

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyag- és Gyártástechnológiai Intézet

Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

KÖNYÖKSAJTOLÁS VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

Szerző:

Nagy Pál

gépészmérnöki szak, III. évfolyam

Konzulens:

Dr. Gonda Viktor

egyetemi docens

BUDAPEST, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1. Intenzív képlékenyalakítás	3
1.2. Könyöksajtolás	4
2. Célkitűzések	8
3. A könyöksajtolás végeselemes szimulációja.....	9
3.1. A modell felépítése	9
3.2. Parametrizálás.....	12
4. Eredmények.....	13
5. Következtetések	17
6. Irodalomjegyzék.....	18
7. Rövid összefoglalás.....	19
8. Short Abstract.....	20
9. Melléklet.....	21

1. Bevezetés

A nano- és ultra-finomszemcsés anyagok rendkívül kedvező mechanikai anyagtulajdonságokkal rendelkeznek, ami a nagy szilárdságban és viszonylag nagy szívósságban jelenik meg. Ezen anyagoknak a felhasználásában rejlő lehetőségek csak a közelmúltban váltak jelentőssé, de ipari méretekben még nem terjedtek el az előállító technológiák. Az ilyen anyagokat legtöbb esetben az orvosi biológia-, közlekedés-, vegyipar, az elektronika és a gépészet tudja hasznosítani. A nanotechnológia ma 4 fő csoportra osztható¹:

- Vékony rétegek és porok
- Nagy fajlagos felületű nanoszerkezetű anyagok
- Nanoméretű funkcionális eszközök
- Tömbi nanoszerkezetű anyagok

1.1. Intenzív képlékenyalakítás

Rendkívül kis szemcseméretet intenzív képlékenyalakítással (Severe Plastic Deformation) tudjuk elérni tömbi anyagoknál. Ezeknek az eljárásoknak a lényege, hogy az anyag kezdeti durvaszemcsés szerkezetét alakítással, jellemzően nyíró alakváltozás hatására finomszemcsés szerkezetűvé transzformáljuk.

Ez akár több lépcsőben is megismétlődhet. Az alakítás mértékétől függően a szemcseszerkezet lehet ultrafinom- (~100-1000 nm) illetve nanoszemcsés (<100 nm). Az ultra-finomszemcsés anyagokra jellemző a nagy kifáradási határ, forgácsolás utáni finom felület, szuperképlékeny alakíthatóság, nagy szilárdság, és nagy szívósság. A szemcseméret és a szilárdság közti összefüggést Hall és Petch határozta meg a múlt század 50-es éveiben, eszerint a szilárdság (pl. keménység) a szemcseméret gyökével fordítottan arányos. Néhány fémnél (réz, titán) az intenzív képlékenyalakítás hatására a szilárdságnövekedéssel együtt a képlékenység is viszonylag magas értékű². Ez a jelenség korábban ismeretlen volt, jellemzően a szilárdságnövekedéssel párhuzamosan csökkent a képlékenység.

¹ Ruslan Z. Valiev: *Nanomaterial advantage*, Nature 419 (31 October 2002) pp. 887-888

² Ruslan Z. Valiev: *Paradoxes of severe plastic deformation*, Advanced Engineering Materials 5 (2003) pp. 296-300

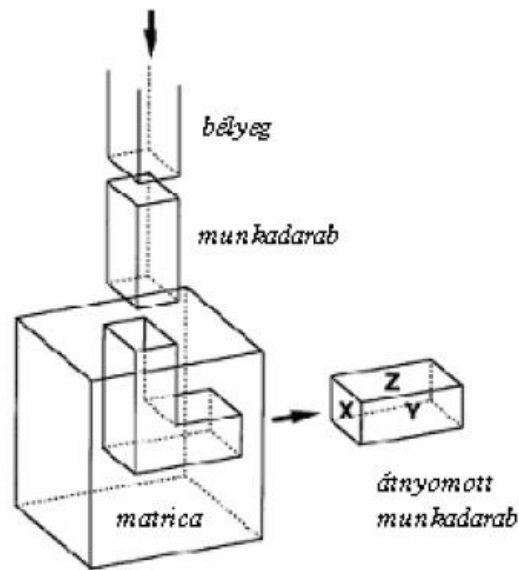
Az intenzív képlékenyalakítás technológiái a könyöksajtolás, a többtengelyű kovácsolás, a ciklikus sajtolás és nyomás, többrétegű kötőhengerlés, lemeznyírás stb. A hagyományos képlékenyalakító eljárásokkal gyártott anyag szemcseszerkezetét kisszőgű szemcsehatáru ún. szubszemcsék alkotják, míg intenzív képlékenyalakítás esetén az ultra-finomszemcsés szerkezet nagyszőgű szemcsehatárokkal rendelkezik. Ez azt jelenti, hogy egy krisztalliton belül a felületszerű hibák orientációkülönbsége meghaladja a 15°-ot.

A hagyományos eljárások hátránya, hogy az anyag képlékeny tartalékainak kimerülése miatt nem lehet egy adott mértéknél nagyobb alakváltozást elérni. Az intenzív képlékenyalakító eljárások során azonban közel hidrosztatikus nyomó feszültségállapot jön létre, aminek köszönhetően rendkívül nagy alakváltozás jöhet létre, anélkül, hogy az anyag károsodna. A szemcsefinomodás mértéke többlépcsős eljárás esetén egyre kisebb lesz, azaz az első lépésben lesz a legnagyobb az alakváltozás, és az ezt követő lépésekben az egyre csökken.

