

7075 AI ÖTVÖZET DINAMIKUS ÚJRAKRISTÁLYOSODÁSÁNAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC RECRYSTALLIZATION OF A 7075 AI ALLOY

MIKÓ TAMÁS¹–BARKÓCZY PÉTER²

A cikk témája a melegalakítás során végbemenő dinamikus újrakristályosodás vizsgálata. Munkánk során két különböző kiinduló állapotú 7075 alumíniumötvözetet hajtottunk végre melegnyomó vizsgálatokat, melyek hőmérséklettartománya 573 K és 723 K, az alakváltozási sebesség tartomány pedig 0,002 és 2 s⁻¹ között volt. A darabok maximális alakváltozása minden esetben 0,5 mm/mm volt. A nyomóvizsgálatok eredményeiből meghatároztuk a két különböző kiinduló állapotú alumínium ötvözet aktiválási energiáját, ami 137,7 kJ/mol és 142,4 kJ/mol. A dinamikus újrakristályosodás megindulásához szükséges kritikus feszültség és alakváltozás megállapításához numerikus módszerrel használtunk. A módszer az alakítási keményedésnek (θ), a valódi feszültség (σ), illetve alakváltozás (ϵ) szerinti változásán alapul. Az alakítást követően készített szöveteképek alapján megállapítottuk, hogy az alkalmazott vizsgálati körülmények között, egyes esetekben csak a dinamikus megújulás (DRV), más esetekben pedig a dinamikus újrakristályosodás (DRX) ment végbe. Az a kritikus feszültség, amely a DRX vagy a DRV megindulásához szükséges, függ a vizsgálati hőmérséklettől, az alakváltozási sebességtől és a kiinduló szemcseszerkezettől. Meghatároztuk a kritikus és maximális feszültséget, valamint a hozzájuk tartozó alakváltozások értékeit. Az általunk alkalmazott vizsgálati körülmények között ezek az arányok $\sigma_c/\sigma_p = (0,93-0,99)$ és $\epsilon_c/\epsilon_p = (0,3-0,74)$ voltak.

Kulcsszavak: DRX, DRV, kritikus feszültség, meleg nyomóvizsgálat, alakítási keményedés

This paper presents an investigation about the occurrence of the dynamic recrystallization (DRX) during hot forming. Two 7075 aluminum alloy samples in different initial states were examined by compression tests at temperatures between 573 K and 723 K and constant strain rates ranging from 0.002 to 2 (s⁻¹) with the maximum strain of 0.5 mm/mm. The activation energies of the examined aluminium were calculated, being 137.7 kJ/mol and 142.4 kJ/mol. The critical stresses and strains for the initiation of the dynamic recrystallization were determined using a numerical method based on the changes of the work hardening rate (θ) as a function of the flow stress (σ) or a strain (ϵ), respectively. Based on the micrographs taken after the deformations it was revealed that in some cases only dynamic recovery (DRV) whereas in others DRX occurred under the applied examination conditions. The critical stress which belongs to the onset of the DRX or the DRV depend on the temperature, the strain rate and the initial grain size. The critical and maximal stresses and the corresponding strain values at different conditions were determined. In the examined range of deformation, temperature and strain rate, the critical ratios are $\sigma_c/\sigma_p = (0.93-0.99)$ and $\epsilon_c/\epsilon_p = (0.3-0.74)$, respectively.

Keywords: DRX, DRV, peak stress, critical stress, hot compression test, Zener–Hollomon parameter

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros
femmiko@uni-miskolc.hu

² Miskolci Egyetem, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros
peter.barkoczy@gmail.com

Bevezetés

A dinamikus újrakristályosodás egy, a melegalakítás közben lejátszódó jelentős hatással bíró fémteni folyamat, melynek pontos ismerete alapján szabályozhatjuk az anyag mikroszerkezetének és a mechanikai tulajdonságainak változását. A folyamat során szemcsefinomodás megy végbe a szövetszerkezetben [1]. A DRX közben szubszemcsék képződnek, amelyek kisszögű határai átalakulhatnak nagyszögű szemcsehatárokká a diszlokációk akkumulációjával.

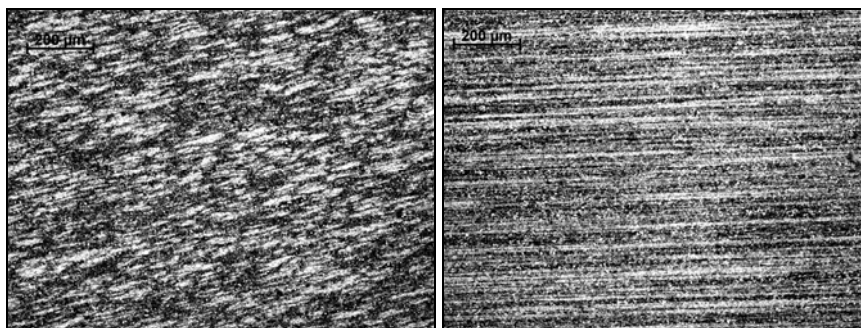
Általánosan elfogadott tény, hogy ötvözetlen alumínium esetén a melegalakítás során nem megy végbe a dinamikus újrakristályosodás. A DRX hiányának oka az alumínium nagy retegződési hiba energiája. A stabil diszlokációs szerkezet a megújulást helyezi előtérbe, mert a diszlokációs szerkezet által létrehozott tárolt energia értéke kicsi ahhoz, hogy a DRX meginduljon [2]. Azonban hengerlési kísérleteink eredményei azt igazolták, hogy erősen ötvözött Al melegalakítása során végbemegy a DRX [3].

