

MELEGEN HENGERELT ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK DINAMIKUS ÚJRAKRISTÁLYOSODÁSÁNAK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF THE DYNAMIC RECRYSTALLIZATION OF HOT ROLLED ALUMINUM ALLOYS

HEGYES TIBOR¹–BARKÓCZY PÉTER²

A szakirodalom alapján az alumínium melegalakításakor a dinamikus megújulás a lágyulásért felelős folyamat. Ezzel ellentétben azonban több cikkben olvashatunk mérési eredményeket, amelyek alumíniumötvözetekben végbemenő dinamikus újrakristályosodásról számolnak be. Ennek vizsgálatára indítottunk kísérletsorozatot, ahol négy különböző alumíniumötvözet melegalakítása közben végbemenő mikroszerkezeti változásokat vizsgáltuk. Az alakítást Von Roll kísérleti hengerállvánnyal végeztük 20–60% fogyás tartományban 400–500 °C közötti alakítási hőmérsékleten. A hengerelt lemezek mikroszerkezetében a dinamikus újrakristályosodás megindulását vizsgáltuk. A vizsgálatok során megállapítottunk egy határgörbét a fogyás és alakítási hőmérséklet paraméterterben, ami elválasztja egymástól a kísérleti paramétereket, amelyek mellett a dinamikus megújulás, illetve a dinamikus újrakristályosodás megy végbe. Ötvözetlen alumínium esetében valóban nem sikerült kimutatni a dinamikus újrakristályosodást, erősebben ötvözött lemezek esetében azonban széles tartományban végbement.

Kulcsszavak: alumíniumötvözet, meleghengerlés, újrakristályosodás, szemcseszerkezet

It can be read in the literature that dynamic recrystallization cannot occur in the hot forming of aluminum. The dynamic recovery cause the softening during the hot forming of these alloys. But articles present results of experiments where dynamic recrystallization was detected in aluminum alloys. In our article the onset of dynamic recrystallization was examined in different aluminum alloys. The hot forming experiments were performed on a Von Roll rolling stand. The specimens were hot rolled at between 400 °C and 500 °C under the range of degree of deformation 20% and 60%. The onset of dynamic recrystallization is detected in the microstructure of the rolled samples. The result of the examination is a curve in the parameter space of the temperature and the degree of deformation which separate the dynamic recovery and the dynamic recrystallization. In the commercial purity aluminum the dynamic recrystallization can not detected. In alloys with high Mg content the dynamic recrystallization takes place in a wide range of temperature and degree of deformation.

Keywords: aluminum alloy, hot rolling, recrystallization, grain structure

¹ Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros
hegyestibor1@gmail.hu

² Miskolci Egyetem, Anyagtudományi Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros
peter.barkoczy@gmail.com

Bevezetés

Az alumínium kedvező tulajdonságai miatt, egyre szélesebb körben terjed el a földön. Lemeztermékek formájában nagy mennyiségben kerül forgalomba. Egyik elterjedt lemezgyártási technológia elsőként buga öntéssel indul, majd ezt feldolgozva kapjuk meg a terméket.

Bugából történő vékonyabb lemezek gyártása esetén meleghengerlést alkalmazunk. A hengerlés olyan hőmérsékleten történik, ahol már az alakítás közben, dinamikusán újrakristályosodik az ötvözet. A hengerlés alatt a lemezben jelen lévő hő hatására, ha a hőmérséklet elegendő, megújulás, csíráképződés és csíranövekedés, azaz az újrakristályosodás, végül az új szemcsék durvulása történik [1]. Ezen folyamatok lejátszódása különbözteti meg a hideg hengerléstől, avagy a hidegalakítástól a meleg hengerlést.

Hideghengerlés esetén az alakváltozás következtében diszlokációk halmozódhatnak fel, akadályozva egymás útját, megnövelve ezzel a darab keménységét, szakítószilárdságát, folyáshatárát [2].

