

Válaszok a Dr. Réger Mihály kérdéseire

Tisztelt Bíráló!

Köszönöm szépen a munkám elbírálását, a konstruktív megjegyzéseket és az érdekes kérdéseket!

A felmerült kérdésekre (megjegyzésekre) legjobb tudásom szerint válaszoltam.

Kérdések és válaszok

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

Válasz:

$$\{h, 1, h+1\} \left\langle \frac{h(h+1)}{3/4-h}, \frac{2h(h+1)}{1/2-h}, \frac{h^2}{h-3/4} + \frac{2h}{h-1/2} \right\rangle \quad (3.10)$$

Mivel eddig a β -szál nem rendelkezett pontos leírással, így a deformációs textúra komponenseket egyesítették olyan szállá, amely összeköti az Euler-tér maximumait egy meghatározott orientációs eloszláson belül. A 3.10 összefüggés megadja a β -szál referencia komponensek pontos koordinátáit az Euler térben. Korábban a β -szál mentén csak 3 komponenst definiáltak, viszont a 3.10 képlettel az összes komponens meghatározható. Pontosán meghatározhatók az $\{112\}\langle 111 \rangle$ ($h=1$), $\{325\}\langle 10\ 15\ 12 \rangle$ ($h=1.5$), $\{213\}\langle 9\ 15\ 11 \rangle$ ($h=2$), $\{314\}\langle 5\ 9\ 6 \rangle$ ($h=3$), $\{718\}\langle 26\ 50\ 29 \rangle$ ($h=7$), és $\{101\}\langle 121 \rangle$ ($h \rightarrow \infty$) komponensek. Így egyértelműen látható, hogy mennyivel térnek el a mért, illetve a modellezett β -szál komponensei a referencia komponensekhez viszonyítva (Pl. 4.19 ábra).

Az adott analitikai leírás (a 3.10 összefüggés) általános és érvényes az egész Euler-térre.

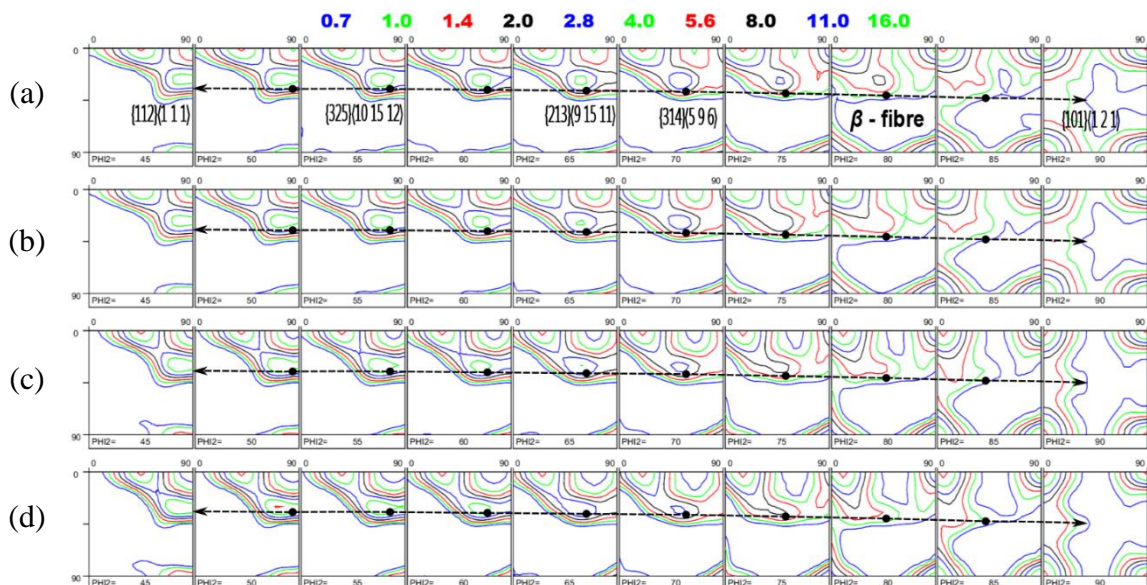


Fig. 4.19. ODFs simulated with various crystal plasticity approaches by approximating rolling with the SGM (see eq. 4.7 for details) and model parameter $m=5$: a) FC Taylor ($ID_N=0.05$); b) Alamel ($ID_N=0.038$); c) Cluster V ($ID_N=0.042$); d) VPSC ($ID_N=0.062$). The corresponding evolution of strain rate components are shown in Fig.4.4 [4s].

2. kérdés. A hideghengerlés végeelemes (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 számításához. Ehhez kapcsolódik a következő 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?

Válasz:

A 4.10 ábra arra utal, hogy a két modell (FLM és FEM/VEM) eredményei közötti különbség nem függ az alakváltozás mértékétől. Az anyagáramlási modellt (FLM) egyszerűsített hengerlési folyamatokra teszteltem. Az FLM modell széles érvényességi tartománnyal rendelkezik: henger sugár $R=64.6\text{mm} - 450\text{mm}$, kiinduló lemez vastagság $h=1\text{mm} - 6\text{mm}$, a nyomott ív vízszintes vetülete $L_d=3.61\text{mm}-21.91\text{mm}$, deformáció $\varepsilon=18-40\%$, a súrlódási tényező $\mu=0.025-0.3$. Az adott tartományban a végeelem és az FLM modellek közötti eltérések minimálisak voltak. Az egyszerűsített szimulációk arra utalnak, hogy az anyagáramlására jellemző eredmények közötti különbségek (FEM/VEM és FLM) függetlenek az alakváltozás mértékétől. Ugyanez érvényes a textúra szimulációk esetében is, ahol FLM-et (vagy FEM/VEM-et) és kristályképlékenyalakítási modelleket alkalmaztam (pl. 4.21 és 4.23 ábrák az értekezésben).

Az FLM modell alkalmazható a többszűrűs folyamat modellezésére is, viszont a lemez feszítést nem tudja figyelembe venni.

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

A 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?