A DRX jelenlétére utal, ha a valódi feszültség-alakváltozás görbén a rugalmas alakváltozás után a feszültség eléri az alakítás során fellépő maximális értékét. Azonban a DRX-nek még a maximális feszültség elérése előtt el kell indulnia [4]. A DRX megindulásához szükséges kritikus alakváltozás és feszültségértékek nagyságát alapvetően befolyásolja az anyag összetétele, a kiinduló szemcsenagysága, a vizsgálati hőmérséklet és alakváltozási sebesség [5]. Az a kritikus alakváltozási érték, mely hatására a DRX megindul, nagy jelentőséggel bír a melegalakítás és különösen a meleghengerlés modellezése számára [6].

1. Vizsgálati körülmények

1.1. Vizsgált anyag

Munkánk során a 7075 Al ötvözetet vizsgáltuk, melynek kémiai összetétele 0,22 wt% Cr; 1,6 wt% Cu; 2,5 wt% Mg; 0,3 wt% Mn; 5,6 wt% Zn; 0,4 wt% Si. A próbák egy 40 mm átmérőjű, 3 méter hosszú extrudált rúdból lettek kimunkálva. A darabok egységesen 723 K-en 30 percig lettek hevítve, amit követően kemencében hűltek le. A lassú lehűtés következtében feszültségtől mentes, stabil mikroszerkezet alakult ki. A hengeres próbák kiinduló magassága 8,4 mm, átmérője pedig 7 mm volt. A vizsgálatokat két, különböző mikroszerkezetű kiinduló anyagon végeztük el. Az egyik, a most említett lágyított állapotú, a másik pedig kovácsolással alakított [7]. A kiinduló szerkezetekről készített szövetsképeken látható a közöttük fennálló különbség. A kovácsolt darabok szemcséi finomabbak és nyújtottabbak a lágyítottnál (1. ábra).



a) b)
1. ábra. a): lágyított és b): alakított kiinduló anyag (100X)

1.2. Vizsgáló berendezés

A vizsgálatokhoz egy 100 kN-os Instron 5982 típusú univerzális anyagvizsgáló berendezést használtunk. A meleg nyomóvizsgálathoz szükséges hőmérséklet elérését egy három zónás nagyhőmérsékletű kemence biztosította.

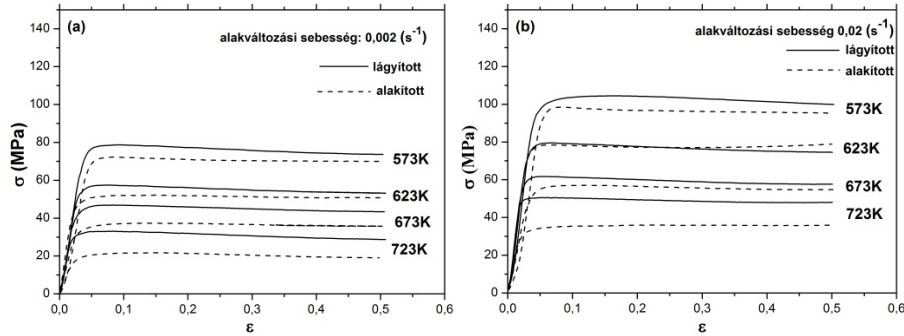
A vizsgálatok során az állandó alakváltozási sebességet a berendezés keresztfejmozdulásának szabályozásával oldottuk meg. A saját fejlesztésű nyomószerszám a húzó irányú elmozdulást alakította át a próbadarabon nyomó irányúvá. A kemencében lévő próbadarabok hőmérsékletét K típusú termoelem segítségével mértük. A nyomólapok és a próbák felülete közé karbont és egyéb fémport tartalmazó zsirt kentünk a hordósodás csökkentése érdekében. A vizsgálatok megkezdése előtt a darabokat 10 percig tartottuk a kívánt vizsgálati hőmérsékleten, hogy azok teljes keresztmetszetében állandó hőmérséklet alakuljon ki. A vizsgálatokat követően a darabokat vízben hűtöttük le, hogy megőrizzük az alakítás során kialakult szerkezetet. A nagyfrekvenciás adatgyűjtés következtében az adatsorokat, illetve a görbéket egy numerikus programmal szűrtük, és egy hármastároló kerner segítségével simítottuk. Így csökkentettük azok zajosságát. A kritikus feszültség megállapításához szintén numerikus programot használtunk.