A meleghengerlés egy kulcsfontosságú folyamat, hiszen újrakristályosodás következtében azonnal lágyul a lemez, kevesebb szűrással, nagyobb alakítási mérték alkalmazásával, gazdaságosabban érhető el a kívánt végső lemezvastagság [3, 4]. Hengerléskor a lemez sokkal kisebb mértékben keményedik fel a hidegalakítással ellentétben, a hőmérséklet hatására végbemenő újrakristályosodás, azaz lágyulás miatt [5].

Magasabb hőmérséklet miatt számolni kell a hőtágulással. Emiatt meleghengerléssel korlátozott az elérhető méretpontosság. Megemelt hőmérséklet hatására olyan reakciók indulhatnak el, amelyek miatt felületi minőséggel szemben támasztott követelmények esetleg nem teljesülnek. Meleghengerléssel adott lemezvastagságnál kisebbet nem lehet elérni, így további vastagságcsökkentést csak hideghengerléssel lehet megvalósítani, amellyel már pontos méretek állíthatók be, jobb felületi minőségben [6].

Melegalakítás után további megmunkáláson eshet át a darab, hordozva magában a korábban kialakult anyagszerkezeti tulajdonságokat. Ezért fontos a meleghengerelt lemezek mikroszerkezetének vizsgálata.

Az alumínium nagy rétegződési hibaenergia-sűrűségének köszönhetően a diszlokációk mozgékonyak, a megújulás gyors folyamat. Gyorsabb, mint az újrakristályosodás. Ennek köszönhetően meleghengerlés közben nem az említett dinamikus újrakristályosodás, hanem dinamikus megújulás megy végbe. Ebben az esetben a meleghengerlés után kapott mikroszerkezet alakított jelleget mutat. Azonban, ha az ötvözők mennyisége elkezd emelkedni, akkor a megújulás lelassul és az újrakristályosodás kerül előtérbe. Ebben az esetben újrakristályosodott szemcseszerkezetet kapunk a meleghengerlés után. Tanulmányunkban kereskedelmi tisztaságú alumíniumötvözetet hasonlítottunk össze magnézium és vastartalmú ötvözetekkel a dinamikus újrakristályosodás megindulása alapján.

1. Vizsgált anyagok és a kísérlet leírása

Meleghengerlési kísérletünkben 4 különböző alumíniumötvözetet hasonlítottunk össze, ezzel szemléltetve az ötvöző anyagok, az előélet és a különböző alakítási mérték alkalmazása által okozott eltérő mikroszerkezeti sajátosságokat, folyamatokat magas alakítási hőmérsékleteken. Vizsgált anyagok a 1050, 5083, 5182 és 8006-os alumíniumötvözet.

A szabványos összetételeket az 1–3. táblázatban mutatjuk be. A kutatásban Von-Roll típusú duo üzemben is működő hengerállványon végeztük a meleghengerlési kísérleteket.

1. táblázat

5182 és 5083-as alumíniumok szabványos kémiai összetétele

Ötvözet	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %	Egyéb %
5182	0,20	0,35	0,15	0,20 0,50	4,0 5,0	0,10	0,25	0,10	0,15
5083	0,40	0,40	0,10	0,40 1,0	4,0 4,9	0,05 0,25	0,25	0,15	0,15

Hengerlésre 23 mm széles 250 mm hosszú mintákat munkáltunk ki. A darabok kiinduló magassága eltérő, a 1050 és az 5182 ötvözetből készített minták 20 mm, végül az 5083 és a 8006 ötvözetből készült minták pedig 10 mm vastagok voltak. A 8006-os ötvözet esetén öntött és már előzőleg homogenizált és melegen hengerelt darabokon végeztük el a kísérletet. A többi ötvözet kiinduló állapota öntött volt.