1.2. Könyöksajtolás

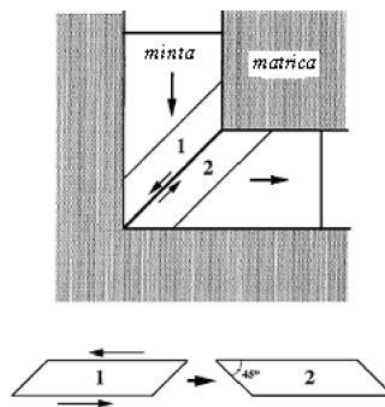
A legismertebb technológia a könyöksajtolás, angol nevén Equal Channel Angular Pressing (ECAP), a TDK dolgozatban ez a módszer kerül bővebb kielemezésre. Ezt a technológiát 1972-ben Belorussziában találták fel³, amellyel a tömbi munkadarabok mechanikai tulajdonságait tudták megváltoztatni. A könyöksajtolás során a munkadarab keresztirányú mérete nem változik meg, azonban az alakváltozás és a feszültségek eloszlása közel egyenletes lesz. Ennek köszönhetően a könyöksajtolás inkább anyagtulajdonságot módosító eljárás, mint félterméket késztermékké alakító eljárás. A könyöksajtolás lényegét az 1. ábra szemlélteti.

³ Krállics György: Intenzív képlékeny alakítással előállított ultra-finomszemcsés anyagok, Budapest, 2004



1. ábra: A könyöksajtolás sematikus bemutatása⁴

Az ábrán jól látható, hogy a munkadarabot két, egymással szöget (jelen esetben derékszöget) bezáró csatornán sajtoljuk keresztül, ezek keresztmetszete állandó. A munkadarabot egy alakítóbélyeg segítségével sajtoljuk keresztül a matricán. A két csatorna találkozásánál a fő nyírási sík közelében alakul ki a deformációs zóna, melyben az alakváltozás nyíró jellegű. Ennek köszönhetően a teljes keresztmetszetében közel azonos feszültségek keletkeznek, a nyírási sík szemléltetését a 2. ábra mutatja be.

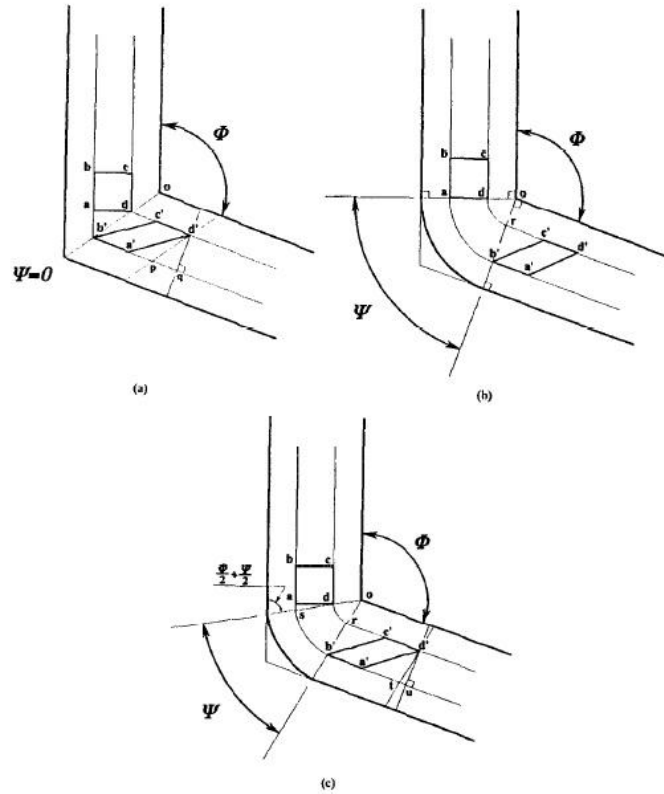


2. ábra: Fő nyírási sík⁵

⁴ Krállics György: Intenzív képlékeny alakítással előállított ultra-finomszemcsés anyagok, Budapest, 2004

⁵ Fodor Árpád: AlMgSi1 ötvözet intenzív képlékenyalakítása, PhD értekezés, Budapest, 2003

Az alakváltozás mértékét és a kialakuló szemcseszerkezetet a technológiai paraméterek (súrlódás, alakítás hőmérséklete és sebessége) határozzák meg nagymértékben. Az alakváltozást az alakítási csatornák belső Φ és külső ψ hajlásszögei befolyásolják nagymértékben. A belső hajlásszög(Φ) a csatornaszög a külső hajlásszög(ψ) pedig a könyökszög. A különböző típusú csatornákat a 3. ábrán láthatjuk:



3. ábra Különböző típusú csatornakialakítások⁶

Az egyenértékű alakváltozás általános formája a következő⁷:

$$\varepsilon_{eq} \left[\frac{2}{3} \left(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + \frac{\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Amennyiben a könyöksajtolási modellt súrlódásmentesnek vesszük, és az alakváltozás eloszlás közel homogén az alakított darab egész térfogatában, akkor csupán az egyik síkban végbemenő nyíró igénybevétel van jelen a folyamatban. Ennek köszönhetően ε_x , ε_y , ε_z értéke