2. Eredmények

2.1. Folyásgörbék meghatározása

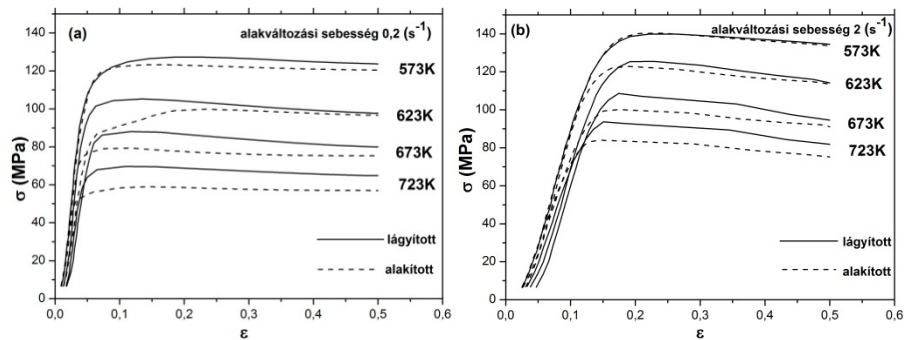
A 2. és 3. ábrán különböző hőmérsékleten és alakváltozási sebesség mellett elvégzett nyomóvizsgálatok folyásgörbéi láthatóak. A képlékenyalakítás során végbemenő alakváltozási mechanizmusok, valamint a mikroszerkezeti változások szoros kapcsolatban állnak a folyásgörbével [9]. Az összes valódi feszültség-alakváltozás görbe tartalmaz egy maximum feszültségértéket, amely a dinamikus újrakristályosodás jelenlétére utal [8]. Ezen maximális feszültségérték eléréséig a folyásgörbét az alakítási keményedés és a dinamikus megújulás DRV egymással ellentétes hatása alakítja [9]. A 2 s^{-1} alakváltozási sebességhez tartozó görbéket kivéve az összes görbe egy nem túl éles feszültségcsúcsot tartalmaz, mely elérése után a feszültség kis mértékben visszaesik, és beáll egy állandó értékre. A görbéken a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség hatása jól kivehető. A kisebb alakváltozási sebesség

és nagyobb alakítási hőmérséklet csökkenti az alakítási ellenállást, míg a nagyobb alakváltózási sebesség és alacsonyabb hőmérséklet növeli a darabban ébredő feszültséget.



2. ábra. Valódi feszültség-alakváltás görbék
a) alakváltózási sebesség $0,002$; b): $0,02 \text{ s}^{-1}$

A $0,2 \text{ s}^{-1}$ -nél nagyobb alakváltózási sebességekhez tartozó görbéken nem láthatunk állandósult állapotot. Az alakított alapanyag görbéi minden esetben a lágított alapanyag görbéi alatt futnak. Tehát kisebb kiinduló szemcseméret esetében kisebb az alakítási ellenállás is.



3. ábra. Valódi feszültség-alakváltás görbék
a): alakváltózási sebesség $0,2$; b): 2 s^{-1}

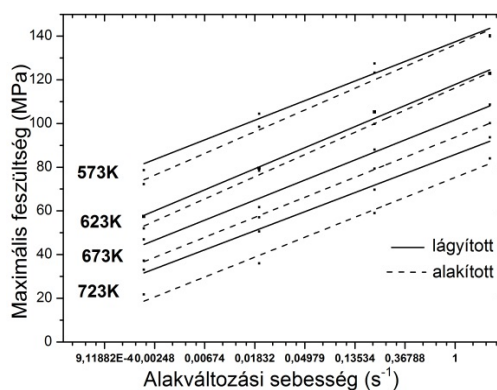
Az 1. táblázat tartalmazza a görbék maximális feszültség értékeit és a hozzájuk tartozó alakváltózás értékeket.

1. táblázat

A maximális feszültség és a hozzá tartozó alakváltozás különböző körülmények között

T [K]	σ_m [MPa]/ ϵ_m (mm/mm)							
	0,002 [s ⁻¹]		0,02 [s ⁻¹]		0,2 [s ⁻¹]		2 [s ⁻¹]	
	Lágyított	Alakított	Lágyított	Alakított	Lágyított	Alakított	Lágyított	Alakított
573	78,70 / 0,09	72,26 / 0,09	104,44 / 0,16	98,46 / 0,08	127,29 / 0,23	123,26 / 0,14	139,87 / 0,22	140,35 / 0,24
623	57,44 / 0,08	52,06 / 0,11	79,52 / 0,07	78,41 / 0,07	105,21 / 0,14	99,78 / 0,23	125,47 / 0,23	122,89 / 0,19
673	46,87 / 0,08	37,33 / 0,14	61,72 / 0,05	57,03 / 0,12	88,01 / 0,12	78,97 / 0,07	108,66 / 0,17	100,14 / 0,18
723	33,08 / 0,08	16,15 / 0,14	50,49 / 0,06	35,47 / 0,12	69,67 / 0,11	58,96 / 0,15	93,68 / 0,15	84 / 0,15

Az alakítási hőmérséklet növelésével a különbség a lágyított és az alakított alapanyag maximális feszültségértékei között nő. A kiinduló szemcseméret jelentősége a maximális feszültségértékre tehát az alakítási hőmérséklet növelésével nő (4. ábra).