2. táblázat

A 8006 alumíniumötvözet szabványos összetétele

Mn, %	Fe, %	Si, %	Mg, %	Cu, %	Zn, %	Ti, %	Egyéb, %
0,5–0,6	1,45–1,65 max	0,1 max	0,035	0,03–0,07	0,04	0,04	0,05–0,15

A mintákat villamos ellenállású kamrás kemencében 400, 425, 450, 475 és 500°C-on 1 órán keresztül hőn tartottuk, majd egy szűrással 20, 30, 40, 50, 60%-os alakítási mértékkel hengereltük 100 m/perc-es hengerlési sebességgel. Az alakított darabok szabad levegőn hűltek le szobahőmérsékletre. Munkahenger előmelegítést nem alkalmaztunk.

3. táblázat

A 1050 alumíniumötvözet
szabványos összetétele

Mn, %	Fe, %	Si, %
0,03–0,05	0,28–0,33	0,1 max

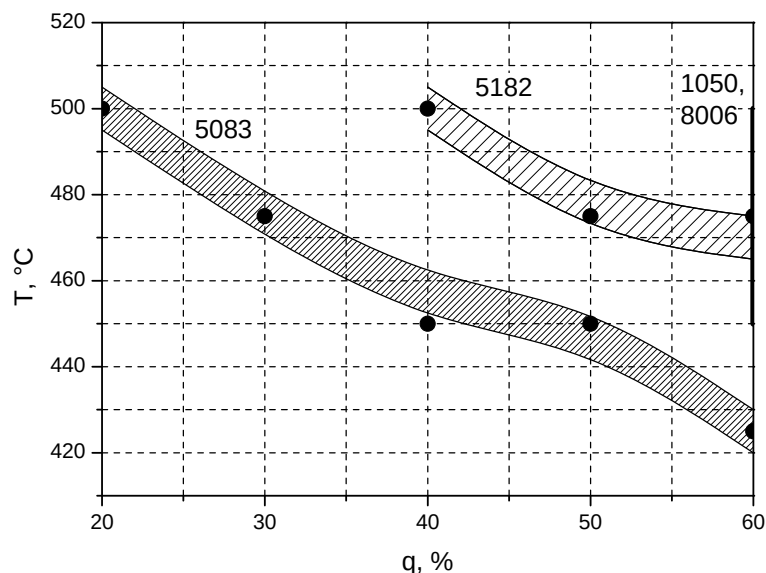
Metallográfiai vizsgálatra készítettük elő mintáinkat. A csiszolatokat hengerlési irányban a keresztírányra merőlegesen vettük. A szemcseszerkezet jobb vizsgálhatósága miatt a mintáinkat színes maratással készítettük elő. Ehhez Struers Lectro-Pol 5 típusú elektro-polírozó berendezést és Barker-marószert alkalmaztunk. Mechanikus csiszolás és polírozás után a gyártó által javasolt paraméterekkel beállítva a berendezést végeztük el a maratást.

Polarizált fényben Zeiss AxioVert 40-es optikai fénymikroszkópra szerelt Zeiss ICc kamerával készítettük fényképeket.

A mikroszerkezetek tanulmányozása során figyeltük, hogy melyik paraméter együttesénél indul meg az újrakristályosodás, azaz melyik vizsgált csiszolaton látjuk zömmel az újrakristályosodott szemcséket.

2. Kiértékelés és eredmények

A melegen hengerelt ötvözték mikroszerkezetének tanulmányozása alapján diagramot készítettünk, amelyben bejelöltük azt a fogyást és alakítási hőmérsékletet, ahol a dinamikus újrakristályosodás megindul (1. ábra). A fogyást a keresztmetszet csökkenéséből számítjuk úgy, hogy a minták kiszélesedésétől eltekintünk.