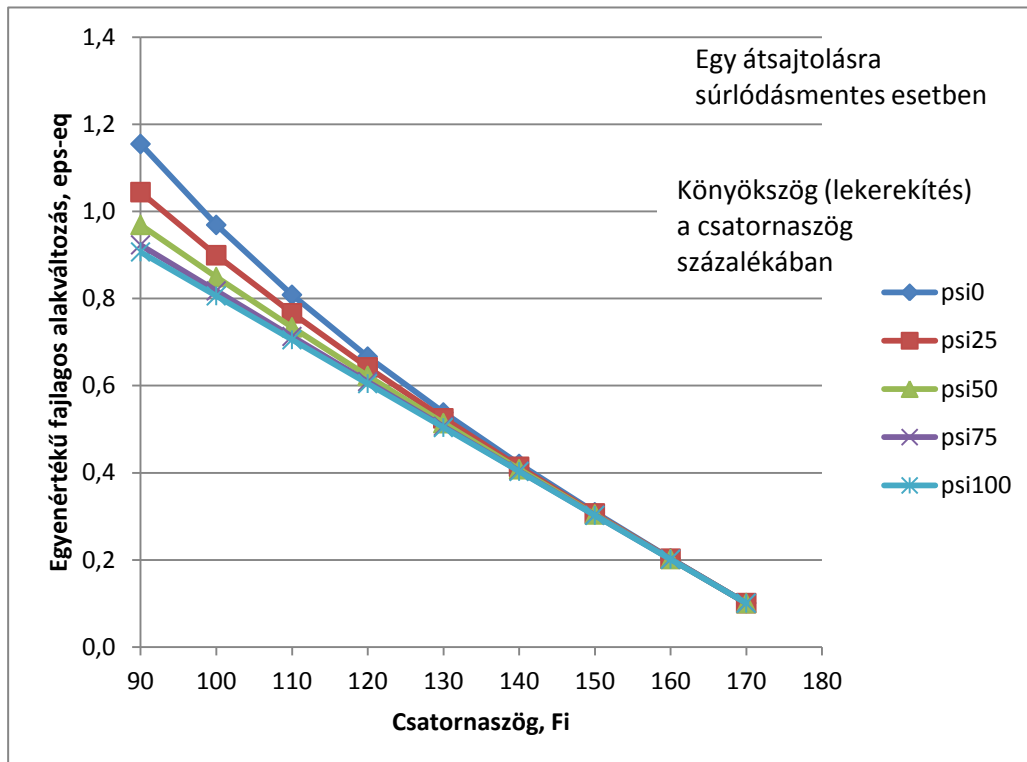
⁶ Yoshinori Iwahashi, Jingtao Wang, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. Langdon: Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the processing of ultrafine grained materials, Scripta Materialia Vol. 35, No. 2 (1996) pp. 143-146

⁷ Yoshinori Iwahashi, Jingtao Wang, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. Langdon: Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the processing of ultrafine grained materials, Scripta Materialia Vol. 35, No. 2 (1996) pp. 143-146

nulla és ha xy síkban feltételezzük a nyírást, akkor csak γ_{xy} szögváltozási komponens tér el a nullától. Egy lépésben elvégzett, súrlódásmentes átsajtolás esetén az egyenértékű alakváltozás kiszámítását a következőképp végezzük el⁸:

$$\varepsilon_{eq} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[2 \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) + \psi \cdot \operatorname{cosec} \left(\frac{\Phi}{2} + \frac{\Psi}{2} \right) \right] \quad (2)$$

Ennek a képletnek az alapján meg lehet állapítani a különböző egyenértékű alakváltozásokat a csatornaszög függvényében (4. ábra).



4.ábra.: Az egyenértékű alakváltozás a csatornaszög és a könyökszög függvényében⁹

⁸ Yoshinori Iwahashi, Jingtao Wang, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. Langdon: Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the processing of ultrafine grained materials, Scripta Materialia Vol. 35, No. 2 (1996) pp. 143-146

⁹ Dr. Gonda Viktor, Dr. Verő Balázs, Valenta László: Ultrafinom és nanoszerkezetű tömbi anyagok szemcseszerkezete és tulajdonságai közötti kapcsolat, továbbá a domináns hatásmechanizmusok kutatása, Dunaújvárosi Főiskola, 2012

2. Célkitűzések

A TDK dolgozatom célja a könyöksajtolás végeselemes szimulációjának a létrehozása, melynek segítségével megállapíthatjuk, mely sajtolószerszám-geometriával érhető el a leghomogénebb anyagtulajdonságú munkadarabok. Az alábbi cékitűzéseket határoztam meg:

1. A könyöksajtolás síkbeli végeselemes modelljét készítem el. Paraméteres procedure fájlt hozok létre, ahol a következő paraméterek változtathatók: a csatorna mérete (a), a csatornaszög (Φ), a könyökszög (Ψ), a munkadarab hossza (l_e), valamint a Coulomb súrlódási tényező (μ).
2. Megvizsgálom az adaptív hálózás alkalmazásának lehetőségét.
3. Az átsajtolás szimulációját lefuttatom a következő esetekre: $a = 8 \text{ mm}$, $l_e = 80 \text{ mm}$, $\mu = 0$,
 - a. $\Phi = 90^\circ$, $\Psi = 0^\circ$
 - b. $\Phi = 90^\circ$, $\Psi \approx 30^\circ$
 - c. $\Phi = 120^\circ$, $\Psi = 0^\circ$
 - d. $\Phi = 120^\circ$, $\Psi \approx 30^\circ$
4. Megvizsgálom az alakváltozási mező homogenitását.

3. A könyöksajtolás végeselemes szimulációja

A végeselem analízis segítségével az alakváltozási folyamatokat tudjuk számítógépes modellek segítségével számítani, majd az eredményeket kiértékelve a valóságban már pontos képet kapunk egy-egy folyamat kimeneteléről. A könyöksajtolás végeselemes modellezésére az MSC.Software MARC Student Edition-t használtam. A hetvenes évek elejétől fejlesztett Marc program kifejezetten nemlineáris feladatok megoldására írt, kereskedelmi célú végeselem szoftver.

”A Marc általános célú szoftver, a modellezéshez csaknem kétszáz elemtípust alkalmazhatunk, a beépített algoritmusokat számos ponton módosíthatjuk, egészíthetjük ki felhasználói szubrutinokkal. A pontosságot és az általánosságot jellemzi a végeselem technológia határait feszegető, magasabb rendű és hexaéder elemek esetén is működő globális újrarahálózás lehetősége, a rendkívül hatékony, analitikus felületábrázolással javított kontaktszámítás, vagy a megoldás sebességét nagyban növelő, az alkalmazott lineáris algebra mai élvonalába tartozó METIS algoritmus implementációja.”¹⁰ A TDK dolgozat során az újrarahálózás segítségével pontosabban meg lehet állapítani a könyöksajtolás szimuláció során végbemenő alakváltozásokat, igénybevételeket.

„Ennek köszönhetően a Marc többnyire megoldhatatlan modellezési feladatok esetén is alkalmazható, mint például bonyolult szerkezetű, hiperelasztikus kompozitok vizsgálata, összetett technológiai folyamatok, így kovácsolás, forgácsolás szimulációja.”¹⁰ Jelen dolgozatban azonban a könyöksajtolás és az ennek a során alkalmazott könnyűfémek vizsgálatával foglalkozom.