4. ábra. Az alakváltozási sebesség hatása a maximális feszültségre

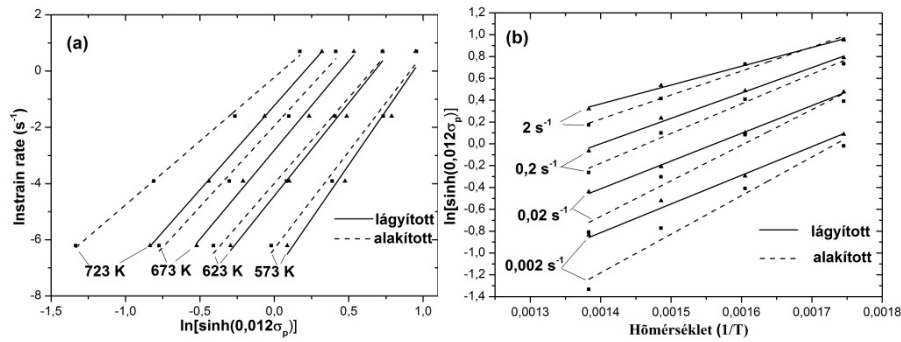
2.2. Az aktiválási energia (Q) értékének meghatározása

A dinamikus újrakristályosodás egy termikusan aktivált folyamat. Ahhoz tehát hogy meginduljon a csíráképződéssel és növekedéssel járó átalakulás, az alakítás mellett hőenergiát is be kell fektetnünk a rendszerbe. Az aktiválási energia meghatározása nélkülözhetetlen, ha le akarjuk írni az adott ötvözet viselkedését a melegalakítás során. Értékét felhasználjuk a Zener–Hollomon paraméter meghatározására, amely mutató magában foglalja az alakváltozási sebesség és melegalakítás hőmérsékletének együttes hatását (1. egyenlet).

$$Z = \dot{\epsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) = A[\sinh(\alpha\sigma_p)]^n \quad (1)$$

Ahol $\dot{\epsilon}$ az alakváltozási sebesség (s^{-1}); Q az aktiválási energia ($kJ\ mol^{-1}$); A , α és n a vizsgált anyagra jellemző állandók, σ_p a nyomóvizsgálat során mért maximális feszültségérték, R az egyezményes gázállandó ($8.31\ J/(molK)$); T pedig az alakítás abszolút hőmérséklete (K).

A Q és n értékének meghatározásához ábrázolnunk kell egy diagramon a különböző hőmérsékleten és alakváltozási sebességeken mért maximális feszültségértékeket $\ln[\sinh(0.012\ \sigma_p)]$ formájában az $\ln\dot{\epsilon}$, illetve az $1/T$ függvényében (5. ábra). Az α értéke a szakirodalomban általánosan használt $0,012$ érték [4, 11].



5. ábra. $\ln[\sinh(0.012\ \sigma_p)]$ az alakváltozási sebesség a), és az abszolút hőmérséklet reciprokának b) függvényében

2.3. Az ötvözet alakítási keményedésének (n) meghatározása

Az n értékét az 5. a) ábrán ábrázolt pontokra illesztett egyenesek meredekségei adják. Az azonos kiinduló állapothoz tartozó egyenesek jól illeszkednek a mérési pontokra. Az R^2 értékei $0,95$ és $0,99$ között vannak. Az n értékei a hőmérséklet növelésével csökkennek. Ezek az értékek a lágýtott kiinduló darab esetében a hőmérséklet növekedése szerint : $7,69$; $6,595$; $6,335$ és $5,994$. Az alakított kiinduló állapot esetében: $6,992$; $6,089$; $5,767$ és $4,538$. A további számításokhoz a kapott értékek átlagát használtuk fel, amely a lágýtott darab esetében $6,654$, az alakítottnál pedig $5,847$.

