Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Tézisfüzet

Csőszerű alkatrészek előrefolyatása ultrafinom-szemcsés anyagból

Készítette
Ahmed S M Agena

Témavezető: Dr. Krállics György

2008. szeptember

Absztrakt

A dolgozat három részből áll.Az első rész az intenzív képlékenyalakító (IKA) eljárásokat foglalja össze, különös tekintettel a könyöksajtolásra (ECAP). A dolgozatban vizsgált AlMgSi ötvözet mikroszerkezete könyöksajtolással, C alakítási úton lett formálva . A szerkezetváltozás mechanikai hatását 1x , 4x és 8x átsajtolás után vizsgáltuk.

A második rész az Al-6082 nanoszerkezetű anyag alakíthatósági vizsgálatával foglalkozik. A zömítőpróbatestek a könyöksajtolt darabokból 3, egymással derékszöget bezáró irányban lettek kimunkálva. Az egyik irány a könyöksajtolt darab hossztengelye. A zömítóvizsgálatok során mindegyik irányban meghatároztuk a valódi feszültség-valódi alakváltozás görbéket. A mérések szobahőmérsékleten 2 mm/min zömítő sebesség mellett történtek. Az alakítás során az eredetileg hengeres darabok kör keresztmetszetei ellipszis-szerűvé alakultak. A magasság/átmérő viszony csökkentésével a hordósodás mértéke csökkent. A három irányban meghatározott folyásgörbék feldolgozása során az anizotrop viselkedést jellemző paramétereket, valamint az alakíthatósági határértékeket is kiszámoltuk. Az eredmények azt mutatták, hogy az ECAP hatására megnövekedett szilárdság jelentős képlékenységi tartalékkal párosult.

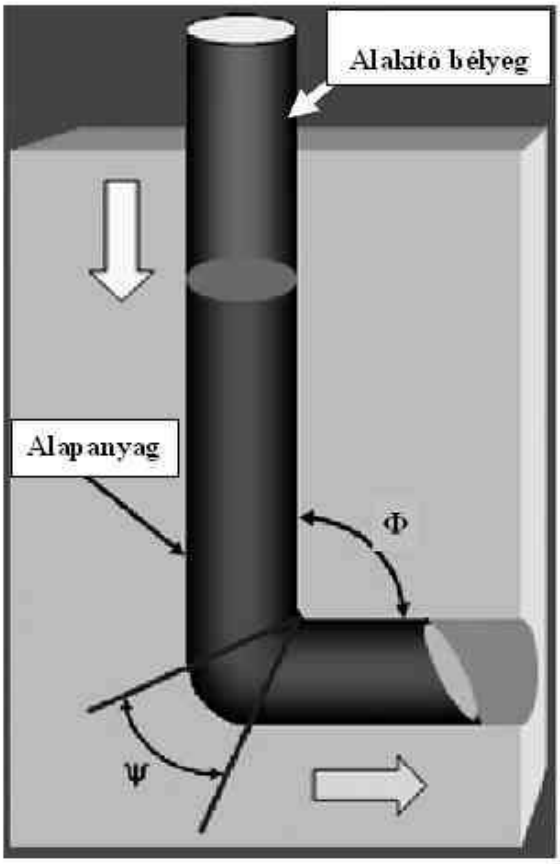
A harmadik rész a csőextrudálás folyamatával foglalkozik, ahol az előzetesen könyöksajtolással alakított anyag tovább feldolgozása történik. A ∅ 15 mm tömör anyagból ∅ 10,8 és 6 mm belső mérettel rendelkező csőszerű alkatrész készült. Az alakítás szobahőmérsékleten 2 mm/min sebességgel folyt. Az alakító erő és a bélyegelmozdulás regisztráltuk. A feldolgozás az anyag 4 különböző állapotában történt. Lágyított, 1x, 4x és 8x könyöksajtolt darabokat használtunk. A legnagyobb alakító erőt és a legnagyobb keménységet a 8x sajtolt darab tovább feldolgozása során kaptunk. A kísérletet végeselemes modellezéssel ellenőriztük, amely a méréshez közeli eredményt szolgáltatott.

1. Bevezetés

Az intenzív képlékeny alakítási (IKA) eljárásokat tömbi nanokristályos anyagok előállítására alkalmazzák. A nagymértékű nyíró igénybevétel hatására a mikroszerkezet finomszemcséssé válik. Az IKA eljárások különösen kedvezőek, mivel porozitásmentes anyag állítható elő nagyméretű termék esetében is.