A MARC Student Edition limitált csomópont-számot tud feldolgozni, így korlátozott a kiértékelendő folyamatok, berendezések mérete, hiszen pl egy gépkocsikarosszériára már nem elég 5000 csomópont felvétele.

3.1. A modell felépítése

A könyöksajtolás végeselemes szimulációjának első lépése a geometria meghatározása:

*add_points

Ezzel a paranccsal pontokat tudunk létrehozni az adott rácsponton (akár paraméteresen, akár kijelölve), ezeket összekötve tudunk vonalakat létrehozni a geometriánkhoz, a következő paranccsal:

*add_curves

Miután létrehoztuk a sajtolószerszám geometriáját, a következő lépésben a munkadarabot hozzuk létre, melynek első lépése a csomópontok létrehozása:

*add_nodes

Ezeket a csomópontokat összekötve már létre tudunk hozni egy elemet, mely később a síkbeli munkadarabot képezi. Ehhez a művelethez a következő parancsot használtam:

¹⁰ VARINEX Kft [http://fea.varinex.hu/contents/view/120] [Letöltve:2012.11.05]

```
*add_elements
```

Miután megadtuk a sajtolócsatorna és a munkadarab geometriáját, ezután a munkadarab anyagminőségét állítjuk be. Jelen esetben egy alumíniumötvözet tulajdonságait használjuk.

```
*new_mater standard *mater_option general:state:solid
*mater_param structural:youngs_modulus 70e3
*mater_param structural:poissons_ratio 0.33
*mater_option structural:plasticity:on
*mater_option structural:plasticity_database:marc
*mater_set_marc_plast_dbase_file asm_Alum_21.mat
*add_mater_elements
all_existing
```

Ezután beállítjuk az érintkező felületek tulajdonságait. A munkadarab deformálható lesz, a sajtolószerszám oldalfalait ideálisan merevre adjuk meg, azaz még rugalmas deformációt sem szenvednek. A nyomótüskét jelképező vonalat is merev testként állítjuk be, de lefelé mozgó sebességet adunk rá, így ezzel tudjuk szimulálni a szerszámmozgást. Fontos még megemlíteni, hogy a merev testeket síkban értelmezve be kell állítani az érintkezés irányát, ezt a „flip” paranccsal tehetjük meg.

```
*new_contact_body *contact_rigid
*remove_current_contact_body
*new_contact_body *contact_deformable
*add_contact_body_elements
all_existing
*new_contact_body *contact_rigid
*contact_option rigid_desc:discrete
*add_contact_body_curves
1
# | End of List
*new_contact_body *contact_rigid
*contact_option rigid_desc:discrete
*add_contact_body_curves
2
4
3
*new_contact_body *contact_rigid
*contact_value vy -1
*contact_value initvy -1
*contact_option rigid_desc:discrete
*add_contact_body_curves
5
*identify_contact *regen
*flip_curves
1
2
```

Következő lépésben a munkadarab újrahálózását állítjuk be, amelynek segítségével az alakváltozott részeket követhetjük nyomon. Az adaptív hálózási módszerek közül az ún. advancing front módszert alkalmazom, amely globális újrahálózást végez, így viszonylag nagy elemszámot eredményez.

```
*new_adapg *adapg_type advfront_quad
*adapg_option immediate_crit:on
*adapg_option penetration_crit:on
*adapg_option angle_dev_crit:on
*adapg_param adv_edge_len 0.07
*adapg_rmsh_body
cbody1
```

Ezután a terheléseket állítjuk be, amely 200 lépésből áll, és a munkadarab teljes hosszát átsajtoljuk a szerszámon. Fix lépéseket választunk, és az újrahálózást adjuk meg hivatkozásként.

```
*new_loadcase *loadcase_type struc:static
*add_loadcase_adapgs adapg1
*loadcase_value time 0.2
*loadcase_option stepping:fixed
*loadcase_value nsteps 5
*new_loadcase *loadcase_type struc:static
*add_loadcase_adapgs adapg1
*loadcase_option initstress:deviatoric
*loadcase_value time 0.500
*loadcase_option stepping:fixed
*loadcase_value nsteps 95
```

Mindezek végeztével a szimuláció tényleges végrehajtása következik. Itt a terhelést meg kell adni hivatkozásként, meg kell adni a maximális csomópontok számát, majd ki kell választani, mely jellemzőket szeretnénk látni az eredmény-fájlban, pl. az alakváltozási tenzor elemeit, az egyenértékű alakváltozást stb. Itt is meg kell jelölnünk az újrahálózást, majd kiválasztjuk a síkbeli modellezést. Ha minden jól ment, a szimuláció végrehajtódik, és az adatokat ki lehet elemezni.

```
*new_job *job_class structural @set($anl_class_job,true)
*add_job_loadcases lcase1
*add_job_loadcases lcase2
*job_param max_cont_nod 2000
*job_option opt_contact_eq:on
*add_post_var von_mises
*add_post_tensor cauchy
*job_option dimen:pstrain
*update_job
*monitor_job
*submit_job 1 *monitor_job
```

3.2. Parametrizálás

A parametrizálás segítségével egy univerzális szimulációt kapunk, melynek segítségével sajtolószerszámnál különböző könyök- csatornaszögeket, a munkadarabnál pedig különböző keresztmetszetet és hosszt adhatunk meg. Változókat a definiálás paranccsal hozhatunk létre:

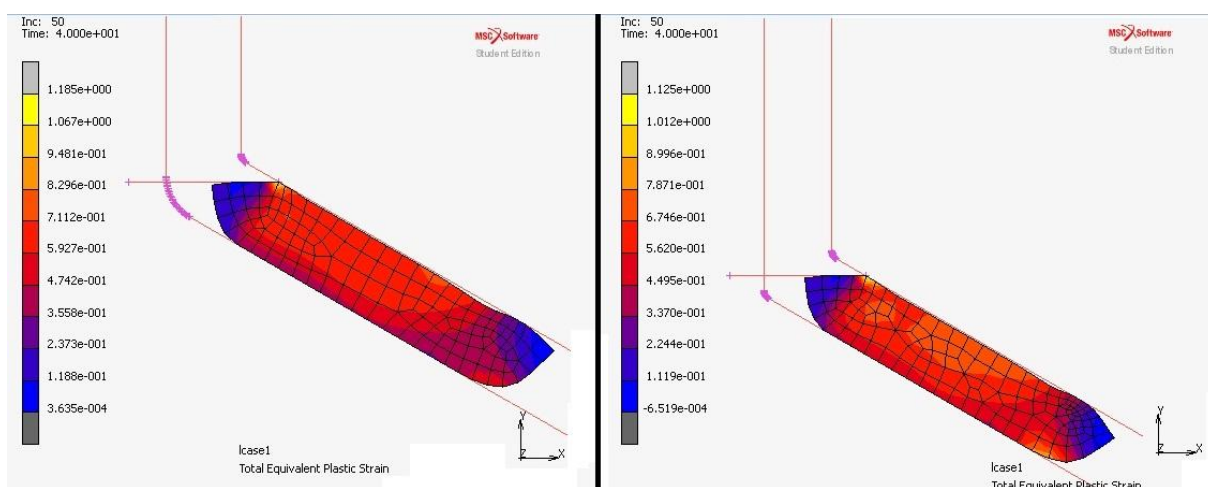
```
*define a 8
*define l0 100
*define le 80
*define fi 120
*define rb 1
*define rk 5
*define mu 0.1
```

A fenti listával a következő paramétereket definiáltam: a csatorna mérete (a), a bemenő és kimenő csatorna hossza (l_0), a munkadarab hossza (l_e), a csatornaszög (Φ), valamint a Coulomb súrlódási tényező (μ). A könyökszög helyett a modellezésben direkt módon használható belső és külső lekerekítéseket definiálom (r_b , r_k).

4. Eredmények

Egy 90°-os csatornaszögű, és egy 120°-os csatornaszögű könyöksajtolást szimuláltunk le, mindkét esetben egy kisebb, és egy nagyobb könyökszöggel, így össze tudjuk vetni a teljes egyenértékű alakváltozás és az alakváltozási sebesség mértékét.

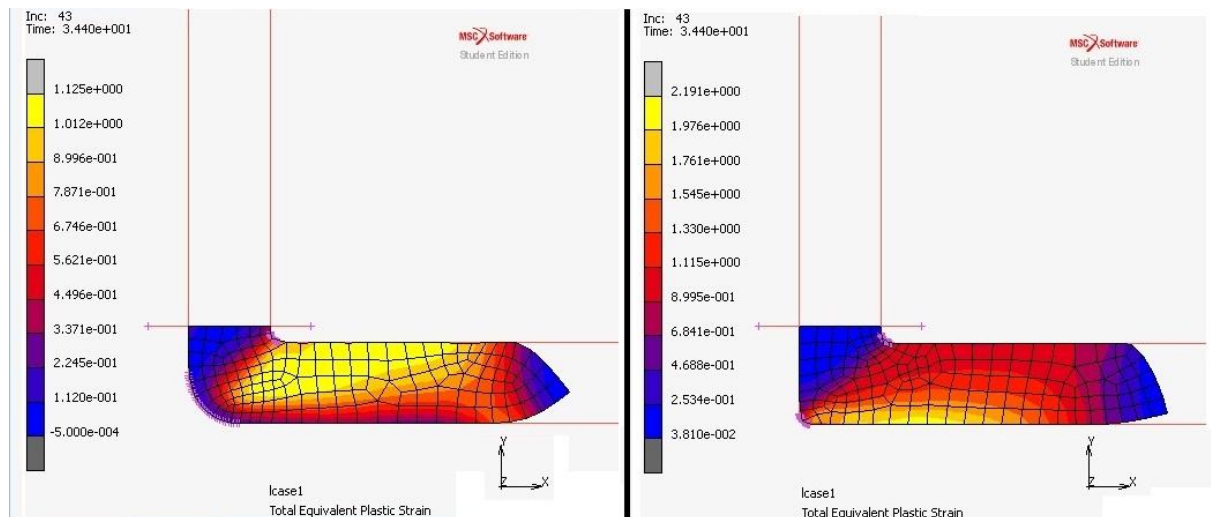
Elsőként a 120°-os sajtolószerszám két fajta könyökszögét vizsgáljuk meg. A szimulációról készült kép a következő ábrán látható:



5.ábra: Egyenértékű alakváltozás, 120°-os csatornaszög a/ nagy könyökszög; b/ kis könyökszög

Jól látható, hogy az egyenértékű alakváltozás egyenletesebb eloszlású kis könyökszög mellett. Nagy könyökszögnél a szerszám alsó élénél kisebb alakváltozást szenved a munkadarab. Minél kisebb a könyökszög, annál élesebben kirajzolódik a nyírási sík, és annál homogénebbé válik az anyag.

A következő ábrán a 90°-os sajtolószerszámot láthatjuk, szintén két fajta könyökszöggel:



6.ábra: Egyenértékű alakváltozás, 90°-os csatornaszög a/ nagy könyökszög; b/kis könyökszög.