Válasz:

Az FLM modell paraméterek meghatározásához 53 végeelem szimulációra szükség volt. Így biztosítottam a széles érvényességi tartományt: henger sugár $R=64.6\text{mm} - 450\text{mm}$, kiinduló lemez vastagság $h=1\text{mm} - 6\text{mm}$, a nyomott ív vízszintes vetülete $L_d=3.61\text{mm}-21.91\text{mm}$, deformáció $\varepsilon=18-40\%$, a súrlódási tényező $\mu=0.025-0.3$.

A számítások megbízhatósága az adott tartományban pl. a 4.10 ábrán látható. Az egyszerűsített hengerlés esetén a textúra modellezésére a kristályképlékenyalakítási modellek és a FEM (VEM) illetve FLM alkalmazása minimális eltérést okoz (pl. 4.21, 4.23 és 4.25). Az eredmények arra utalnak, hogy az említett tartományban az FLM modell megbízható eredményt biztosít.

Kristályképlékenységi modellekkel kombinálva az FLM és a FEM-mel azonos textúra szimulációt hoznak létre (pl. *Advanced Materials Letters* 2019, 10(9), 643-650, vagy *Metals*, 2019, 9, 1098).

Ábra a *Metals*, 2019, 9, 1098 cikkből.

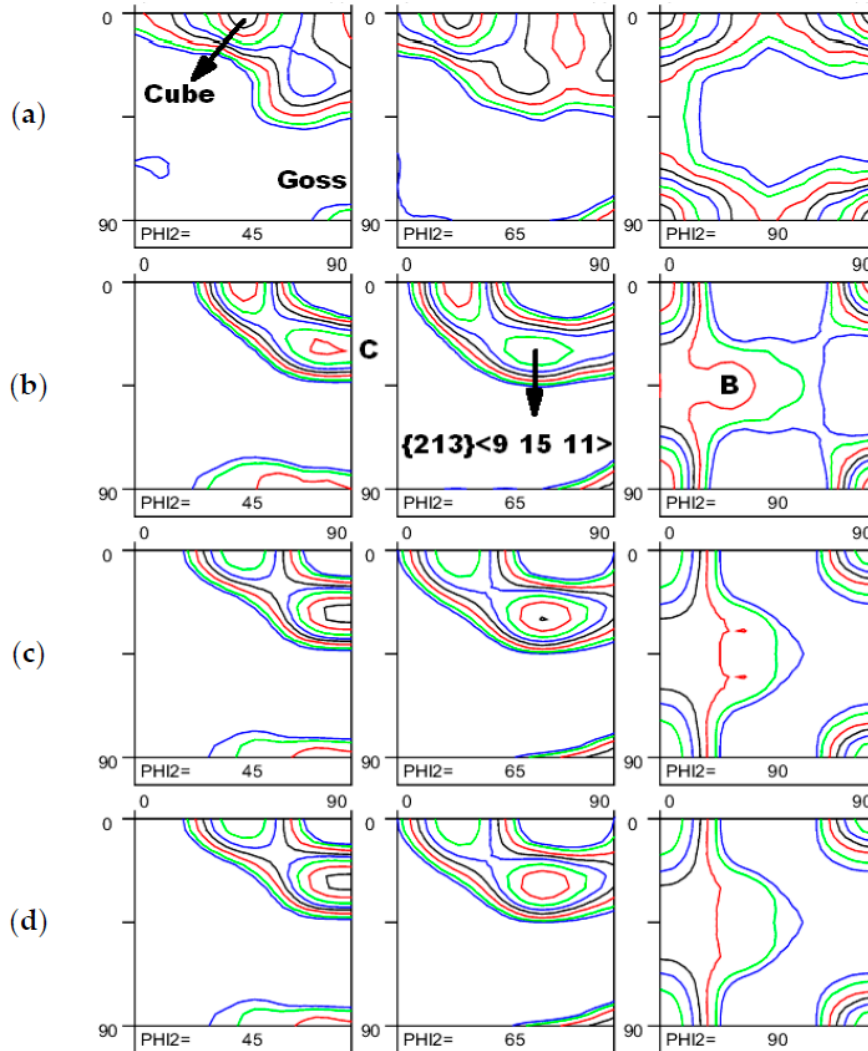


Figure 9. Experimentally measured and simulated overall textures in the investigated material: (a) the orientation distribution function (ODF) prior to rolling; (b) experimentally measured deformation texture after a 29.6% rolling reduction, where $TI = 2.219$ and $ODF_{\max} = 6.03$; (c) the ODF simulated with the Alamel model and the strain history calculated by FEM, where $ID = 0.085$, $TI = 2.533$, and $ODF_{\max} = 7.57$; (d) the ODF simulated with the Alamel model and the strain history predicted by FLM, where $ID = 0.076$, $TI = 2.460$, and $ODF_{\max} = 7.30$. The deformation history used for the texture simulations is shown in Figure 10.

