb magasságúakat pedig völgyeknek [1-4]. A síkbeli alakváltozóképség inhomogenitásának ismerete alapvetően fontos a félkésztermék további felhasználása, alakítása, valamint a termék tulajdonságainak

optimalizálása szempontjából. Annak ellenére, hogy a fülesedéssel foglalkozó szakirodalmak nagy része az alumínium ötvözetekkel foglalkozik, a jelenség természetesen előfordul egyéb fémből készült lemezekben, mint pl. rézötvözetekben, ferrites acéllemezekben, illetve különböző fémekből álló réteges szerkezetű lemezekben [5-9]. A költségek, illetve idő minimalizálása érdekében különböző eljárásokat dolgoztak ki a fülesedés következtében kialakuló csészeprofil becslésére. Ezek közül napjainkban általában vége-selemes módszereket alkalmaznak [5,8]. Amennyiben a becsült csészeprofil kísérleti úton

(csészehúzással) meghatározott csészeprofil segítségével hitelesítik, külön minta kerül kivágásra a csészehúzó vizsgálatokhoz, valamint a végeelemes számítás bemenő adatait biztosító vizsgálati technikákhoz, ami vagy mechanikai vizsgálatokat, vagy kristálytani textúra vizsgálatokat takar [7]. Az ipari gyakorlatban azonban ismert tény, hogy eltérő fűlésedebéli viselkedés tapasztalható a lemezek szélessége, illetve hosszúsága mentén [10]. Bár ez a jelenség az ipari méretű tekercsek esetén jelentős, előfordulhat a kisebb méretű (laboratóriumi) tekercsek előállításánál is. Ebből kiindulva, amennyiben a csészehúzásra, illetve az egyéb vizsgálatokra szánt mintadarabok különböző helyről származnak a vizsgált lemezen belül, kisebb-nagyobb mértékű eltérés várható a két mintadarab viselkedésében, ami zavaró lehet a vizsgálatok eredményeire alapozott metodika fejlesztése során. Olyan esetekben, amikor a csészehúzás röntgendiffrakciós textúravizsgálattal párosul, lehetőség van a textúravizsgálat elvégzésére a csészehúzásra szánt terítéken. Ehhez természetesen olyan mintatartóra van szükség, amely képes befogadni a terítéket. Amennyiben ilyen méretű mintatartó nem áll rendelkezésre, vagy a csészehúzó vizsgálat egyéb oknál fogva megelőzi a textúravizsgálatot, a pólusábrákat csak a lehúzott csészéken van lehetőség megvizsgálni. Jelen kutatásunk célja megállapítani, hogy a csészehúzó vizsgálat során érdeklődésben megváltozik-e a ferrites acéllemez textúrája a csésze alsó, sík felületén, vagyis, a lehúzott csészéken elvégezhető-e a textúravizsgálat. Vizsgálataink során ferrites acélból készült terítékek, majd lehúzott csészék textúráit hasonlítjuk össze a kristálytani anizotrópiát legátfogóbban jellemző leírási mód, a textúra-szálak segítségével. A térben középpontos kockarácsú fémek nevezetes textúra-szálait (α , β , γ) az 1. ábra mutatja a hozzájuk tartozó Euler-koordinátákkal. Ezek közül a ferrites acélok textúráját az α - illetve a γ -szálak teljes körűen leírják, ezért a β -szálak ismertetésétől eltekintünk [11].



1.Ábra Felületen középpontos kockarácsú fémek textúráját leíró szálak az Euler-térben. [11]

2. Vizsgálati módszer és anyag

A vizsgált DC01 típusú ferrites acéllemezeket az ISD Dunafer Zrt. biztosította, melynek összetételét az 1. Táblázat mutatja. A gyártótól a lemezeket ~0,8 mm végvastagságúra hidegen hengerelt állapotban kaptuk.