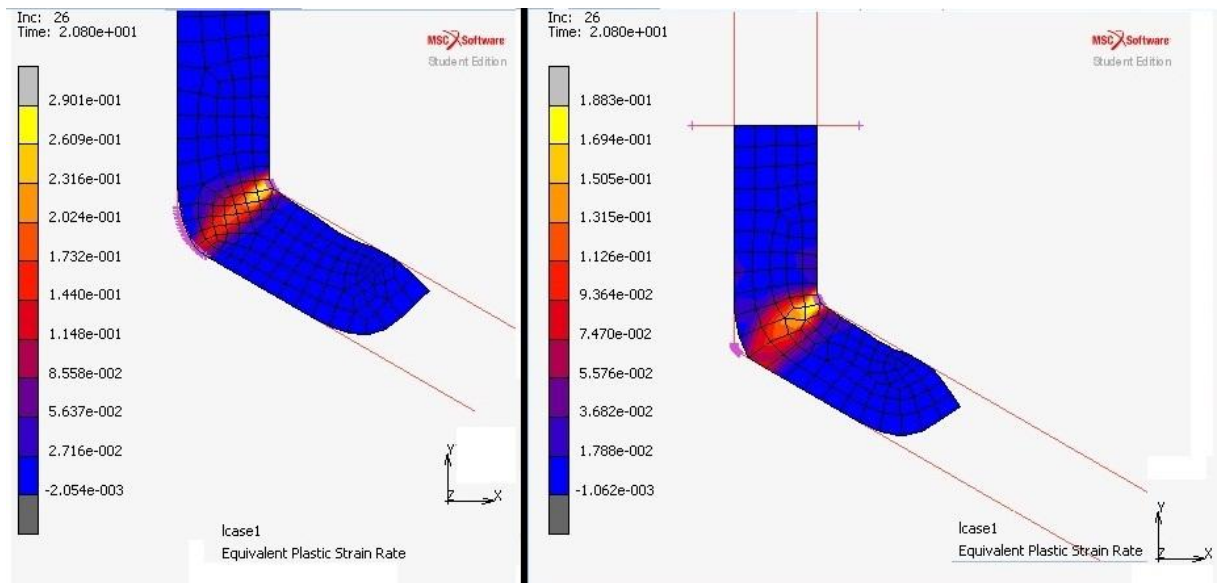
Ezen az ábrán is észrevehető, hogy a nagyobb könyökszögnek köszönhetően kevésbé homogén a feszültség eloszlása, azonban azt is meg kell állapítani, hogy jóval nagyobb alakváltozást szenvedett a munkadarab, mint a 120°-os csatornaszögű szerszámnál. Erre magyarázat ad a 2. egyenlet.

Segal¹¹ határozta meg az éles ($\psi = 0$) könyök esetére a nyírási alakváltozást az alábbi alakban:

$$\gamma = 2 \cdot \cot\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (3)$$

Az alakváltozás sebességének változása a 120°-os csatornaszögű sajtolószerszám eseténa 7. ábrán látható.

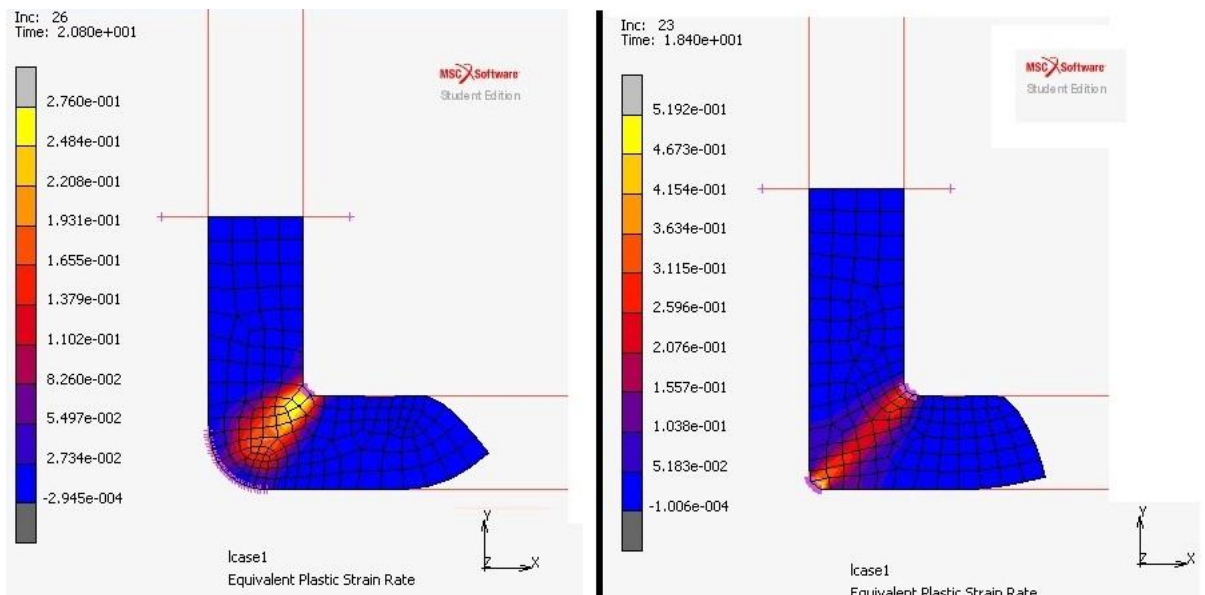
¹¹ V.M. Segal: 'Materials processing by simple shear', Materials Science and Engineering A197 (1995) 157-164



7.ábra: Alakváltozási sebesség 120°-os csatornaszögnél a/ nagy könyökszög b/kis könyökszög

Ezen az ábrán a MARC Student verzióból adódó hátrányból, a korlátozott csomópontszámból kifolyólag közel azonosnak tűnik a deformációs zóna mérete, valamint a nagyobb könyökszögből adódóan a külső íven kisebb alakváltozási sebesség lép fel.