Tömbi nanokristályos anyag több módszerrel is előállítható, ezek közül néhány általánosan elterjedt. Ebben a munkában a könyöksajtolás (ECAP) módszerét alkalmaztuk ultrafinom-szemcsés (UFSZ) Al-6082 előállítására.

Az ECAP eljárás során rúd formájú darabot sajtolnak keresztül egy állandó keresztmetszetű, könyököt tartalmazó szerszámon (1. ábra). Az anyagot nagy nyíró igénybevétel éri, amikor keresztül kényszerítik az egymással 90°-os szöget bezáró csatornákon és ennek hatására alakulnak ki a finom szemcsék.



1. ábra ECAP szerszám

Az így készített anyagok anizotrópok, vagyis irányfüggő mechanikai tulajdonsággal rendelkeznek.

A dolgozat bemutatja az ECAP eljárással készített ("C" út, 1, 4 és 8 átnyomás), nanoszerkezetű Al-6082 ötvözet hideg alakíthatósági vizsgálatát.A próbatest hossz/átmérő arány 8, az átmérő 16 mm. Az alakíthatóság meghatározása érdekében zömítő vizsgálatokat végeztünk. A mérések során megfigyeltük, hogy az alakított anyag a különböző irányokban

más-más tulajdonságokat mutatott. ECAP eljárással készült anyagok esetében az alakíthatóság függ az átnyomások számától, az alakítási út típusától

Az alakíthatóságnak határt szab az első alakítási repedés megjelenése. A képlékeny törés előrejelzése a technológia szabályozását teszi lehetővé, aminek a segítségével hibamentes darabot gyárthatunk. Közismert, hogy a nagyobb képlékenység jobb alakíthatóságot jelent. Az évek során több képlékeny törési kritériumot javasoltak, amelyek két csoportba oszthatók: (a) anyagszerkezet változásán (mikroüreg képződés, növekedés és egyesülés) alapuló; (b) empirikus és félempirikus modellek. Ebben a munkában a második csoportból több kritériumot használtunk az alakíthatósági határ meghatározásához.

2. Célkitűzés

A munkának három fő célja van:

1.Nanokristályos Al6082 anyag előállítása a kereskedelemben kapható Al6082-es anyagból, a következő lépések szerint.

- Az IKA eljárások áttekintése és a feladat szempontjából legelőnyösebb módszer kiválasztása.
- Az ECAP eljárás vizsgálata a nanokristályos anyag előállításához.

2 Mechanikai tesztekkel az anyag tulajdonságának vizsgálata, amely során meghatározhatók a következők.

- Valódi feszültség-valódi alakváltozás görbék
- Az ECAP eljárással készült nanokristályos Al6082 anyag alakíthatósági határa.
- Hu és Hill elmélete alapján az anizotróp viselkedést leíró paraméterek

3. Folyatási eljárás alkalmazása az ECAP módszerrel készült féltermék csőszerű alkatrésszé való továbbfeldolgozására. Ezekhez a műveletekhez meghatároztuk illetve elkészítettük

- A gyártáshoz használt anyagok technológia paramétereit
- Az alakítási folyamat végeselemes modelljét és összevetését a mérési eredményekkel.

Kísérleti munka

3.1. ECAP eljárással készült, nanokristályos Al6082 ötvözetek mechanikai tulajdonságai

Ebben a részben a nanokristályos szerkezetű Al6082 ötvözet mechanikai viselkedését elemeztük zömítő vizsgálatokkal. A vizsgálatokhoz felhasznált próbatestek ECAP eljárással

készült darabokból három, egymásra merőleges anyagi irányából lettek kimunkálva. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten végeztük, az alakítás sebessége 2 mm/min volt. Minden próbatest valódi feszültség-valódi alakváltozás görbéjét meghatároztuk a három anyagi iránynak megfelelően. Számítógépes módszerrel a mérési pontokra görbéket illesztettünk a feszültségi és alakváltozási paraméterek meghatározásához.

A zömített darabokon jól látszott az anizotróp tulajdonság hatása, mivel keresztmetszetük ellipszis alakúvá deformálódott.

3.1.1. A valódi feszültség-valódi alakváltozás görbék meghatározása

A folyási görbék meghatározásához ki kell számítanunk a valódi feszültséget és valódi alakváltozást az alábbi kifejezések segítségével.