2.4. Az aktiválási energia (Q) meghatározása

A melegalakítás aktiválási energiája az az energia, amely ahhoz szükséges, hogy a megújulás és újrakristályosodás folyamata bekövetkezzen. Egy másik megfogalmazás szerint az a minimális energia, amely szükséges a DRX megindulásához [11].

$$\ln\dot{\epsilon} = \ln A + n[\ln\sinh(\alpha|\sigma|)] - Q/RT \quad (2)$$

Ha az azonos alakváltozási sebességekhez tartozó maximális feszültségértékeket vesszük alapul, akkor az $\ln[\sinh(\alpha\sigma_p)]$ -t az $1/T$ függvényében ábrázolva kapott pontokra illesztett egyenesek meredekségeiből kiszámíthatjuk a Q értékét [5. b) ábra].

$$Q = Rn \left\{ \frac{d[\ln\sinh(\alpha|\sigma|)]}{d\left(\frac{1}{T}\right)} \right\} \quad (3)$$

Az alakváltozási sebesség növelésével az egyenesek meredeksége csökken, azaz az aktiválási energia értéke is csökken.

2. táblázat

Az aktiválási energia értéke különböző esetekben

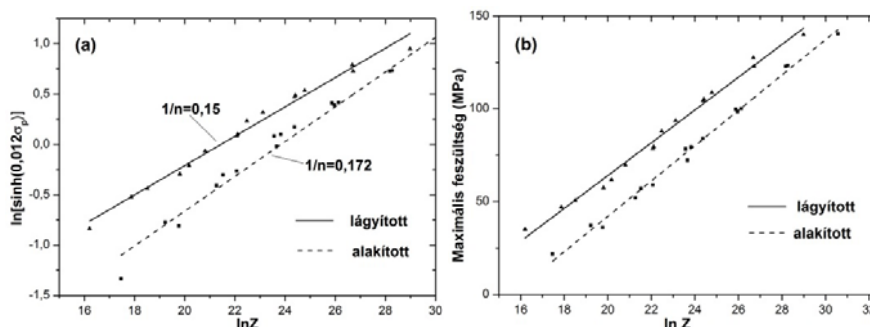
Alakváltozási sebesség (s ⁻¹)	Alakított kiinduló anyag			Lágyított kiinduló anyag		
	Q/Rn	R ²	Q (kJ/molK)	Q/Rn	R ²	Q (kJ/molK)
0.002	3532.911	0.960	171.742	2627.635	0.981	145.353
0.02	3261.728	0.951	158.559	2541.112	0.998	140.567
0.2	2719.975	0.986	132.223	2323.442	0.992	157.920
2	2199.223	0.985	106.909	1722.215	0.994	95.268
Átlag	2928.459	0.9705	142.358	2323.881	0.990	134.777
Szórás	592.081	0.018	28.782	403.109	0.008	27.337

Az átlagos Q értéke a vizsgált 7075 alumíniumötvözetnek a lágyított kiinduló állapotnál 134,777 kJ mol⁻¹, az alakított kiinduló állapot esetében pedig 142,358 kJ mol⁻¹. Ezek az értékek közel megegyeznek a szakirodalomban fellelhető azonos vagy hasonló kiinduló állapotú ötvözetek mérési eredményeivel [7, 10]. Az (1) egyenletben szereplő A konstans értékét a Q, α és az n értékei alapján meghatároztuk. $A = 2,33685 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ a lágyított kiinduló darabnál és $2,77727 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ az alakított kiinduló darab esetében. A kapott eredmények felhasználásával meghatároztuk az ötvözet maximális feszültség értékeit a következő egyenletek segítségével.

$$\sigma_p(\text{lágyított}) = 88,33 \sinh^{-1}(0,039Z^{0,15}) \quad (4)$$

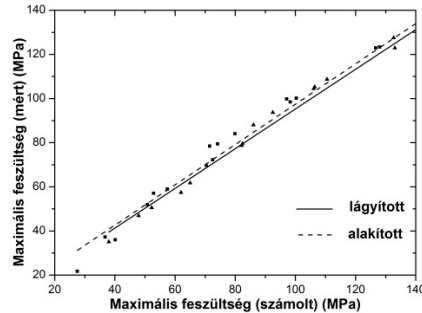
$$\sigma_p(\text{alakított}) = 88,33 \sinh^{-1}(0,0163Z^{0,171}) \quad (5)$$

Ábrázolva az $\ln[\sinh(0,012 \sigma_p)]$ -t az $\ln Z$ függvényében, a pontokra illesztett egyenes meredekségének reciproka megegyezik a korábban meghatározott n értékeivel [6. a) ábra]. Ez az érték a lágyított darabnál 6,66, míg az alakítottnál 5,814.



6. ábra. $\ln[\sinh(0,012 \sigma_p)]$ az $\ln Z$ (a) és a maximális feszültség függvényében (b)

Ha a mért és a számolt maximális feszültség értékeit ábrázoljuk egy diagramon, akkor a pontokra illesztett egyenes meredekségének értékei 0,899 és 0,913 (7. ábra).