A következő ábrán a 90°-os csatornaszögű sajtolószerszámon vizsgáljuk meg az alakváltozási sebesség alakulását, szintén két fajta könyökszöggel:

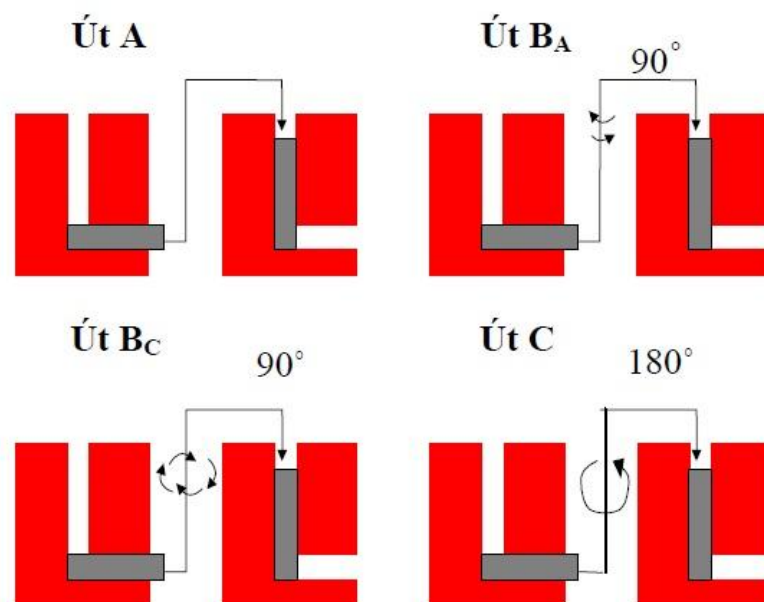


8.ábra: Alakváltozási sebesség 90°-os csatornaszögnél a/ nagy könyökszög b/kis könyökszög

A 90°-os csatornaszögű sajtolószerszám szimulációján már markánsabban látszik az elmélet igazolódása, azaz a minél kisebb könyökszög esetén nagyobb nyírás van, és a fő nyírási sík is élesebben rajzolódik ki.

Az elkészült modellek alapján megállapítható, hogy nagy könyökszög esetén az egyenértékű alakváltozás mértéke nem egyenletes eloszlású az anyag keresztmetszetében.

Ennek a problémának a megoldására találták ki a különböző utakat, amiket a szakirodalom „route”-nak nevez. Mivel a végleges struktúrát többszöri átsajtolással érjük el, ezért két lépés közt megváltoztatjuk a nyírási sík helyzetét. Ezt különböző utakkal tehetjük meg, 4 fajtát különböztetünk meg:



9.ábra: Különböző alakítási utak¹²

Ezeknek az alakítási utaknak a segítségével még jobban homogenizálhatjuk az anyag mikrostruktúráját. A végeleemes síkbeli modell alapján a „Bc” és a „C” útvonalak a legmegfelelőbbek.

¹² Krállics György: Intenzív képlékeny alakítással előállított ultra-finomszemcsés anyagok, Budapest, 2004

5. Következtetések

A TDK dolgozatom célja a könyöksajtolás végeselemes szimulációjának a létrehozása, melynek segítségével megállapíthatjuk, mely sajtolószerszám-geometriával érhető el a leghomogénebb anyagtulajdonságú munkadarabok. Az alábbi következtetések vonhatók le:

1. A könyöksajtolás síkbeli végeselemes modelljét készítettem el. Paraméteres procedure fájlt hoztam létre, ahol a következő paraméterek változtathatók: a csatorna mérete (a), a csatornaszög (Φ), a könyökszög (Ψ), a munkadarab hossza (l_e), valamint a Coulomb súrlódási tényező (μ). A könyökszöget közvetett úton, a külső lekerekítési sugár megadásával lehet megadni.
2. Az adaptív hálózási módszerek közül az ún. advancing front módszert alkalmaztam, amely globális újrachálózást végez, így viszonylag nagy elemszámot eredményez, valamint ott is finomítja a hálót, ahol nem lenne szükséges.
3. Az átsajtolás szimulációját lefuttattam a következő esetekre: $a = 8 \text{ mm}$, $l_e = 80 \text{ mm}$, $\mu = 0$,
 - a. $\Phi = 90^\circ$, $\Psi = 0^\circ$
 - b. $\Phi = 90^\circ$, $\Psi \approx 30^\circ$
 - c. $\Phi = 120^\circ$, $\Psi = 0^\circ$
 - d. $\Phi = 120^\circ$, $\Psi \approx 30^\circ$

A korlátozott csomópontszámú verzió miatt viszonylag pontatlan eredményeket kaptam az elméleti eredményekkel összehasonlítva, de a különböző esetek összehasonlíthatók.

4. Az alakváltozási mező homogenitása a legjobb az a. és c. esetekben volt, a kis lekerekítésnél. A lekerekítési sugár (könyökszög) növelésével a külső íven kisebb mértékű alakváltozást lehet elérni. A legnagyobb alakváltozás a 90° -os csatornaszögnél érhető el.

6. Irodalomjegyzék

- [1] V.M. Segal: 'Materials processing by simple shear', Materials Science and Engineering A197 (1995) 157-164
- [2] Krállics György: Intenzív képlékeny alakítással előállított ultra-finomszemcsés anyagok, Budapest, 2004
- [3] Fodor Árpád: AlMgSi1 ötvözet intenzív képlékenyalakítása, PhD értekezés, Budapest, 2003
- [4] Yoshinori Iwahashi, Jingtao Wang, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. Langdon: Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the processing of ultrafine grained materials, Scripta Materialia Vol. 35, No. 2 (1996) pp. 143-146
- [5] Ruslan Z. Valiev: *Nanomaterial advantage*, Nature 419 (31 October 2002) pp. 887-888
- [6] Ruslan Z. Valiev: *Paradoxes of severe plastic deformation*, Advanced Engineering Materials 5 (2003) pp. 296-300
- [7] Dr. Gonda Viktor, Dr. Verő Balázs, Valenta László: Ultrafinom és nanoszerkezetű tömbi anyagok szemcseszerkezete és tulajdonságai közötti kapcsolat, továbbá a domináns hatásmechanizmusok kutatása, Dunaújvárosi Főiskola, 2012
- [8] VARINEX Kft [<http://fea.varinex.hu/contents/view/120>] [Letöltve:2012.11.05]

7. Rövid összefoglalás

KÖNYÖKSAJTOLÁS VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

Nagy Pál

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész És Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, III. évfolyam

dr.Gonda Viktor, egyetemi docens

Kulcsszavak: intenzív képlékenyalakítás, könyöksajtolás, alakváltozás, nanokristályos anyagok

A TDK dolgozat fő témája az intenzív képlékenyalakítás egyik módja, a könyöksajtolás végeselemes módszerekkel való vizsgálata.