1. Táblázat A vizsgált DC01 típusú acéllemezek összetétele, m/m%.

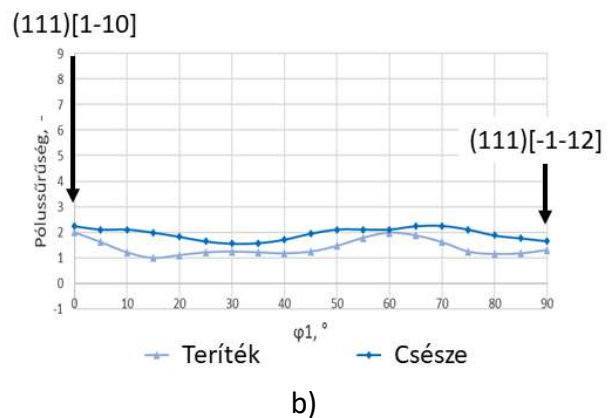
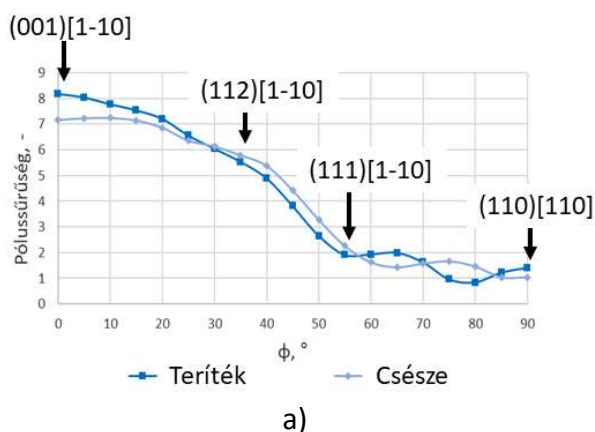
Elem	C	Mn	Cu	Al	Cr	Ni
	0,03	0,22	0,09	0,04	0,11	0,05

A kapott lemezek egyikén hidegen hengerelt állapotban végeztük vizsgálatunkat, míg további két lemezt újrakristályosító hőkezeléseknek tettünk ki 650°C-on, illetve 700°C-on 1 h időtartamig, légterű kemencében. Az újrakristályosító hőkezelések hőmérsékletéről a lemezek levegőn hűltek szobahőmérsékletre. A lemezekből 50 mm átmérőjű terítékeket munkáltunk ki. A kimunkált terítékeken röntgendiffrakciós textúravizsgálatokat végeztünk egy Euler-bölcsővel ellátott Bruker D8 Advance típusú röntgendiffraktométerrel. A berendezés $\text{CoK}\alpha$ sugárforrást használ, valamint 40 kV csőfeszültséggel és 40 mA fűtőárammal üzemel. A vizsgálatok során az $\{110\}$, a $\{200\}$, illetve a $\{211\}$ reflexióinak pólusábráit mértük a maximális, $\chi=75^\circ$ minta döntésig. (Ahol χ a diffraktáló sík normálisa és a hengerlési koordináta-rendszerben a normálirány által bezárt szög, vagyis χ a minta keresztirány körüli döntése a sugármenethez képest.) A teljes ($\chi=90^\circ$ döntésig), újrászámított pólusábrákat a berendezés saját szoftverével, a TexEval

programmal hoztuk létre. Ezek után szintetizáltuk az orientációs eloszlásfüggvényt (ODF), illetve ennek nevezetes vetületeit, az α - illetve a γ -szálakat. A terítéken végzett textúravizsgálatok után csészehúzóvizsgálatokat végeztünk a Neumann János Egyetem GAMF tanszékén egy Erichsen típusú csészehúzó berendezéssel. A csészehúzóvizsgálat további paraméterei az alábbiak: szerszám átmérő: 34 mm, tüske átmérő: 33 mm; szerszám lekerekítés: 5 mm; tüske lekerekítés: 5 mm. A lehúzott csészek alsó, sík felületén ismét elvégeztük a textúravizsgálatokat a korábban leírt metodikával.

