

Opponensi vélemény Jurij Sidor

Crystallographic aspects of microstructure evolution in polycrystalline Al systems

Szövetszerkezet kialakulásának kristálytani aspektusai polikristályos Al rendszerekben

című MTA doktori értekezéséről

Jurij Sidor doktori értekezése 107 oldal terjedelemben, 8 fejezetben mutatja be a polikristályos alumíniumötvözetek feldolgozása során kialakuló kristálytani viszonyokat, a jellemzők kísérleti és matematikai modellezésen alapuló meghatározását, és ezek értelmezését. A dolgozat 135 irodalmi hivatkozásra épül, melyből 34 saját közlemény megjelöléssel szerepel. A saját közlemények kétharmad részében a pályázó az első szerző, és a publikációk nagy többsége elismert szakmai lapban jelent meg.

A doktori értekezés a tárgyalásmódjában a saját, publikációkban már megjelent kutatási eredményekre épít. Ennek megfelelően a főbb tudományos megállapítások alkotják a disszertáció gondolati ívét, és az egyes részletkérdések ismertetésére csak kivételes esetben tér ki a szerző, helyette a saját közleményekre hivatkozik a 2008-2019-es időszakból. Tekintve, hogy az eredmények megalapozása igen sokrétű tevékenységet igényelt, ez a megközelítés segíti az összefüggések megértését és a tudományos tartalom áttekintését. A dolgozat stílusa lényegre törő, logikus, az ábrák, táblázatok szervesen illeszkednek a szöveg tartalmához, az ábrafeliratok általában az összes szükséges információt tartalmazzák, kiegészítik és egyértelműsítik a tartalmi mondanivalót. A könnyebb tárgyalásmód érdekében mintegy 30, a disszertációban gyakran előforduló fogalomra rövidítést alkalmaz a szerző, mely az olvashatóságot inkább nehezíti, ugyanakkor a tartalmi elemek egyértelmű megfogalmazását segíti.

Az 1. fejezet (Bevezetés) röviden ismerteti az alumínium lapostermékek gyártási technológiáját. Itt definiálja a szerző a kutatási terület ipari kapcsolódását, vagyis azt, hogy a polikristályos alumínium rendszerek szövetszerkezetének kristálytani aspektusait a két utolsó technológiai lépés, a hideghengerlés és hőkezelés folyamatában vizsgálja, mind a hagyományos, mind az ún. innovatív képlékenyalakítási eljárások tekintetében. Alapvetően e két folyamatsor eredményeképpen alakul ki a lemezek végső textúrája, mely meghatározza a későbbi felhasználás során a lemez alakíthatósági jellemzőit.

A tudományos tevékenység főbb célkitűzéseinek kifejtését a 2. fejezet tartalmazza, melynek végén a pályázó nyolc pontban konkretizálja az FCC fémek textúrájának kialakulásával kapcsolatos megoldandó feladatokat.

A 3. és 4. fejezet az alkalmazott kísérleti, mérés-technikai és számítási módszerek részletezését tartalmazza. A kristályképlékenységi modellek alkalmazásához a hideghengerlés makroszkópikus alakváltozási jellemzőinek ismerete szükséges. A makroszkópikus alakváltozás leírására a jelölt többféle megközelítést módott alkalmazott: PSC plain strain compression, SGM egyszerű geometriai modell,

Deform2D modellezés és FLM flow-line modell. Ezen modellek eredményeit input paraméterként alkalmazta a kristályképlékenységi modellekben. A disszertációban a textúra kialakulásának leírására négyféle kristályképlékenységi megközelítést elemez a szerző, melyek a szemcsék között működő kölcsönhatás kiterjedésében különböznek egymástól a következők szerint: Taylor – nincs kölcsönhatás, Alamel – rövidtávú, ClusterV – középtávú, VPSC – hosszútávú kölcsönhatás a kristallitok között.

Ebben a fejezetben ismerteti a szerző a jellegzetes textúra mintázatokat az Euler térben értelmezve. A béta-fibre elemeinek megadására analitikus képletet közöl (3.10), mely $h=1,2,3,7,\dots\infty$ esetére megadja az orientációs nyomvonalba eső hkl,uvw kombinációkat. Tekintettel arra, hogy ez az összefüggés képezi az első tézis alapját, megítélésem szerint annak elméleti háttere és alkalmazhatósága bővebb kifejtést érdemelt volna az értekezésben.

1. kérdés Mennyire általánosítható és mi az érvényességi tartománya a 3.10 összefüggésnek a béta szál komponensei szempontjából?

A hideghengerlés végeeselemes (FEM) és anyagáramlási (FLM) modellezése kapcsán a 4.8-4.12 ábrák alapján az a következtetés adódik, hogy a lényegesen egyszerűbben számítható FLM modell is megfelelő pontossággal írja le az anyagáramlási viszonyokat a textúra számításhoz. Ehhez kapcsolódik a következő kérdés.