A dolgozat első részében általánosan bemutatásra kerülnek az intenzív képlékenyalakító eljárások, a nanokristályos anyagok létrehozásának elmélete, valamint az alkalmazott technológiák. Ezek a technológiák javarészt nyíró alakváltozások igénybevételével valósulnak meg az anyag szerkezetében azok az átalakulások, melyek során (több lépésben) a durva szemcsés anyagból ultra-finomszemcsés, jóval kedvezőbb anyagjellemzőkkel rendelkező terméket állítunk elő.

Ezután következik a leggyakrabban használt eljárás, a könyöksajtolás (angol rövidítése: ECAP) bemutatása, melynek során az anyagot tömör rúd alakban két egymással valamilyen szöget bezáró azonos keresztmetszetű csatornán nyomják át, és a csatornák metsződésénél a fémkristályok tiszta nyíró igénybevétel hatására elcsúsznak, így a szemcsék finomodnak. Ezzel az eljárással a mechanikai tulajdonságokat lehet szabályozni, és nagymértékű szilárdságnövekedést lehet elérni.

Az ECAP eljárás legfőbb jellemzői a csatornaszög és a könyökszög, amelyek nagyban meghatározzák az alakváltozást és ezáltal a tulajdonságváltozás mértékét. A könyöksajtolás során létrejövő alakváltozások kiszámításához szükséges képleteket, különböző csatornaszögek és könyökszögekre vonatkozóan bemutatjuk.

A dolgozat második felében bemutatjuk a végeselemes modellezéssel megvalósított síkbeli könyöksajtolás-modellt, 90° -os ϕ csatornaszöggel rendelkező sajtolószerszámmal. A modell létrehozásához az MSC Software - Marc Mentat 2012 Student Edition programot használjuk fel. Ennek során a létrehozott szimuláció segítségével kiértékelhetjük a nyírási sík helyzetét, az adott fém igénybevételeit, a szerszámot érő kopásokat, valamint az anyagban létrejövő feszültségeket.

8. Short Abstract

Finite Element Modeling of Equal Channel Angular Pressing

Pál Nagy

Óbuda University, Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering

In this essay, I present a simulation an Equal Channel Angular Pressing process with MARC Student Edition, which is a FEM (Finite Element Method) program. In the first part, an overview is given about the ultrafine-grained and nanograined materials theory, followed by the specific technologies, which can produce these materials. These technologies are based on shear strain, which transforms in several steps the original texture into an ultrafined-grain material, with improved mechanical properties, particularly a large increase in strength.

In the second part of the essay, I present the process of setting up an ECAP simulation in the FEM program MARC, step by step. It will be a planar simulation, with a 90° angle of intersection of the two channels. Finally, the results are evaluated, for example: deformation field described by the equivalent strain.

9. Melléklet

A MARC-ban készített process fájl:

```
| konyoksajtolas parameteres model
| 2012 bgk.uni-obuda.hu
| [L]=mm [F]=N [t]=s

*new_model yes
*reset
*show_view 1
*reset_view

*define eps 0.0001
*define a 8
*define l0 100
*define le 80
*define fi 120
*define rb 1
*define rk 5
*define v0 5
*define mu 0.1

*add_points
-a/2 l0 0
-a/2 -a/2 0

*add_curves
1
2

*set_duplicate_translation x a
*duplicate_curves
1
# | End of List
*set_duplicate_translation x 0

*set_duplicate_rotations
*set_duplicate_rotation z -fi
*duplicate_curves
1
2
# | End of List

*set_curve_type fillet
*add_curves
2
3
rb

*add_curves
*fill_view
1
4
rk

*fill_view
```

```

*add_elements
node( -a/2, a/2, 0)
node( a/2, a/2, 0)
node( a/2, le, 0)
node(-a/2, le, 0)

*set_curve_type line
*add_points
-a le 0
a le 0

*add_curves
33
34

*new_geometry
*geometry_type mech_planar_pstrain
*add_geometry_elements
all_existing
#

*new_material standard *material_option general:state:solid
*material_param structural:youngs_modulus
70000
*material_param structural:poissons_ratio
0.33
*material_option structural:plasticity:on
*material_option structural:plasticity_database:marc
*material_set_marc_plast_dbase_file asm_Alum_21.mat

*add_material_elements
1
# | End of List

*new_contact_body
*contact_deformable

*contact_value friction
mu

*add_contact_body_elements
all_existing

|also vonal
*new_contact_body
*contact_rigid
*contact_option rigid_desc:discrete
*contact_value friction mu
*add_contact_body_curves
9
8
10
# | End of List

|felso vonal
*new_contact_body

```

```

*contact_rigid
*contact_value friction mu
*contact_option rigid_desc:discrete
*add_contact_body_curves
  6
  5
  7
# | End of List

*new_contact_body
*contact_rigid
*contact_option rigid_desc:discrete
*contact_option control:velocity
*contact_value vy
-1
*contact_value initvy
-1
*add_contact_body_curves
  11
# | End of List

*flip_curves
  9
  7
  8
# | End of List


*new_adapg *adapg_type advfront_quad
*adapg_type advfront_quad
*adapg_option immediate_crit:on
*adapg_option penetration_crit:on
*adapg_option angle_dev_crit:on
*adapg_param adv_edge_len
1
*adapg_rmsh_body
cbody1


*new_loadcase *loadcase_type struc:static
*add_loadcase_adapgs adapg1
*loadcase_value time
le
|*loadcase_option initstress:deviatoric


*element_type 11
all_existing


*new_job *job_class structural
*add_job_loadcases lcase1
*job_param max_cont_nod
2000
*job_option opt_contact_eq:on
*job_option frictype:coulomb_roll
*job_option dimen:pstrain

```

```
*job_option strain:large

*add_post_tensor stress
*add_post_tensor strain
*add_post_tensor pl_strain
*add_post_tensor el_strain
*add_post_var von_mises
*add_post_var eel_strain
*add_post_var tepl_strain
*add_post_var epl_strain_rt
```