

MTA doktora értekezés bírálata

Értekezés címe: Crystallographic aspects of microstructure evolution in polycrystalline Al systems

Szövetszerkezet kialakulásának kristálytani aspektusai polikristályos Al rendszerekben

Szerző: Prof. Dr. Jurij Sidor

Bírálatot készítette: Dr. Zsoldos Ibolya, MTA doktora

I. Témaválasztás

A műszaki tudományok legnehezebb kutatási témái közé sorolom az értekezés tartalmát. Korszerű, új matematikai és informatikai módszertan kidolgozását, az új módszertan alkalmazását mutatja be az egyik legáltalánosabban használt fémötvözet családon, Al-ötvözeteken. Hagyományos és különleges, egyedi alakító (hengerlő) technológiák, hőkezelések hatására kialakuló kristálytani textúrákat, szövetszerkezeteket vizsgál. A szerkezetekben fellépő heterogenitásokat, anizotrópiákat mutat ki. Az elméleti, szimulációs úton kapott eredményeket kísérleti megfigyelésekkel veti össze.

II. Formai észrevételek

Az értekezés 107 oldalból áll, amely 8 fejezetet tesz ki. Az első két rövid fejezet a bevezetés és célkitűzések megfogalmazása. Az utolsó két fejezet rövid összegzést és a tézisek megfogalmazását tartalmazza. A közbenső 4 fejezet teszi ki az értekezés zömét, mintegy 90 oldalt, ahol a kutatás folyamatát és az eredményeket mutatja be. A szakirodalom leírása általában a fejezetek, alfejezetek elején található. A mennyiséget csak becsülni tudom, kb. 10-15 % arány lehet, amelyet szükségesnek és elégségesnek találtam a téma áttekintéséhez.

Az értekezés nyelve angol. A szövegezés érthető, logikus, nem találtam problémát a fogalmazásban.

A szerkesztés szép, tagolt, az ábrák és diagramok szemléletesek. Mintegy 60 ábrát, diagramot használ a bemutatásához, ezek nagyrésze saját eredményekből készült.

Az értekezés végén 135 irodalmi hivatkozást sorol fel, ezekből 35 saját publikáció, külön jelöléssel ellátva. A hivatkozások általában rangos nemzetközi folyóiratcikkek többségük az utolsó 10-15 évből, ez igaz a saját és a külső hivatkozásokra is.

III. Tartalmi értékelés

Az értekezés 3. fejezetétől kezdődően adok részletes értékelést. A megelőző, rövid fejezetek bevezetést, célkitűzéseket tartalmaznak. A saját kutatási eredmények leírása a 3. fejezetben kezdődik.

3. fejezet (β -szál orientáció meghatározása):

A β -szál orientációit a (3.10) kifejezéssel adja meg úgy, hogy az első Miller-index-szel, mint paraméterrel határozza meg az összes többi indexet. A formula hiányzott az irodalomból, és ennek pótlása azért is jelentős, mert a többi szál (α -tól θ -ig) valamely nevezetes sík normálisával párhuzamos vagy merőleges orientációval definiált, a β -szál meghatározása azonban nem adódik egyszerűen.

Észrevételek, kérdések:

- Nekem zavaró volt, hogy amikor először definiálja a $(hkl)[uvw]$ Miller-indexeket, akkor kerek és szögletes zárójeleket használ, de később ezek helyett kapcsos és „pipás”, $\langle \dots \rangle$ zárójeleket ír. Van-e oka a különböző jelöléseknek?
- Nem szerencsés a „ $h=1 - \{101\}\langle 121 \rangle, \dots$ ” leírás (11. oldal első bekezdésében), helyette egyértelmű és stílusos lett volna: „for $h=1: \{101\}\langle 121 \rangle, \dots$ ”, vagy: „in case of $h=1: \{101\}\langle 121 \rangle, \dots$ ”.
- A 11. oldal első bekezdése magyarázatra szorul. (3.10) kifejezés $h \rightarrow \infty$ esetén nem adja ki közvetlenül az $\{101\}\langle 121 \rangle$ indexeket, hiszen majdnem minden index ∞ -hez tart.