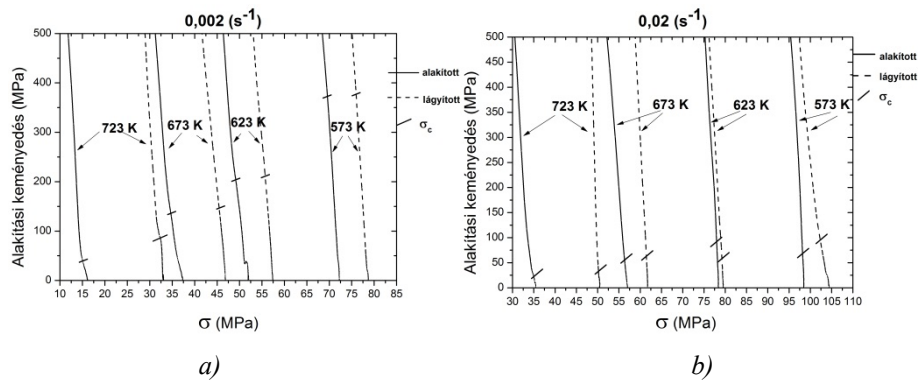
7. ábra. A mért- és számolt maximális feszültség értékek kapcsolata a 7075 Al ötvözet esetében

3. A DRX kezdetének meghatározása

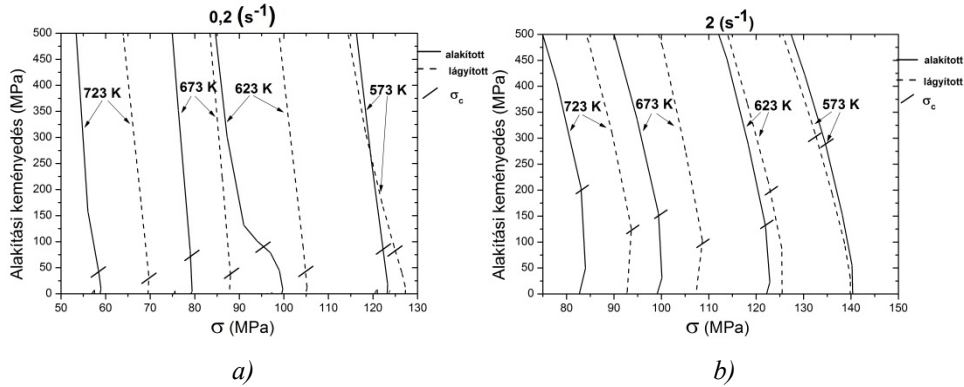
A dinamikus újrakristályosodás területén dolgozó kutatók számos különböző matematikai módszert dolgoztak ki, melyek segítségével meghatározhatóak a dinamikus újrakristályosodás megindulásának körülményei [4]. Munkánk során mi a Poliak és Jonas nevéhez fűződő módszert alkalmaztuk. A módszer alapján a DRX kezdőpontját az alakítási keményedés-valódi feszültség görbe inflexió pontja adja [5].

A módszer alkalmazásához először is szükségünk volt a valódi feszültség-tényleges alakváltozás diagramra, annak is a maximális feszültséget megelőző szakaszára. A nagy sebességű adatgyűjtés miatt a kapott görbék zajosak voltak, ezért egy numerikus eljárás segítségével adatszűrést és egy hármasszoros átlagoló kernel segítségével simítást végeztünk el rajtuk. Felhasználva a (6) számú egyenletet, deriváltuk a valódi feszültség-alakváltozás görbét, és megkaptuk az alakítási keményedés (\square)–valódi feszültség (σ) görbét.

$$\Theta = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right) \varepsilon; T \quad (6)$$



8. ábra. Alakítási keményedés-valódi feszültség diagramok alakváltozási sebesség a): 0,002 és b): 0,02 s⁻¹ esetében.

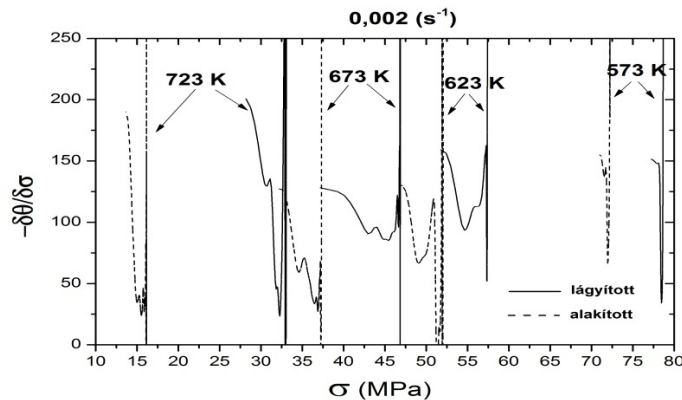


9. ábra. Alakítási keményedés-valódi feszültség diagramok alakváltozási sebesség a) 0,2 és b) 2 s⁻¹ esetében.

A diagramokon bejelölt inflexiós pontok láthatóak a 10. ábrán is. Az alakítási keményedést a feszültség szerint deriválva megkapjuk azt a minimum pontot, ahol teljesül a 7. egyenlet [8].