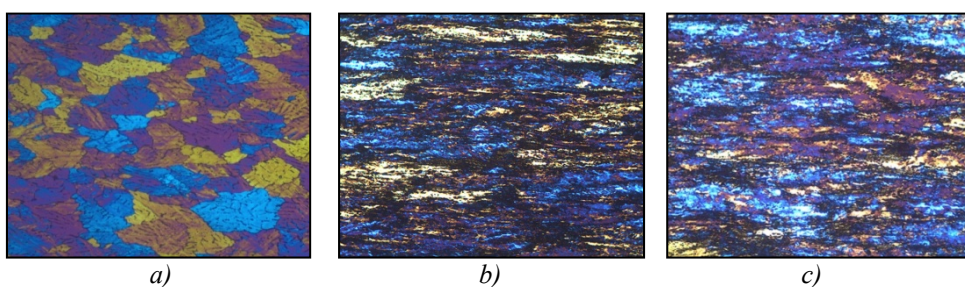


1. ábra. A dinamikus újrakristályosodás megindulásának határgörbéi a fogyás és az alakítás hőmérsékletének függvényében a vizsgált ötvözték esetén

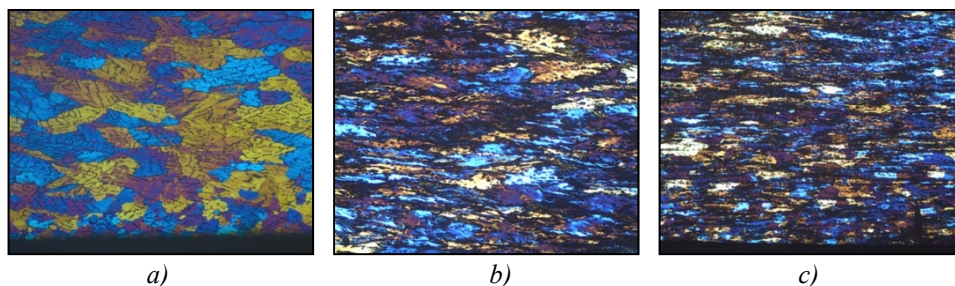
A diagramban bejelöltük mindegyik ötvözték vonatkozó határtartományt. A tartomány bejelölését az indokolta, hogy a tetemes mintaszám ellenére kevés mintából kellett meghatározunk, hogy melyik paraméter együttes esetén indul meg a dinamikus újrakristályosodás. Ez magában hordozza, hogy pontos adatot nem tudunk a kísérletsorozatunkból megállapítani, az újrakristályosodott szerkezetből tudunk következtetni a görbe helyzetére. Ezt érzékeltetjük azzal, hogy egy sávot adunk meg.

A 1050 kereskedelmi tisztaságú, és a 8006 emelt vastartalmú ötvözték esetén a határgörbe egy függőleges szakasz a 60%-os fogyásnál 450 °C-tól 500 °C-ig. Ezen a tartományon kívül minden esetben csak alakított szemcseszerkezetet látunk (2. ábra). Az említett tarto-

mányban azonban a lemezek hengerekkel érintkező felületéhez közel az újrakristályosodás megindulása tapasztalható, bár a lemezek belső rétegeiben továbbra is alakított jellegű szemcseszerkezetet kapunk (3. ábra).



2. ábra. A 1050 és 8006 ötvözet mikroszerkezetei, ahol a dinamikus újrakristályosodás nem észlelhető: a) 1050 ötvözet – 500 °C – 50% fogyás, b) 8006 öntött ötvözet – 500 °C – 40% fogyás, c) 8006 melegen hengerelt ötvözet – 500 °C – 40% fogyás.

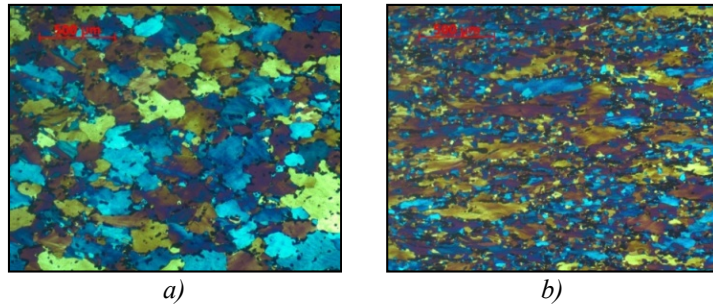


3. ábra. A 1050 és 8006 ötvözet mikroszerkezetei, ahol a dinamikus újrakristályosodás nyomai megtalálhatók: a) 1050 ötvözet – 500 °C – 60% fogyás, b) 8006 öntött ötvözet – 500 °C – 60% fogyás, c) 8006 melegen hengerelt ötvözet – 500 °C – 60% fogyás