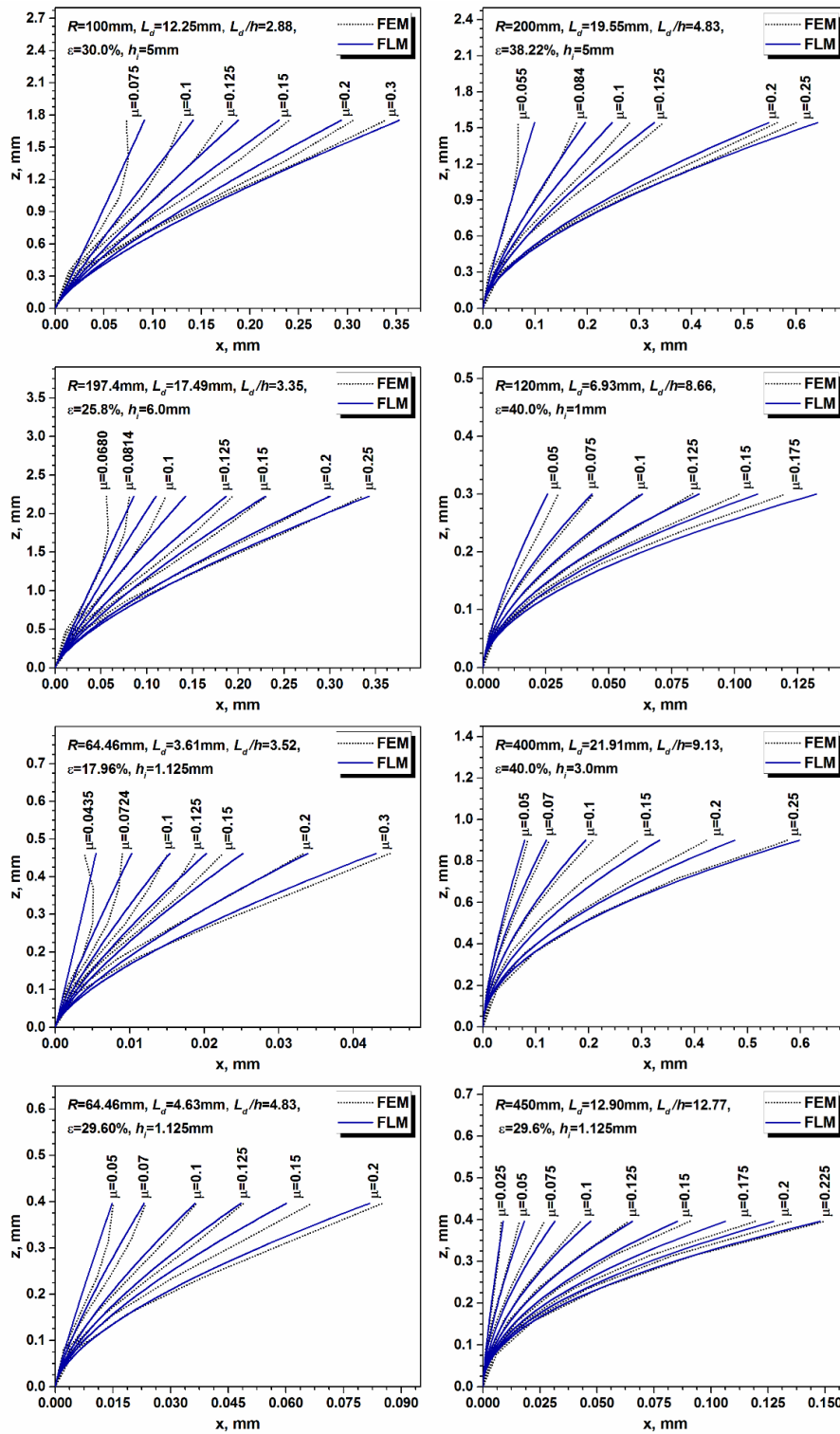


Fig. 4.10. Grid distortions predicted for various roll gap geometries [3s] by the FLM employed and FEM. The FLM model parameters were calculated by eqs. 4.17-4.19.

4. kérdés. 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 szúrások 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.

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.

Válasz:

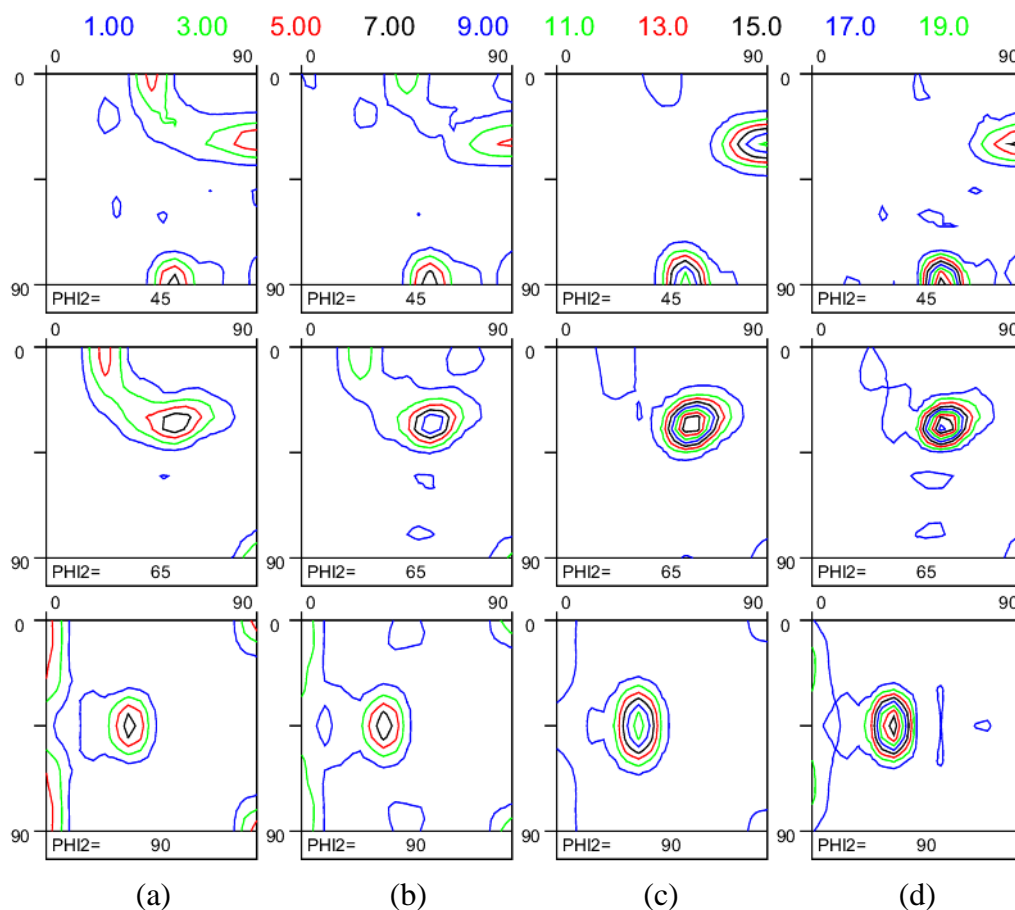


Fig. 4.14. Texture evolution in conventionally cold rolled 6016 Al alloy: a) pre-rolling texture (hot band); b) 40 % thickness reduction; c) 83% reduction; d) 87% reduction [2s].