A valódi feszültség:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A_i} \tag{1}$$

ahol P_i az aktuális erő és A_i az aktuális keresztmetszet, amelyet a térfogatállandóságból számíthatunk ki:

$$A_0 h_0 = A_i h_i \text{, így } , A_i = \frac{A_0}{h_i} h_0 \tag{2}$$

ahol A_0 és h_0 a próbatest kiinduló keresztmetszete és magassága. Ezért,

$$\sigma_i = P_i \times \frac{h_i}{A_0 h_0} \tag{3}$$

A valódi nyúlás az alábbi egyenlet alapján határozható meg.

$$\varphi_i = \ln \frac{h_0}{h_i} \tag{4}$$

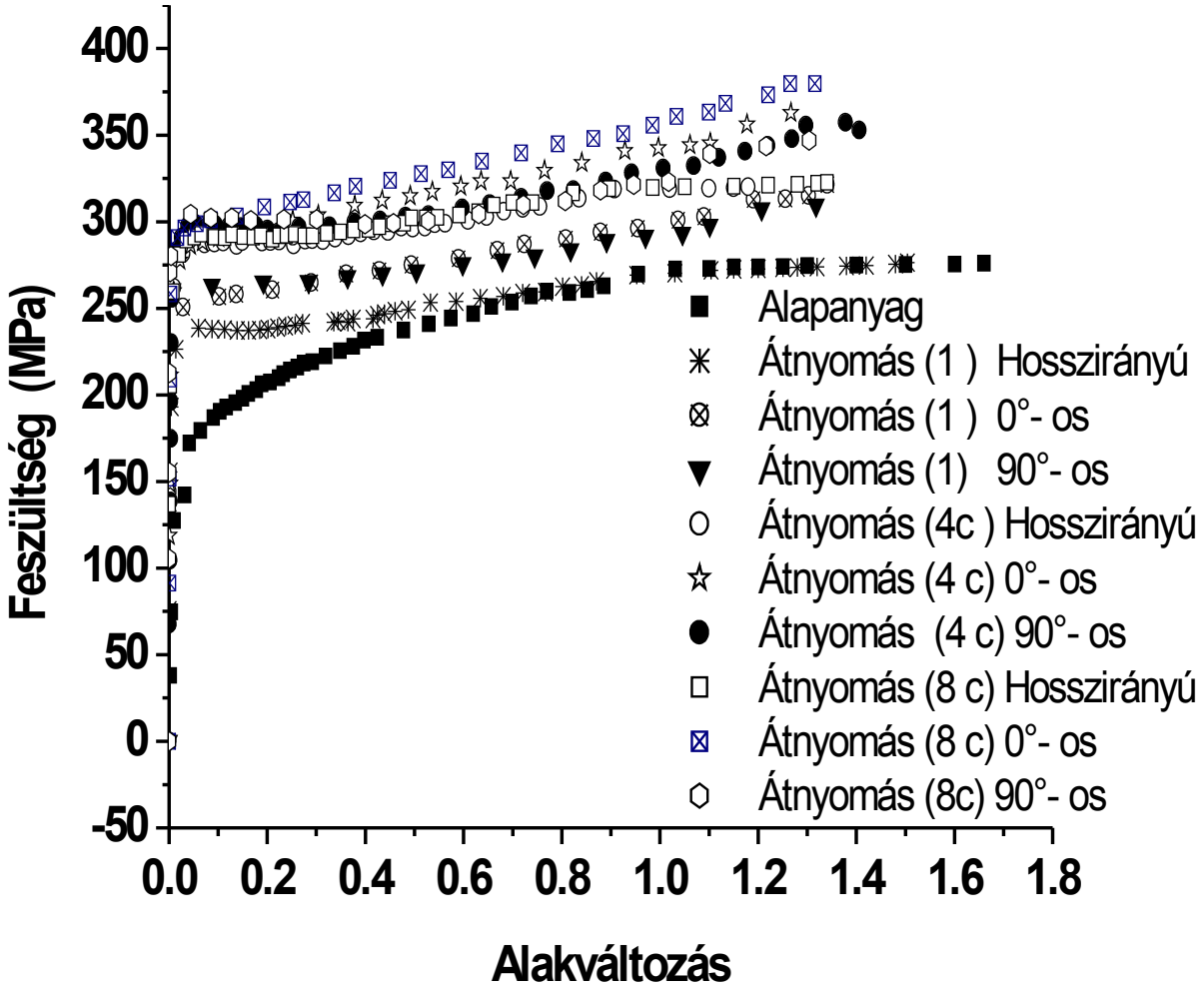
A valódi feszültség – valódi alakváltozás görbéket a 2. ábra mutatja.