2. kérdés A két modell eredményei közötti különbség mennyire függ az alakváltozás mértékétől, illetve az eltérést befolyásolhatja-e, ha többszűrűs alakítás történik, vagy ha a hengerlés során esetleg feszítést is alkalmaznak?

A jelölt a FEM és FLM eredmények hasonlósága alapján kapcsolatot keresett a FEM számítási eredmények és az FLM modell illesztési paramétereinek között (α és n). E két érték meghatározására a 4.17-19 egyenletek szolgálnak. Ezek felépítésére, elvi hátterére vonatkozik a következő kérdés, mivel megítélésem szerint erre a viszonylag szűk paraméter tartományra talán egyszerűbb alakban is meg lehetett volna fogalmazni a kapcsolatot.

3. kérdés Az FEM és FLM rendszer közötti összefüggést megteremtő, a 4.17-19 egyenletekben megadott, összesen 22 paramétert tartalmazó meglehetősen bonyolult kapcsolat számítási módja milyen elven alapszik? A paraméterek meghatározásához hány adatsorra volt szükség, a számításnak milyen a megbízhatósága és milyen érvényességi tartomány határok jelölhetők meg?

A disszertáció 4.2 fejezete foglalkozik részletesen a hideghengerlés során kialakuló textúrával, illetve annak befolyásoló tényezőivel. A 4.2.1 alfejezet a szimmetrikus (konvencionális) hideghengerlés eseteit tárgyalja. A 37. oldal első bekezdésében írtak szerint a hidegen hengerelt textúra jellegzetességeit az összetétel, a munkahenger és támhengerek jellemzői, az alakváltozás mértéke, a súrlódási együttható és a szűrások száma határozza meg leginkább. A 4.14 ábrával kapcsolatban megjegyzi a szerző, hogy a tipikus melegszalag textúrából a hideghengerlés hatására kialakul a β -szál, ugyanakkor a melegen hengerelt textúra kvalitatív jellegének megmaradására és a kvantitatív jellemzők alakítási mérték függésére is felhívja a figyelmet. A fentiekből az

is következik, hogy a kiinduló állapot, a kezdeti textúra szintén befolyásolja a hidegen hengerelt szalag textúráját.

4. kérdés A kiinduló állapot, vagyis a melegen hengerelt szalag textúrája és szemcsemérete és nyújtottsága mennyire tekinthető állandónak, ezek eltérése milyen mértékben befolyásolhatja a hideghengerlési orientáció eloszlást? A kérdést az is indokolja, hogy a 4.14.a és 4.16.a ábrákon bemutatott melegszalag textúrák kevésbé hasonlítanak egymásra.

A textúra kvantitatív szempontból vastagságirányban is különbözik, olvasható a 4.15 ábrával kapcsolatosan. A bemutatott képen három, a számításokhoz hat tartományra osztja fel a félvastagságot a jelölt, és ebből számít átlagos textúrát. A 4.15.a ábra szerint a számításokhoz kiválasztott tartományokban vastagságirányban csak néhány szemcse lehet, ez veti fel az alábbi kérdést.

5. kérdés Hogyan alkalmazhatók szemcsék közötti kisebb-nagyobb kölcsönhatást feltételező kristályképlékenységi modellek, ha egyik irányban csak néhány szemcsét tartalmaz a kiválasztott anyagrész? Milyen peremfeltételeket kell, lehet szabni egy ilyen esetben?

6. kérdés Általánosságban is felmerül az a kérdés is, hogy milyen mennyiségű szemcsét kell figyelembe venni ahhoz, hogy a kristályképlékenységi modellek megbízható textúra eredményt szolgáltatassanak?

A méréssel és számítással meghatározott textúrák illeszkedésének minősítésére bevezetésre került az ID_N normalizált textúra különbségi mérőszám. Ennek (és a TI textúra index, valamint a ODF_{max} értékei) alapján a különböző anyagáramlási és kristályképlékenységi modellek által szolgáltatott eredmények reálisan minősíthetők a mérési adatok tükrében. A 4.25.a ábra szerint az egyszűrásos, 18 %-os alakváltozási esetre a kristályok közötti interakciót is számításba vevő modellek 0.075 alatti ID_N értéket mutattak, ami kiváló egyezést jelez. Többszűrásos és nagyobb össz-alakváltozási esetben ennél egy nagyságrenddel nagyobb értékek jellemzik az eltérést ($ID_N = 0.2-0.3$, 4.28 ábra).