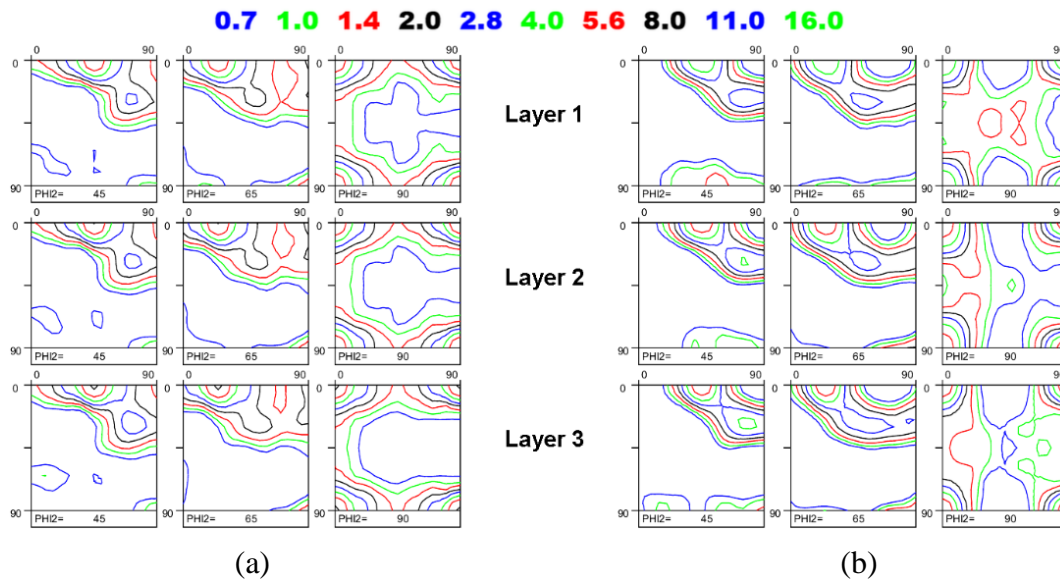


Fig. 4.16. Evolution of texture across the thickness in 6016 Al alloy (TD-plane): a) pre-rolling texture; b) rolling texture after 18% thickness reduction [4s].

A szemcseméret és a szemcsealakja bizonyos mértékben befolyásolják orientáció eloszlását hideghengerlés esetén. A nagy szemcseméret hatással van a deformáció lokalizálására (nyírósáv kialakulásához vezet) és így a lokális textúra gyengíti a hengerlési textúrát, pl. Ridha A. és Hutchinson W. B. *Acta Metall.* 30, 1982, 1929–1939). Ez befolyásolja a komponensek eloszlását a textúra szálak mentén (pl. Gomes Rodrigues D. *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 8, 2019, 4151-4162 vagy Lapeire L. *Acta Materialia*, 95 (2015) 224–235).

A kiinduló textúra, valamint a deformáció értéke jelentősen befolyásolja a hengerlési textúra kialakulását. Pl. a 4.14.a és 4.16.a ábrákon bemutatott melegszalag textúrák kevésbé hasonlítanak egymásra és így a hengerlési textúrák is eltérőek lesznek azonos deformáció után. Tipikusan, a $\{001\}\langle 100 \rangle$ komponens nagy stabilitást mutat a hengerlés során és a 87% deformáció sem képes teljesen átorientálni az adott komponens β -szál irányába (4.14 ábra). Kisebb deformációknál, a $\{001\}\langle 100 \rangle$ komponens intenzitása nem változik jelentősen a többi komponensekhez képest.

Összegzés: a kiinduló textúra (melegen hengerelt szalag textúrája) jelentősen befolyásolja a deformációs textúrát.

5. kérdés. 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.

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?

Válasz:

A 4.15 ábra csak részben mutatja a mért területet. Az EBSD mérés során több ezer szemcsét mértem, és így a textúra mindegyik részben reprezentatív volt. Modell kiválasztásától függetlenül fontos, hogy egy réteg/tartomány statisztikailag reprezentatív legyen, és ehhez ezer szemcse vagy ennél is több szükséges.

A különböző modellek eltérően veszik figyelembe a kölcsönhatásokat. Például a Taylor modell elhanyagolja a szemcsék közötti kölcsönhatást és így elhanyagolja a szemcse környezetét.

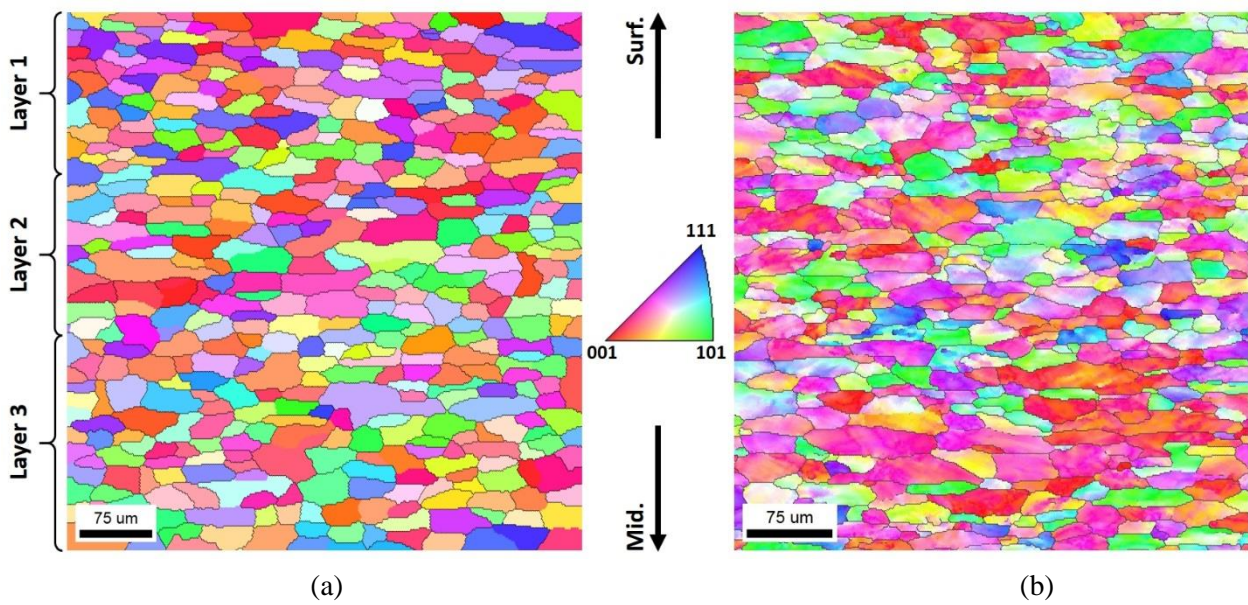


Fig. 4.15. IPF maps with HAGBs of 6016 Al alloy (TD-plane, the scale bar is || to RD): a) prior to rolling; b) after 18% cold rolling reduction. The half-thickness sections are revealed [4s].