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \left(-\frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right) = 0 \quad (7)$$

A különböző hőmérsékletekhez tartozó görbéken látható minimum pontok jelölik ki azt a kritikus feszültség értéket, ahol megindul a DRV vagy a DRX. A kritikus feszültség a 623 K és 673 K-hoz tartozó görbéken látszik a legjobban.



10. ábra. $(-\partial\theta/\partial\sigma)$ – valódi feszültség diagramok

A kritikus feszültség és kritikus alakváltozás alapvető újrakristályosodási paraméterek. Meghatározásuk csak laboratóriumi körülmények között, állandó hőmérsékleten és állandó alakváltozási sebesség mellett lehetséges [5]. Az adatgyűjtés sebessége szintén jelentős. Az alakváltozási sebesség növelése esetén szükséges az adatgyűjtés sebességének növelése. Jelen esetben a DRX vagy DRV kezdetének egyértelmű megállapítása csak a 0,002 és 0,02

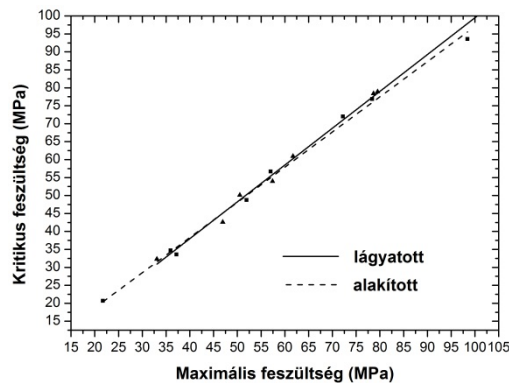
s^{-1} alakváltozási sebességeknél volt lehetséges, mivel a teljes alakváltozási sebesség tartományban azonos adatgyűjtési sebességet alkalmaztunk.

3. táblázat

Kritikus feszültség és kritikus alakváltozás különböző vizsgálati körülmények esetében

Hőmérséklet [K]	Kritikus feszültség [MPa]/ Kritikus alakváltozás [mm/mm]			
	0,002 [s^{-1}]		0,02 [s^{-1}]	
	Lágyított	Alakított	Lágyított	Alakított
573	77,92 / 0,06	71,57 / 0,06	102,95 / 0,083	93,56 / 0,056
623	54,63 / 0,037	49,15 / 0,037	78,89 / 0,049	76,88 / 0,041
673	45,45 / 0,043	34,61 / 0,042	60,95 / 0,037	56,68 / 0,075
723	30,71 / 0,026	15,04 / 0,043	50,32 / 0,043	34,68 / 0,062

A 11. ábra a kritikus feszültség és maximálsi feszültség viszonyát mutatja. Látható hogy a különbség a kritikus és maximálsi feszültség között kicsi. A kritikus feszültség közel van a maximálsi feszültséghez. A kritikus és maximálsi feszültség közötti kapcsolat lineáris.



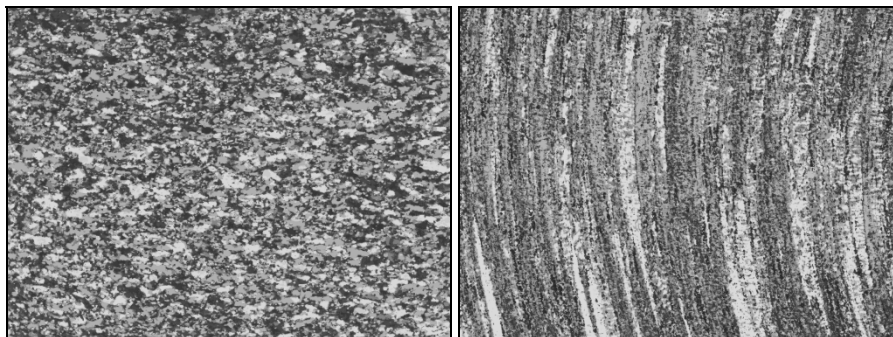
11. ábra. Kritikus feszültség és maximálsi feszültség kapcsolata

A kritikus feszültség értéke a vizsgált hőmérséklet és alakváltozási sebesség tartományban a 8. és 9. egyenlet felhasználásával meghatározható.

$$\sigma_{c(\text{lágyított})} = 1,2526 \sigma_p - 3,02933 \quad (8)$$

$$\sigma_{c(\text{alakított})} = 0,979 \sigma_p - 0,86368 \quad (9)$$

Annak tisztázása érdekében, hogy a melegalakítás során a DRX vagy csupán a DRV ment végbe, több módszert is alkalmazhatunk, mint pl. az optikai mikroszkópiát, pásztázó elektronmikroszkópiát vagy transzmissziós elektronmikroszkópiát. Ezen módszerek alkalmazása viszont időigényes. Mi az optikai mikroszkópiát választottunk az alakítás során végbement változások tanulmányozására.



a) b)
12. ábra. a): lágyított, 723 K ; b): lágyított, 623 K; $0,02 \text{ s}^{-1}$

A 723 K-n elvégzett nyomóvizsgálat, lágyított kiinduló állapotú minta szövete képén teljesen újrakristályosodott szemcseszerkezetet láthatunk. A dinamikus megújulás mellett tehát a dinamikus újrakristályosodás is végbement. Így a meghatározott pont a DRX kezdetét jelöli.