Ebben a fejezetben van megmutatva az első tézis, amelyet $h \rightarrow \infty$ eset tisztázásával elfogadok új tudományos eredményként.

4.1. fejezet (hengertelés modellek, algoritmusok):

Saját kidolgozású, egyszerű geometriai megfontolásokon és a flow-line modellen alapuló analitikus algoritmusokat mutat be lemezhengertelés szimulációs vizsgálataira. A saját kidolgozású algoritmusok eredményeit végeelem algoritmus eredményeivel hasonlítja össze, és megmutatja, hogy a saját algoritmusokkal is a végeelem futtatásokhoz közelítő, reális eredmények adódnak. Az új algoritmusok fontossága a futási időben jelentkezik: amíg a végeelem szimulációk futása akár hónapokig is elhúzódhat, addig az új algoritmusok – bár egyszerűsített modelleken alapulnak - néhány órán belül eredményhez vezetnek.

Észrevételek, kérdések:

- 20. oldal 2. bekezdésében a feszültség gradiens tenzor elemeire vonatkozó egyenlőségekben a középső egyenlőség nem igaz (valószínűleg elírás):

$$\dot{\epsilon}_{33} \neq L_{11}$$
- A (4.7) összefüggésben „ p ” kitevő? Ha igen, akkor (4.5)-(4.6)-ból hogyan jön (4.7)? Mi a különbség a „ p ” és az „ s ” paraméterek között? „ p ” pontos jelentését meg kellene adni.
- Az FLM modell az x - z síkon definiált áramlási vonalak mentén egyirányban történő anyagáramlást feltételez. Mennyire reális közelítés az y -irányú anyagáramlás figyelmen kívül hagyása? Mennyire reális az „ e ” vastagság (4.5. ábra jelölésével) a henger előtti szakaszban ($x > L_d$ -nél)?
- A 4.5. ábrán hol van az $x=0$ pont? Ha a jobboldalon, a hengerekből kilépő „ s ” vastagságnál, akkor (4.8) összefüggésben $x > L_d$ helyett nem $x < -L_d$ lenne helyes? Vagy az ábra tükörképét kellene mutatni?
- A (4.8) összefüggésnél mik a peremfeltételek a Φ függvényre, az első és második „ x ” szerinti deriváltakra $x=0$ -nál és $x = L_d$ -nél? Ezek pontosan, vagy csak közelítőleg teljesülnek a felírt összefüggésre?

- A (4.8) összefüggéssel definiálja a „flow-line” vonalakat, amelyek a sebességirányokat adják meg a különböző mélységű rétegekben. De azt nem írja le, hogy az 4.6. ábrán bemutatott anyagáramlás sebességeket hogyan számolta?
- Az „ α ” és az „ n ” modellparaméterek hatását részletesen elmagyarázza a 25-28. oldalon, de a paraméterek definícióját csak később, a 32-33. oldalon tárgyalja. Ez eléggé megnehezítette a megértést.
- A 4.8 és 4.9 ábrákon bemutatott, végeselem és FLM (flow-line) modellel számolt eredmények futási idejében mekkora különbség adódott?

Ebben a fejezetben van megmutatva a második tézis, amelyet a fenti kérdések tisztázásával elfogadok új tudományos eredményként.

4.2-4.5. fejezetek (szimmetrikus, aszimmetrikus és egyedi hengerlések vizsgálata új modellekkel):

Többféle modellel (Taylor, Alamel, Cluster és VPSC) számol hengerlés hatására kialakuló textúrákat, amelyeket mérési eredményekkel hasonlít össze. A modellek közötti – szemcsék kölcsönhatásaiból adódó – különbségeket megmutatja, a kapott eredményekből részletes elemzést készít. A modellparaméter beállítására optimális értéket határoz meg. A modelleket, algoritmusokat kiterjeszti aszimmetrikus hengerlésre is. A különböző technológiai paraméterekkel történő hengerlések hatására kialakuló textúrákat jellemzi 6016 Al ötvözetnél. Részletes textúra-elemzést mutat különösen nagymértékű alakításnak kitett (85, 91, 98 %-os vastagságcsökkentés hengerléssel) Al-Mg ötvözetek lemezekre is.