Az Alamel modell párosítja a szemcséket és így a legközelebbi kristály orientációjának hatása figyelembe vehető. Ráadásul, az adott modell a szemcse alakját is figyelembe veszi. A kristályképlékenységi modellek által elvégzett szimulációk arra utalnak, hogy a rövidtávú kölcsönhatások nagyon fontos szerepet játszanak a textúra kialakulási folyamatában. A modell véletlenszerűen párosítja a szemcséket és így nem vehető figyelembe az a tény, hogy az egyik irányban csak néhány szemcsét tartalmaz a kiválasztott anyagrész.

A VPSC modell figyelembe veszi a hosszútávú, szemcsék közötti hatásokat és a szemcsealakját. A VPSC modell relatív nagy precizitással képes kiszámolni a deformációs textúrákat, és ez arra utal, hogy a hosszútávú szemcsék közötti hatások is fontosok a textúra kialakulásakor. Az adott modell jobban figyelembe veszi a csoportos szemcse hatását a kiválasztott szemcsére.

A klaszter V modell esetén, a szerkezet klaszterekből áll és mindegyik klaszter öt szemcsét tartalmaz. A VPSC modellhez hasonlóan, az adott modell is relatív nagy precizitással képes szimulálni a deformációs textúrákat, és az eredmény összehasonlítható a VPSC modellel.

A VPSC és a klaszter V modell esetén, a szimulációban alkalmazott szemcseszám fontos, mivel ezek határozzák meg az egyes szemcséknek vagy klaszternek a viselkedését. Nem megfelelő kristály mennyiség (ezer alatti) téves kvalitatív eredményhez vezethet.

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?

Válasz:

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 egyszűrűs, 18 %-os alakváltozási esetre a kristályok közötti interakciót is számításba vevő modellek 0.075 alatti ID_N értéket mutattak, ami kiváló egyezést jelez. Többszűrűs és nagyobb összalakváltozási esetben ennél egy nagyságrenddel nagyobb értékek jellemzik az eltérést ($ID_N = 0.2-0.3$, 4.28 ábra).

Ahhoz, hogy a kristályképlékenységi modellek megbízható textúra eredményt szolgáltatassanak, több ezer szemcsét kell figyelembe venni. Ideális esetben több tízezer szemcsére van szükségünk. Ezt elérhetjük röntgen diffrakciós méréssel és utána alkalmazhatjuk az ú.n. diszkretizálási technikát (Tóth és Van Houtte algoritmus), amellyel a folyamatos ODF függvényt diszkrét kristályokká átalakítjuk (tipikusan 10.000 szemcsé elegendő).

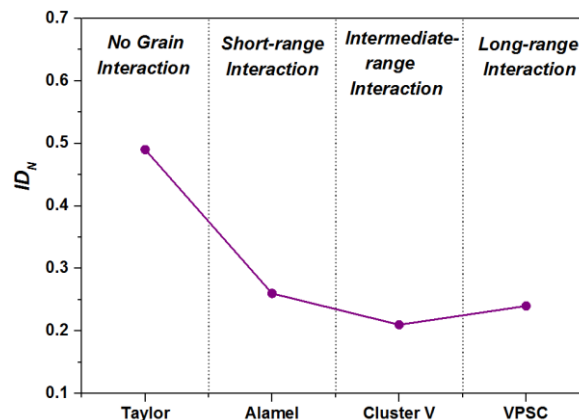


Fig. 4.28. Effect of grain interaction scheme, employed by the corresponding CP model, on the quality of texture prediction, performed for 86% multi-pass rolling [7s].

Az EBSD által mért eredmények esetén, a több millió pontból felépülő térképeket (egy szemcsé akár 1000 mérési pontot is tartalmaz) úgy alakítjuk át, hogy kiszámoljuk mindegyik szemcsének az átlagos orientációját és ezt bemeneti adatsorként használjuk a textúra szimulációhoz. Fontos, hogy a mérés több ezer szemcsét tartalmazzon (~10.000).

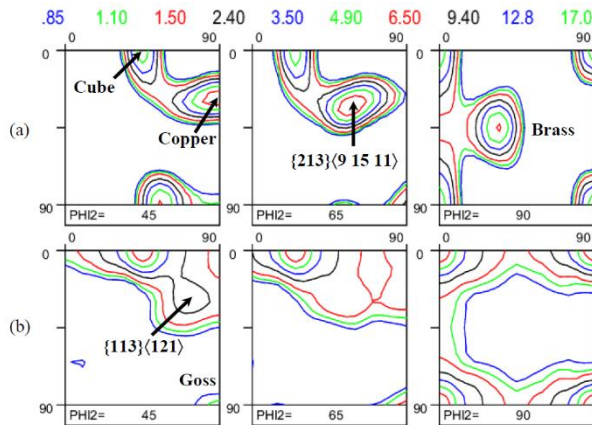
Ha több tízezer szemcsét sikerült lemérni EBSD által (pl. 100.000), egyszer kiszámoljuk az ODF függvényt és utána alkalmazzuk a Tóth és Van Houtte diszkretizálási technikát (Textures and Microstructures, 1992;19:229) az orientációk számának csökkentése érdekében. Még a relatív gyors kristályképlékenységi modellek is sok időt igényelnek, ha a kristályok száma nagy (pl. 100.000 vagy több). Ezért célszerű az orientációk számát csökkenteni.

Nagyon fontos megjegyezni, hogy nem a mért szemcsék száma fontos, hanem hogy mennyire reprezentatív textúrával rendelkeznek a mért szemcsék. Ha az adott alakítási technológia képes homogén textúra eloszlást biztosítani az anyag egész térfogatában, ilyenkor a limitált számú szemcsé is képes reprezentálni az egész anyagot.