A dinamikus megújulás hatására bekövetkező lágyulást korábbi tanulmányunkban bemutattuk [7]. Mint látható, ezen a tartományon kívüli paraméter beállításnál dinamikus megújulás megy végbe az említett két ötvözetben. Ezt mindenképpen figyelembe kell venni akkor, amikor mikroszerkezeti előírásokat is támasztanak a melegen hengerelt lemezzel szemben.

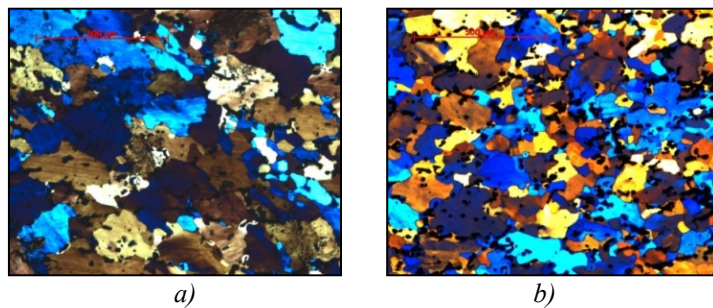
Az eredményekből látható, hogy az öntött állapotú és a már melegen hengerelt 8006-os ötvözet is ugyanúgy viselkedik ebből a szempontból. Továbbá megállapítható az is, hogy a vastartalom jelentős megemelése nem okoz változást a melegalakítás közben végbemenő folyamatok tekintetében.

Korábbi tanulmányainkban ugyancsak bemutattuk, hogy a magnézium ötvözésű 5083-as és 5182-es ötvözet esetében is megindul melegalakítás során a lágyulás [7]. Megvizsgálva a mikroszerkezeteket azt látjuk, hogy ezeknél az ötvözeteknél nem a teljes tartományban a dinamikus megújulás a felelős a lágyulásért, hanem nagy fogyás értékeknél és magas alakítási hőmérsékletek alkalmazásánál megindul az újrakristályosodás, amely során apró szemcsék jönnek létre a lemezek mikroszerkezetében (4. és 5. ábra).



4. ábra. Az 5083 ötvözet mikroszerkezete meleghengerlés után:

- a) 475 °C – 20% hengerlés után a dinamikus újrakristályosodás nem jelentkezik,
 b) 425 – 60% hengerlés után a szemcsehatárokon az újrakristályosodott apró szemcsék megfigyelhetők



5. ábra. Az 5182 ötvözet mikroszerkezete meleghengerlés után:

- a) 500 °C – 30% hengerlés után a dinamikus újrakristályosodás nem jelentkezik,
 b) 500 – 50% hengerlés után a szemcsehatárokon az újrakristályosodott apró szemcsék megfigyelhetők.

A határgörbe alatti területen pedig ezeknél az ötvözeteknél is alakított jellegű szemcse-szerkezetet kapunk. Az 5083 és az 5182 ötvözet között jelentős különbséget kapunk. 5083 ötvözet esetén jóval szélesebb tartományban jelentkezik a dinamikus újrakristályosodás, mint 5182 esetében. 5083 ötvözet esetében 500 °C-on 20% fogyás mellett is azonosítható a dinamikus újrakristályosodás a mikroszerkezetben.

425 °C-on hengerelt mintákban, 60%-os alakítás mellett a darabon már dinamikus újrakristályosodás felelős a lemezek lágyulásáért. A két említett határpontot összekötő szakasz-nál magasabb hőmérsékleteket és fogyásokat adó kísérleti beállításoknál biztosan megfigyelhető a dinamikus újrakristályosodás a szemcseszerkezetben.