3. Eredmények

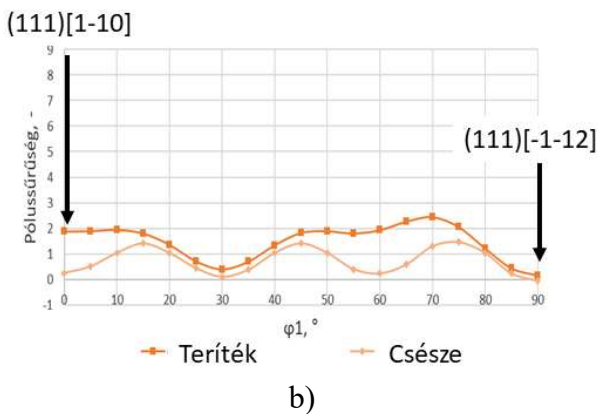
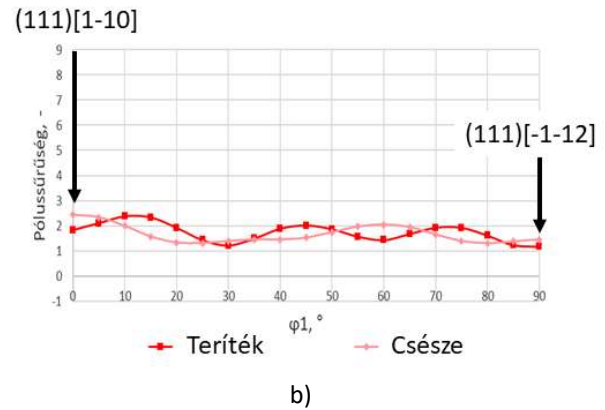
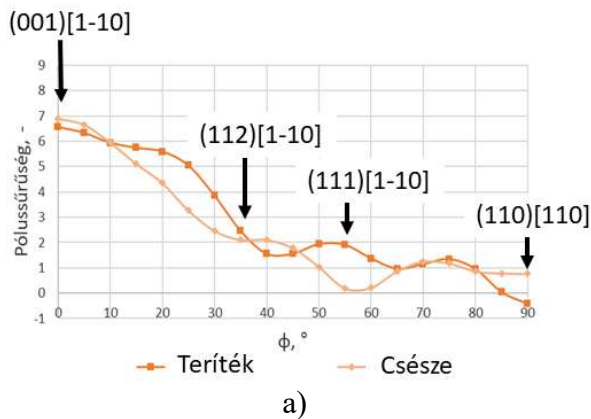
A 2. ábra a hidegen hengerelt állapotú minta eredményeit, a 3 és 4. ábrák pedig a 650°C-on, illetve 700°C-on lágyított minták eredményeit foglalják össze. Az ábrák a térben középpontos kockarácsú fémek textúráját reprezentálják, az 1. ábrán bemutatott α - illetve γ -szálakat mutatják, valamint feltüntettük a nevezetes elemi cella orientációkat (textúra-komponenseket) is, melyeket Suwas és társai, illetve Li és társai közöltek [11,12]. Az α -szálak esetében a változó koordináta a ϕ szög, míg ϕ_1 értéke: 0°, ϕ_2 értéke: 45°. A γ -szálak esetében a változó koordináta a ϕ_1 szög, míg ϕ értéke: 55°, ϕ_2 értéke: 45°.



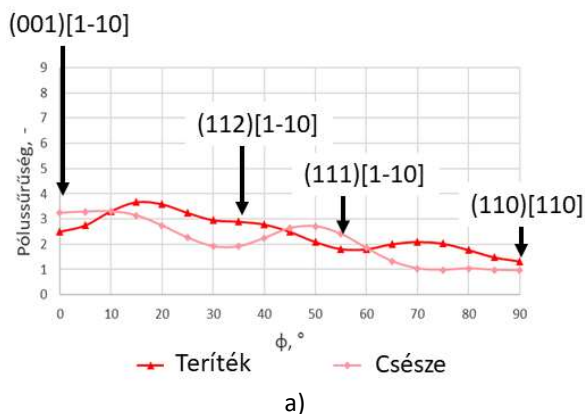
2.Ábra A hidegen hengerelt állapotú minták eredményei csészehúzás előtt és után, valamint a nevezetes textúra-komponensek. a) α -szálak, b) γ -szálak.

A 2. ábrán látható, hogy a hidegen hengerelt állapotú minta textúrájában csészehúzás előtt, illetve csészehúzás után a pólussűrűségben tapasztalható eltérések legnagyobb értéke 1, ami nem tekinthető relevánsnak ~ 7 -es értékű maximális pólussűrűség esetében. A textúrát mindkét állapotban a (001)[1-10], illetve az (112)[1-10] komponensek uralják. Mind az α , mind a γ -szálak esetében megállapítható, hogy a szálak tendenciája nagyon hasonló, értékük között a maximális eltérés ~ 1 (pólussűrűségben), ami minimális különbségnek tekinthető. Ez a minimális különbség feltehetőleg onnan származik, hogy a mintának a mintatartóban történő elhelyezése során nem pontosan ugyanazt a felületét fedte le a röntgennyaláb csészehúzás előtt és után, így minimális eltérés volt a két esetben a vizsgált térfogatot illetően.

A 650°C-on (3. ábra), illetve a 700°C-on (4. ábra) lágyított minták esetében szintén megállapítható, hogy a csészehúzás előtti, illetve a csészehúzás utáni állapotok között minimális különbségek figyelhetők meg a textúrákban. A 650°C-on lágyított minta esetében a legnagyobb eltérés az α -szálakon, az (111)[1-10] komponensnél figyelhető meg (3. a ábra), ahol az eltérés legnagyobb értéke ~ 2 . Ez az eltérés azonban lokális jellegű, a két állapothoz tartozó α -szálak viszonylag kis ϕ tartományon belül ismét közel azonos értékeknél futnak.