7. kérdés. Mivel magyarázható az eltérés növekedése növekvő alakváltozási érték, illetve szúrásszám 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.

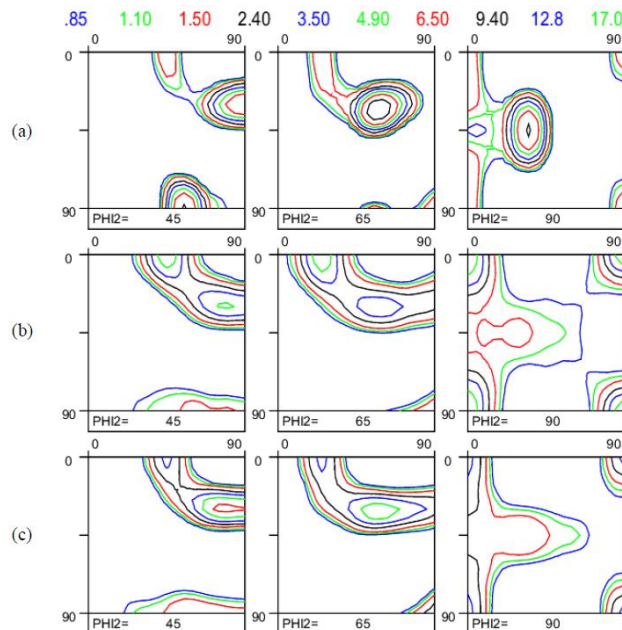
Válasz:

Az eredmények arra utalnak (alábbi ábrák), hogy az alakítási textúra intenzitása folyamatosan növekszik a növekvő alakváltozási érték függvényében, viszont azt, hogy mennyire gyorsan növekszik a textúra intenzitása, azt a hengerlési mód (szúrások száma, illetve a deformáció értéke minden egyes szúrásnál) határozza meg. A textúra komponensek eloszlására nagy hatással van a kiinduló textúra. Például, ha a kiinduló textúra véletlenszerű, akkor a kisebb értékű deformációk esetén is a textúra relatív magas intenzitású lesz, viszont ha a kiinduló textúra több stabil komponenst tartalmaz (komponensek, amelyek nagyon lassan orientálódnak át a deformációs textúra felé), a textúra intenzitása lassan változik.



Kiinduló textúra
(Sidor J. et al. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1121, 2021, 012046)

Fig. 1. Pre-rolling texture of investigated materials: a) material A; b) material B.



Alakítási textúra
(Sidor J. et al. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1121, 2021, 012046)

Fig.2. Deformation textures of investigated materials: a) material A, subjected to 86% reduction; b) material B, subjected to 30% reduction (B1); c) material B, subjected to 47% reduction (B2).

Általában elmondható, hogy a nagy értékű deformáció magas intenzitású texturát hoz létre, viszont a textúra intenzitását és a komponensek eloszlását a szálak mentén csak a kristályképlékenységi modellek segítségével vagyunk képesek megérteni.

Figyelembe kell venni azt a tényezőt is, hogy a szemcsék fragmentálódásra (töredeződésre) hajlamosak (több kisszögű szemcsehatár kialakul egy szemcsén belül és végül egy orientáció pl. kettővé válik szét) és ráadásul nyírósávok (shear bands) is kialakulhatnak nagy értékű deformáció esetén. Mind a két jelenség gyengíti a deformációs textúrát. Ezeket a jelenségeket csak a CPFEM modellek alkalmazásával lehet szimulálni.

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 ?

Válasz:

Az eredmények arra utalnak, hogy az m és a μ közötti összefüggés a következő: $m \approx 1/5\mu$, (ahol μ a súrlódási tényező/együttható). A súrlódási tényező értékét nem ismerjük, de a minimális érték, mely szükséges a hengerléshez, kiszámolható pl. 4.15 képlet segítségével.

$$\mu_{\min} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h_f}{R}} \frac{\ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right) + \frac{1}{4} \sqrt{\frac{h_i - h_f}{R}}}{\tan^{-1} \sqrt{\frac{h_i}{h_f} - 1}} \quad (4.15)$$

A kristályképlékenységi szimulációk azt mutatják, hogy a legjobb illeszkedés a nedves hengerlés esetén érhető el, ha feltételezzük, hogy a súrlódási tényező értéke $\mu \approx 1.3\mu_{\min}$.

Ebből adódóan: $m \approx 1/(5\mu) = 1/(5 \cdot 1.3\mu) \approx 1/(2\pi\mu_{\min})$

9. kérdés. 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 az 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.

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

Válasz:

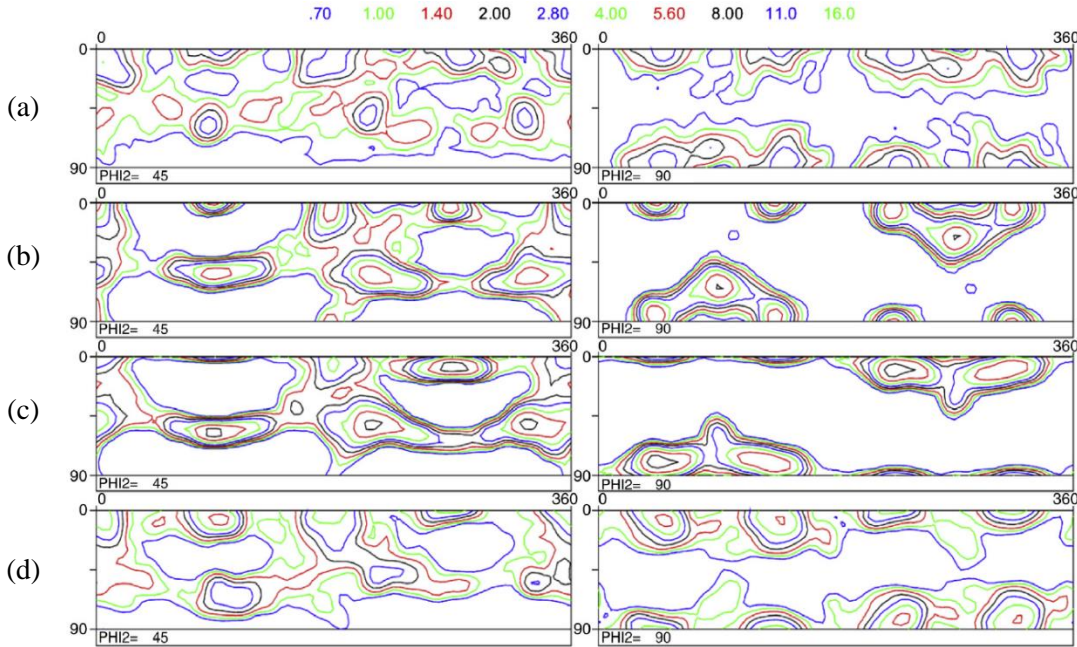


Fig. 4.32. Calculated and measured through-thickness textures in 6016 Al alloy for unidirectional asymmetric rolling with 18% thickness reduction and roll radii ratio of $R_1/R_2 = 1.5$: (a) experimentally measured texture; (b) FCT model, $ID_N = 0.83$; (c) VPSC model $ID_N = 1.21$; and (d) Alamel model, $ID_N = 0.52$ [2s]. The amount of shear imposed in ASR is approximated by equation 4.25.

$$ID_N = \frac{ID}{TI} = \frac{\int [f_1(g) - f_2(g)]^2 dg}{\int [f_1(g)]^2 dg} \quad (4.22)$$

Ha a két textúra azonos, akkor az ID_N paraméter nulla értékű. Mivel a numerikus megközelítések bizonyos peremfeltételeket és approximációkat alkalmaznak, ezért bizonyos eltérések megfigyelhetők a mért és a szimulált textúrák között.

Többnyire igaz, hogy az erős intenzitású textúra esetén ($I \sim 10$) az $ID_N < 1$ elfogadható kvalitatív egyezést mutat, viszont a kvantitatív textúra jellemzők eltérnek a mért textúrához képest. Ahogy a 4.32 ábra mutatja, a 0.52 értékű (Alamel szimuláció) ID_N szám relatíve jó kvalitatív és kvantitatív egyezést mutat, viszont a Taylor által szimulált textúra jelentősen erősebb a mérthez képest ($ID_N = 0.83$). Ráadásul, még az $ID_N = 1.21$ (VPSC modell) is elfogadható kvalitatív minőséget biztosít.

Ahhoz, hogy a textúra fejlődésének több aspektusát figyelembe vegyük, elemezni szükséges nem csak az ID_N számot, hanem az ODF maximális értékét és a textúra indexet is (TI szám). A három paraméter által jobban megítélhető, hogy az adott szimuláció mennyire felel meg a mért textúrának (pl. 4.25 ábra, 18% vastagság csökkenés).

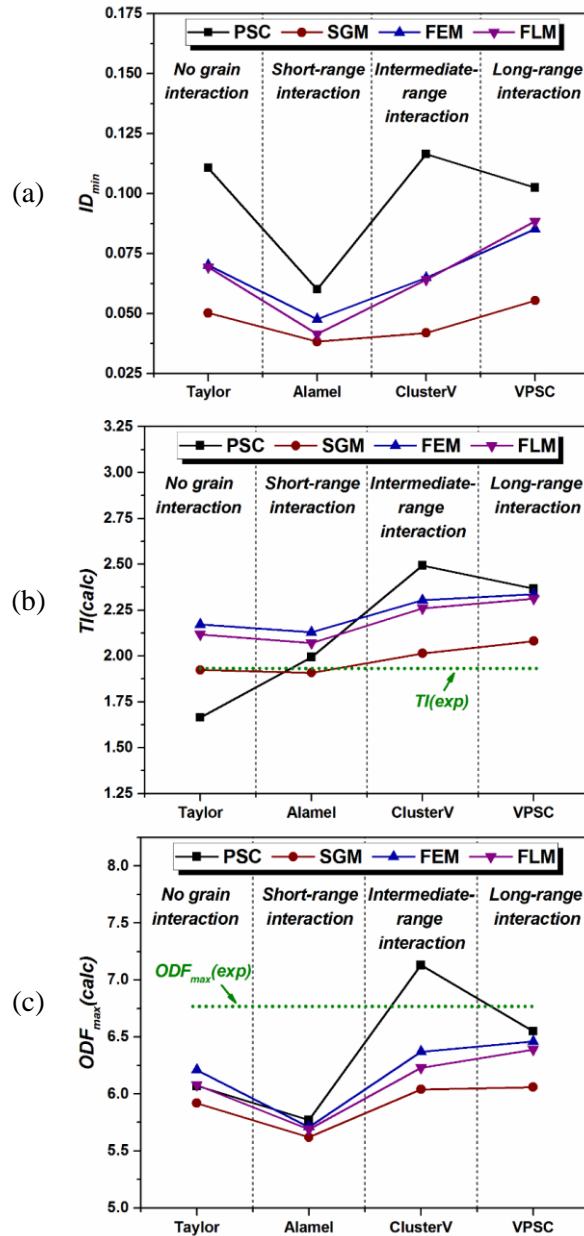


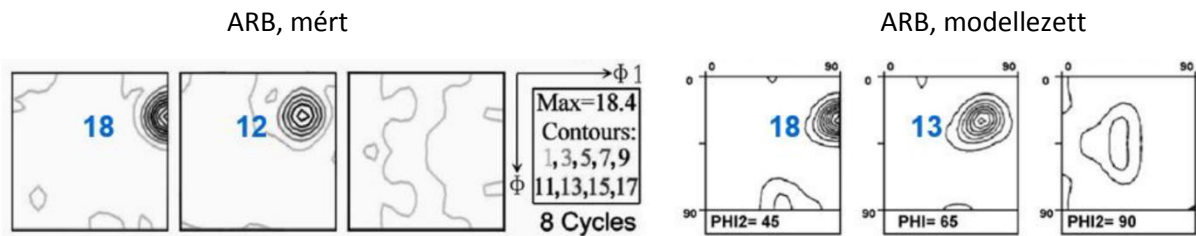
Fig. 4.25. Variation of the quality of texture prediction with the strain mode approximation and grain interaction schemes, employed by the corresponding CP model. Texture quantitative indicators: a) texture index difference, ID_{min} (the model parameters in eq. 4.7, FEM and FLM were set as to ensure the lowest ID_N number for a given CP simulation); b) texture index TI ; c) ODF maximum value, ODF_{max} [4s].