7. kérdés Mivel magyarázható az eltérés növekedése növekvő alakváltozási érték, illetve szűrásszám esetén, amikor a textúra megerősödése, egyértelművé válása éppen a nagyobb alakváltozás esetén valószínűsíthető? A kisebb alakváltozás bizonytalanabb orientáció eloszlással jár, ahogy azt a 4.14 ábra is bizonyítja.

8. kérdés Az m paraméter értékének meghatározására javasolt 4.23 összefüggést feltehetően a legjobb illeszkedés eseteiből lehetett levezetni, ami az adott megközelítésben teljesen elfogadható. Nem világos viszont, és hivatkozás sincs arra, hogy a 4.24 egyenletnek mi az eredete és jelentéstartalma. Az adott esetben lehet, hogy $\mu = 1.26\mu_{min}$, de hogyan vezethető be ebbe az összefüggésbe a 2π ?

Szimmetrikus hengerlésre a textúra számítással történő meghatározásának komplex és meglehetősen összetett kérdéskörét alaposan és meggyőzően tárgyalja a disszertáció. Lényegesen bonyolultabb a helyzet az intenzív, vagy a dolgozat szóhasználatában innovatívnak nevezett hengerlési eljárások textúra modellezése esetében. Az aszimmetrikus és a akkumulatív hengerlés esetén elsősorban az

anyagáramlási modellek megfogalmazása jelent nehézséget, mivel a textúra alakulásában főszerepet játszó vastagság irányú csúsztatófeszültség eloszlás a modellparaméterek függvénye. A mért és számított textúrák kvalitatív egyezést mutatnak, de a kvantitatív jellemzők erősen eltérnek (pl. legjobb érték $ID_N = 0.52$), így a 4.3 és 4.4 fejezetekben bemutatott esetekre vonatkozóan a becslések megbízhatóságával kapcsolatosan merülnek fel kérdések.

9. kérdés Hogyan értékelhetők az $ID_N > 0.5$ értékek a textúra előrejelzés megbízhatósága szempontjából?

10. kérdés A vastagság irányú csúsztatófeszültség eloszlás szélső értékei között mekkora lehet az eltérés a bemutatott ASR és ARB esetekben, és ez mit eredményezhet a textúra kialakulásában?

A disszertáció 4.5 fejezete a nem alakítható fázisok lokális és globális hatásával foglalkozik, az 5. fejezet pedig az újrakristályosodási textúra összetett kérdéskörével, mely végeredményben meghatározza a 6. fejezetben bemutatott makroszkópiusan mérhető alakíthatósági jellemzők értékét. Összefoglaló kérdésem azzal a megállapítással kapcsolatos, miszerint a hagyományosan, vagy intenzíven alakított és újrakristályosított lemez makroszkópius viselkedését a textúra vastagságirányú inhomogenitása is befolyásolja.

11. kérdés A makroszkópiusan mérhető alakíthatósági jellemzők alakulását a felületközeli és középvonali anyagrészek átlagos textúrája szabja meg, vagy valamely tartománynak lehet kitüntetett szerepet is tulajdonítani?

Tézisek

A 8. fejezet tartalmazza az értekezésben bemutatott tevékenység alapján definiált téziseket, melyek – ez esetben – inkább az új tudományos eredmények elérése érdekében végzett kutatómunka főbb elemeit jelentik, öt pontban megfogalmazva.

Az 1. tézis a béta-fibre eleminek leírására szolgáló 3.10 összefüggés bevezetéséről szól, ezzel kapcsolatos az 1. kérdésem. A tézis elfogadását a választól teszem függővé.

A 2. tézist elfogadom, tekintve, hogy az értekezés részletesen bemutatta az alakítási textúra matematikai modellezési lehetőségeit.

A 3. tézispont az intenzív hideghengerlési eljárások alkalmazása esetén kialakuló textúra kvalitatív jellemzőinek becslési eljárásaira vonatkozik, de a számítások alapján ez esetekben a bizonytalanság meglehetősen nagy. A 9. kérdésre adott válasz függvényében tudom új tudományos eredménynek elfogadni.

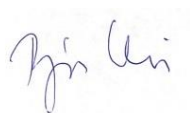
A 4. tézispontban az újrakristályosodási textúra előrejelzésére kidolgozott eljárást elfogadom új tudományos eredménynek.

Az 5. tézist a modellezési és mérési eredmények jó egyezése okán elfogadom új tudományos eredménynek.

Összegzés

Az értekezés az alakváltozási és újrakristályosodási textúra matematikai modellezése területén végzett hiteles, értékes és alapos tudományos tevékenységet foglal össze, mely a fémek feldolgozása során több lépésben kialakuló, a felhasználhatóság szempontjából rendkívül fontos alakíthatósági jellemzők meghatározására szolgál. Fentiek alapján a doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak ítélem.

Budapest 2021. április 8.



Réger Mihály
egyetemi tanár
az MTA doktora