3.Ábra A 650°C-on lágított minták eredményei csészehúzás előtt és után, valamint a nevezetes textúra-komponensek. a) α -szálak, b) γ -szálak.



4.Ábra A 700°C-on lágított minták eredményei csészehúzás előtt és után, valamint a nevezetes textúra-komponensek. a) α -szálak, b) γ -szálak.

A 2. és 4. ábrákat összevetve látható, hogy a hideg hengerlésre jellemző, erős (001)[1-10], illetve (112)[1-10] komponensek értékei 7-8, illetve ~5,5 értékekről 2-3-ra, illetve 2-3-ra esnek a lágító hőkezelés hatására. Ez egyértelműen azt jelzi, hogy a lágító hőkezelés hatására gyengült a hideg hengerlési textúra, ami az újrakristályosodási folyamatnak köszönhető.

4. Összefoglaló

A vizsgált DC01-es típusú acéllemez mintasorozatban volt olyan minta, melyben a hengerlési textúra dominált, a lágító hőkezelésekkel létrehoztunk olyan mintát, amelyben ez részlegesen leépült, illetve olyat is, amelyben ez teljesen megszűnt. Mindhárom minta esetében elvégeztük a röntgendiffrakciós textúraméréseket csészehúzás előtt, illetve után. A kapott eredmények kimutatták, hogy a csésze alsó, sík felületén a kristálytani textúra nem változik érdemben a csészehúzási folyamat során. Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy a röntgendiffrakciós textúravizsgálatok elvégezhetők csészehúzás után is, a csészék alsó, sík felületén. (Kivételt képez természetesen az az eset, amikor a röntgensugárzás foltmérete lefedi a csésze húzása során kialakuló lekerekítést.) A fenti megállapítás ismeretében lehetőség nyílik annak biztosítására, hogy a csészehúzóvizsgálat, illetve a textúravizsgálat során a vizsgált térfogat közel azonos helyről származzon. Ezzel a lemezek szélessége, illetve

hossza mentén esetlegesen előforduló füledésbeli inhomogenitások zavaró hatása kiküszöbölhető, a vizsgálatokhoz szükséges anyagmennyiség csökkenthető, továbbá a két vizsgálat időbeli sorrendje szabadon megválasztható.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A csészehúzó vizsgálatok elvégzését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal NKFIH K 119566 projektje támogatta. A textúravizsgálatok az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-2-II-ME/12 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott Szakmai Támogatásával készültek. A szerzők köszönettel tartoznak Béres Gábornak a csészehúzóvizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségéért.

5. Irodalmi hivatkozások

[1] Sheppard, T.; Zaidi, M. A.; *Met. Technol.* **1982**, 9, 368–374.

[2] Kao, P.-W. *Mater. Sci. Eng.* **1985**, 74, 147–157.

[3] Van Houtte, P.; Cauwenberg, G.; Aerno dt, E. *Mat. Sci. Eng.* **1987**, 95, 115–124.

[4] Engler, O. *Mat. Sci. Eng. A* **2012**, 538, 69–80.

[5] Choi, S.-H.; Lee, B. Y. *Mat. Sci. For.* **2005**, 495–497, 1237–1242.

[6] Gurao, N. P.; Kumar, P.; Bhattachaya, B.; Haldar, A.; Suwas, S. *Met. Mat. Trans. A* **2012**, 43A, 5193–5201.

[7] Bandyopadhyay, K.; Panda, S. K.; Saha, P.; Padmanabham, G. *J. Mater. Process Tech.* **2015**, 217, 48–64.

[8] Gössling, M. *J. Phys. Conf. Ser.* **2016**, 734, 032045.

[9] Atrian, A.; Fereshteh-Saniee, F. *Composites* **2013**, B47, 75–81.

[10] Benke, M.; Hlavacs, A.; Petho, D.; Angel, D. A.; Sepsi, M.; Nagy, E.; Mertinger, V. *IOP Conf. Seri-Mat. Sci.* **2018**, 426, 012003.

[11] Suwas, S.; Ray, R. K. *Crystallographic Texture of Materials*; Springer: New York, 2014; pp. 117–118.

[12] Li, S.; Zhang, X.; Gottstein, G.; *ISIJ Int.* **1999**, 39(5), 501–508.