A 623 K-n vizsgált, szintén lágyított darabon a dinamikus megújulás jelei figyelhetők meg. Alakított szemcséket láthatunk, aminek határai befűződtek. Így az itt megállapított pont a dinamikus megújulás kezdetét jelöli.

Összefoglalás

A melegnyomó vizsgálatok során a 7075 Al ötvözetből kimunkált hengeres próbákat alakítottunk egy Instron 5982 típusú anyagvizsgáló berendezés segítségével. A fellépő sűrűlódás csökkentése érdekében karbon és egyéb fémszemcséket tartalmazó szuszpenziót alkalmaztunk, azonban a hordósodás így is fellépett.

Megállapítottuk a két különböző kiinduló állapotú ötvözet aktiválási energiáját, 137,7 kJ/mol és 142,4 kJ/mol.

A DRX kezdetének meghatározására Poliak és Jonas módszerét alkalmaztuk. A dinamikus újrakristályosodás kezdetének megállapíthatóságát nagymértékben befolyásolják a vizsgálati körülmények. Nagyobb alakítási sebesség alkalmazása esetében nehezebb a folyamat kezdetének pontos meghatározása. Ez összefügg az adatgyűjtés sebességével is. Nagyobb alakítási sebességek esetében növelni kell az adatgyűjtés sebességét is megfelelő számú mérési pont érdekében.

Az eredmények azt mutatják, hogy az újrakristályosodás kezdete és mértéke erőteljesen függ az alakítási hőmérséklettől, az alakváltozási sebesség nagyságától és a kiinduló szemcsemérettől.

A metallográfiai vizsgálatok eredményeiből az állapítható meg, hogy 673 K alatt a dinamikus megújulás, míg felette a dinamikus újrakristályosodás a meghatározó folyamat. A DRX kezdetének meghatározására azonban ennél az Al ötvözetnél alkalmas a módszer. Annak eldöntésére viszont, hogy az alakítás során dinamikus megújulás vagy dinamikus újrakristályosodás ment végbe, metallográfiai vizsgálatok elvégzése szükséges.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 támogatásával valósult meg.

Irodalom

- [1] M. Jafari–A. Najafzadeh: *Comparison between the Methods of Determining the Critical Stress for Initiation of Dynamic Recrystallization in 316 Stainless Steel*. J. Mater. Sci., Vol. 24 (2008), 840–844.
- [2] G. G. P. Ponge: *Dynamic recrystallization in High Purity Aluminium*. Scripta Materialia 37 (1997), 1769–1775.
- [3] Tibor Hegyes–Péter Barkóczy: *The effect of homogenization on the annealing of Al-1,5% Mn aluminium alloy*. (this article to be published in the same volume of material science forum.)
- [4] L. X.-s. C. J. Z. H.-b. C. Z.-s. Wu Lai-zhi: *Predicting Critical Conditions and Stress-Strain Curves for Dynamic Recrystallization in SPHC Steel*. Journal of iron and steel research, International (2010), 51–57.
- [5] E. I. Poliak–J. Jonas: *A One-parameter approach to determining the critical conditions for the initiation of dynamic recrystallization*. Acta Materiala (1996), 127–136.
- [6] A. B.-J. C. M. J. C. I. Mejía: *Determination of the critical conditions for the initiation of dynamic recrystallization in boron microalloyed steels*. Materials Science and Engineering A 528 (2011), 4133–4140.
- [7] Tareg S. Ben Naser–György Krallics: *The constitutive behavior of Al 7075 aluminium alloy under hot compression test*. (This article to be published in the same volume of Material Science forum)
- [8] F. Chen–Z. Cui–S. Chen: *Recrystallization of 30Cr2Ni4MoV ultra-super-critical rotor steel during hot deformation*. Materials Science and Engineering, 528 (2011), 5073–5080.
- [9] R. Ebrahimi–S. Solhjo: *Characteristic Points of Stress-Strain Curve at High Temperature*. International Journal of ISSI 4 (2007), 24–27.
- [10] E. Cerri–E. Evangelista–A. Forcellese–H.J. McQueen: *Comparative hot workability of 7012 and 7075 alloys after different pretreatments*. Materials Science and Engineering A 197 (1995), 181–198.
- [11] Guo-zheng Quan–Yuan-ping Mao–Gui-sheng Li–Wen-quan Lv–Yang Wang–Jie Zhou: *A characterization for the dynamic recrystallization kinetics of as-extruded 7075 aluminum alloy based on true stress-strain curves*. Computational Materials Science 55 (2012), 65–72.