5182 ötvözet esetén ugyanez a terület 500 °C hőmérséklet 40% fogyás és a 475 °C hőmérséklet 60% fogyás által kijelölt pontokat összekötő határgörbe fölött található. A két ötvözet öntött szerkezete között jelentős eltérést nem tapasztaltunk, csak az összetételben

láthatunk eltérést. A két ötvözet mangántartalmában látunk különbséget, ami jelentősen képes befolyásolni az újrakristályosodás kinetikáját [8].

Összefoglalás

Tanulmányunkban négy alumíniumötvözetet (1050, 8006, 5083 és 5182) hasonlítottunk össze meleghengerlés során kialakuló szemcseszerkezetük alapján. Mindegyik ötvözet öntött állapotú volt, kivéve a 8006-os ötvözetből hengereltünk egy előzőleg melegen hengerelt állapotú ötvözetet is. Az alumíniumötvözetek tömbjeiből mintákat munkáltunk ki a hengerlési kísérletekhez, amiket Von Roll típusú kísérleti hengerállványon végeztünk el. A hengerléseket 20–60% közötti fogyással és 400–500 °C közötti hőmérsékleteken végeztük el. A hengerelt lemezekből metallográfiai vizsgálatra mintát vettünk, és tanulmányoztuk a mikroszerkezetüket. A metallográfiai vizsgálatok során a dinamikus újrakristályosodás megindulását kerestük, ugyanis az alumíniumötvözetek esetén kérdéses, hogy az adott paraméterek mellett a dinamikus újrakristályosodás, illetve a dinamikus megújulás-e a meghatározó folyamat. 1050 és 8006 ötvözet esetén szinte a teljes vizsgálati tartományban a dinamikus megújulás megy végbe, az alakított lemezek mikroszerkezetében alakított szemcséket látunk. 60% fogyás esetén a 450 °C–500 °C tartományban látunk a lemezek felületéhez közel újrakristályosodott szemcséket. A lemez belsejében azonban nem jellemző folyamat. Az 5083 és az 5182 ötvözet esetében kiterjedtebb területen jelentkezik a dinamikus újrakristályosodás. 5083 ötvözet esetén 20% fogyás mellett 500 °C-on látunk újrakristályosodott szemcséket a teljes metszetben. 60%-os fogyás esetén a teljes vizsgált hőmérséklet-tartományban jelentkezett a dinamikus újrakristályosodás. 5182 ötvözet esetén ez a tartomány jóval szűkebb. 40% fogyásnál kisebb fogyás esetén és 450 °C alatti hőmérsékleten végezve az alakítást nem tapasztaltuk az újrakristályosodás megindulását.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt keretében készült.

Irodalom

- [1] Cotterill, P.–Ould, P. R.: *Recrystallization and Grain Growth in Metals*. Surrey University Press, London, 1982.
- [2] Verhoeven, J. D.: *Fundamentals for Physical Metallurgy*. Willey & Sons, New York, 1975.
- [3] Totten, G. E.: *Handbook of Aluminium. Vol. 1–Vol. 2*. Marcel Dekker, New York, 2003.
- [4] *ASM Metals Handbook. Vol 14*. ASM International, 1992.
- [5] Hosford, W. F.–Caddell, R. M.: *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- [6] *Aluminum and aluminum alloys*. ASM International, special editon, 1992.
- [7] Hegyes, T.–Barkóczy, P.: *Melegen hengerelt 5083 és 5182 alumínium dinamikus újrakristályosodásának vizsgálata*. A Miskolci Egyetem közleménye, Anyagmérnöki Tudományok, 37. kötet (2012), 1. füzet, pp. 125–133.
- [8] Hegyes, T.–Barkóczy, P.: *Az előmelegítés hatása az Al-1,5%Mn alumíniumötvözet lágyulására*. Bányászati és Kohászati Lapok, 145. évfolyam, 5. szám, (2012), pp. 36–39.