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?

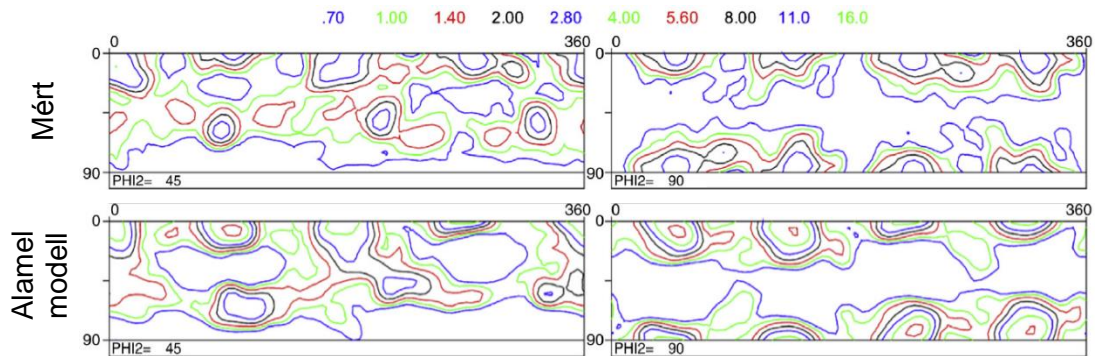
Válasz:

Az *akkumulatív (ARB) hengerlés* esetén, a *becsült csúsztató deformáció értéke* ($K=\varepsilon_{13}/\varepsilon_{33}=2.4$), *viszont ez csak a vékony felületi rétegen belül koncentrálódik*. Az *aszimmetrikus hengerlés (ASR)* során, *jelentős csúsztató deformáció figyelhető meg az egész vastagság mentén* ($K=3-5$) [Acta Materialia 56 (2008) 2495–2507, Philosophical Magazine 2008, 1–14 (DOI: 10.1080/14786430802064659), Materials Science and Engineering A 528 (2010) 413–424].

A *mért és a modellezett ARB textúra komponensei egyértelműen arra utalnak, hogy az anyag főleg nyomó jellegű deformációt szenved, viszont az ASR esetén az intenzív nyíró deformáció aszimmetriát hoz létre* [Acta Materialia 56 (2008) 2495–2507, Materials Science and Engineering A 492 (2008) 110–117].



Aszimmetrikus hengerlés

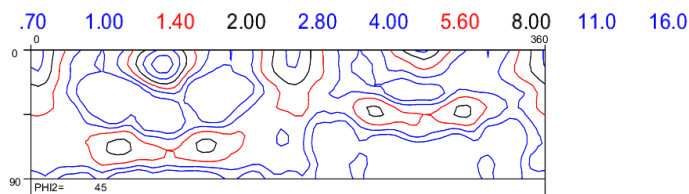


11. kérdés. A disszertáció 4.5 fejezete a nem alakítható fázisok lokális és globális hatásával foglalkozik, az 5. fejezet pedig az újrakristályosodási textúra összetett kérdéskörével, mely végeredményben meghatározza a 6. fejezetben bemutatott makroszkópicusan mérhető alakíthatósági jellemzők értékét. Összefoglaló kérdésem azzal a megállapítással kapcsolatos, miszerint a hagyományosan, vagy intenzíven alakított és újrakristályosított lemez makroszkópicus viselkedését a textúra vastagságirányú inhomogenitása is befolyásolja. A makroszkópicusan mérhető alakíthatósági jellemzők alakulását a felületközeli és középvonali anyagrészek átlagos textúrája szabja meg, vagy valamely tartománynak lehet kitüntetett szerepet is tulajdonítani?

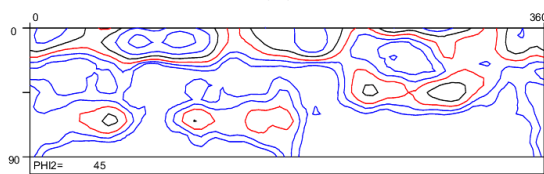
Válasz:

A hagyományosan (szimmetrikusan) hengerelt lemezekben az alakíthatósági jellemzők alakulását a középvonali anyagrészek átlagos textúrája szabja meg, mivel a kívánatos (előnyös) csúsztató (nyíró) jellegű felületi textúrának a térfogat része elhanyagolhatóan kicsi. Ez a hengerlés természetéből adódik. A VEM és az FLM modellek egyértelműen arra utalnak, hogy az anyag belseje főleg nyomó jellegű deformációt szenved (Metals 2019, 9, 1098; doi:10.3390/met9101098) ami β -szál deformációs és köbös újrakristályosodási textúrát idéz. A vékony felületi rétegben előnyös γ -szál alakul, viszont az adott textúra elhanyagolhatóan kis hatással van az alakíthatósági jellemzőkre.

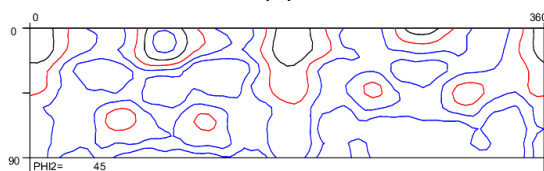
Az aszimmetrikus hengerlés esetén, a hengerelt anyag mindegyik része jelentős nyíró deformációnak van kitéve (J. Sidor et al. Materials Science and Engineering A 528 (2010) 413–424) és így mindegyik réteg hatással lesz a normál és síkbeli anizotrópiára is.



(a)



(b)



(c)

Aszimmetrikus hengerlés, $\epsilon=20\%$

Materials Science and Engineering A 528 (2010) 413–424

Fig.5. Through-thickness texture evolution in the investigated material D (a-c): a) top sub-surface; b) mid-thickness; c) bottom sub-surface.

Szombathely, 2021/06/14

Dr. Sidor Jürj