Észrevételek, kérdések:

- 4.13-15 ábráknál nem írja, hogy ezek kísérleti, vagy számolt eredmények. Bár ki lehet következtetni, de azért jó lett volna egy megerősítés.
- A hengerlési technológiák paramétereit mindig pontosan megadja. De hogy a méréseket és a különböző modellekkel történt számításokat milyen mintákon végezte, azt általában nem mutatja meg. Mi volt a bemenete egy modellszámításnak? (pl. minta mérete, szemcseszám, szemcsenagyság, eloszlás, stb.)
- A számolt és mért eredmények közötti eltérésekre az ID (texture index) paramétert vezeti be. A „ m ” modellparamétert úgy optimalizálja, hogy az ID index minimális legyen.
 - ID számításánál az integrált mindhárom Euler-szög szerint értelmezi? Azaz hármasszögintegrálról van szó, és így a teljes vizsgálati térfogatra összegzi az eltéréseket?
 - A kísérleti referenciának választott $f_1(g)$ ODF (orientation distribution function) eloszlásfüggvény egy konkrét mérésből lett megválasztva, vagy több mérés átlagából? Mennyire tekinthető homogénnek a kristályorientáció eloszlása szimmetrikus és aszimmetrikus hengerlések esetén? Mekkora szórás van egy mintán belül (különböző helyeken mérve), vagy ugyanolyan módon előkészített minták azonos technológiai paraméterekkel történő hengerléseinél? Volt-e ilyen mérés, vagy vannak-e a szakirodalomban erre vonatkozó adatok? Összességében: mennyire reális a kísérleti referencia megválasztása?

Ezekben a fejezetekben van megmutatva a harmadik tézis, amelyet a fenti kérdések tisztázásával elfogadok új tudományos eredményként.

5. fejezet (Újrakristályosítás):

Szakirodalom legújabb ismeretei és sok éves saját tapasztalat alapján új modellt állított fel újrakristályosítás analízisére. Nagy mennyiségű számítás eredményeként meghatározta 6016 és Al-2,8%Mg alumínium ötvözetek textúráit újrakristályosítás után, különböző mértékű hengerléseket követően. A saját, számított eredményeket kísérleti eredményekkel hasonlítja össze. A számítás pontosságát az ID (texture index) paraméterrel mutatja meg.

Ebben a fejezetekben van megmutatva a negyedik tézis, amelyet elfogadok új tudományos eredményként.

6. fejezet (Mélyhúzzhatóság):

Lemezanyagok megmunkálhatóságát, elsősorban a mélyhúzzhatóságot jellemezzük a Lankford-számmal. A Lankford-szám definíciójából látszik, hogy meghatározható az értekezésben ismertetett új modellekkel. Tehát a szerző logikusan foglalkozott ezzel a kérdéssel külön fejezetben.

A különböző modellekkel (Taylor, Alamel, VPSC) meghatározott Lankford-számokat összehasonlítja kísérleti eredményekkel, valamint szemléletes diagramokban mutatja az irányfüggést is. (Itt már látunk a modellben figyelembe vett szemcseszámtól való függést is, legalább az Alamel-modell esetében.)

A 6016 Al-ötvözet mélyhúzzhatósági tulajdonságait jellemzi különböző mértékű szimmetrikus és aszimmetrikus hengerlések után.

Ebben a fejezetekben van megmutatva az ötödik tézis, amelyet elfogadok új tudományos eredményként.

IV. Tézisek

A bíráló fenti, III. fejezetében egyenként nyilatkoztam a tézisek elfogadásáról is. Összességében: a bíráló III. fejezetében felmerülő kérdések tisztázása után **új tudományos eredménynek tekintem mind az öt tézist.**

Az értekezésben bemutatott eredményeket az irodalmi források áttekintése után hitelesnek találtam. A doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

Győr, 2021. március 30.

Dr. Zsoldos Ibolya