3.1.2. Görbeillesztés a valódi feszültség – valódi alakváltozás pontpárokra

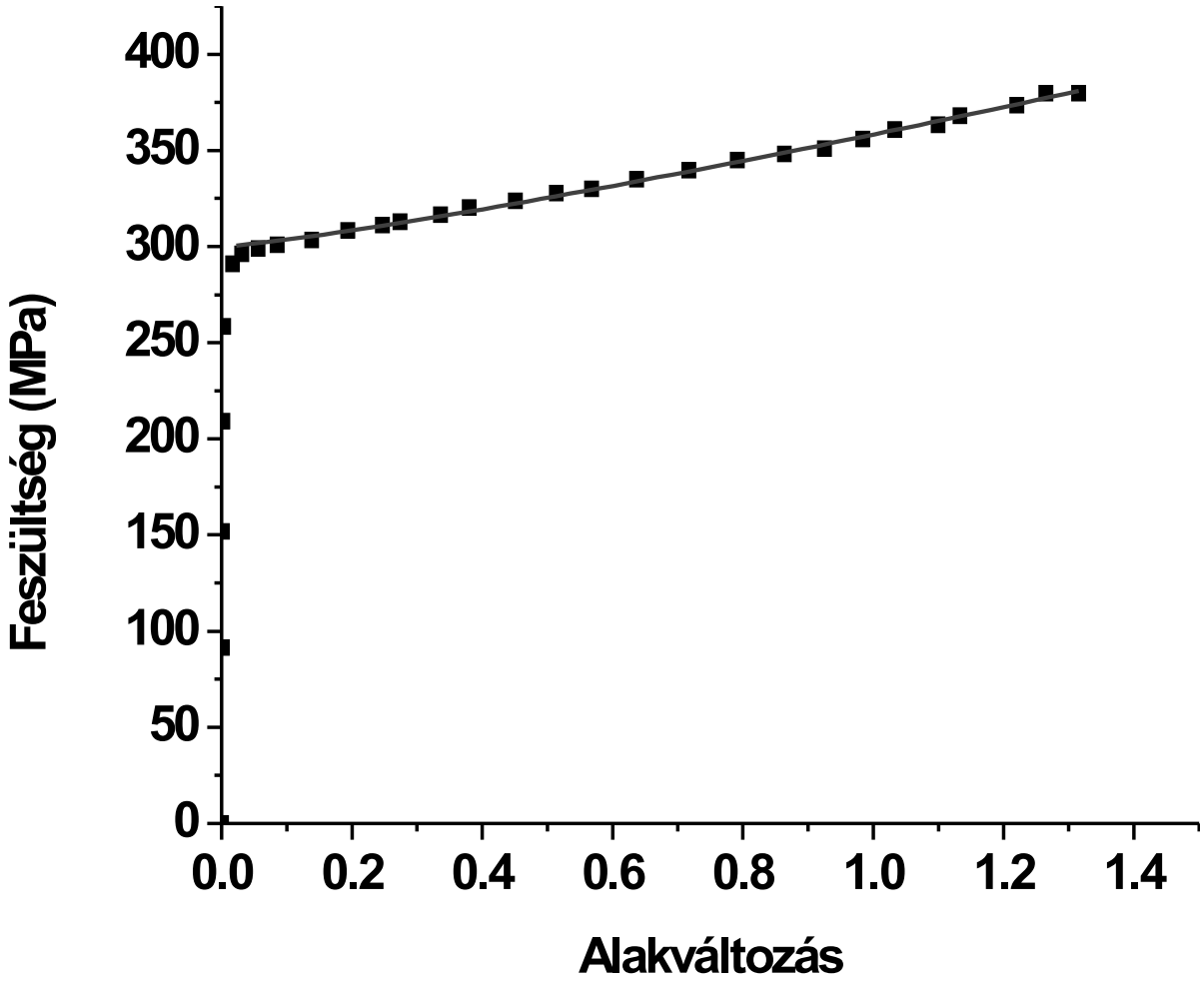
Miután megrajzoltuk a valódi feszültség – valódi alakváltozás pontpárokat, számítógéppel görbét illesztettünk rájuk az alábbi függvénynek megfelelően.

$$\sigma = b_1 + b_2 \varphi^{b_3} \tag{5}$$

ahol b_1, b_2, és b_3 illesztési konstansok. A 8x átsajtolt anyag illesztett valódi feszültség-valódi alakváltozás görbéje a 90°-os irányban a 3. ábrán látható.



2. ábra Valódi feszültség – valódi alakváltozás görbék



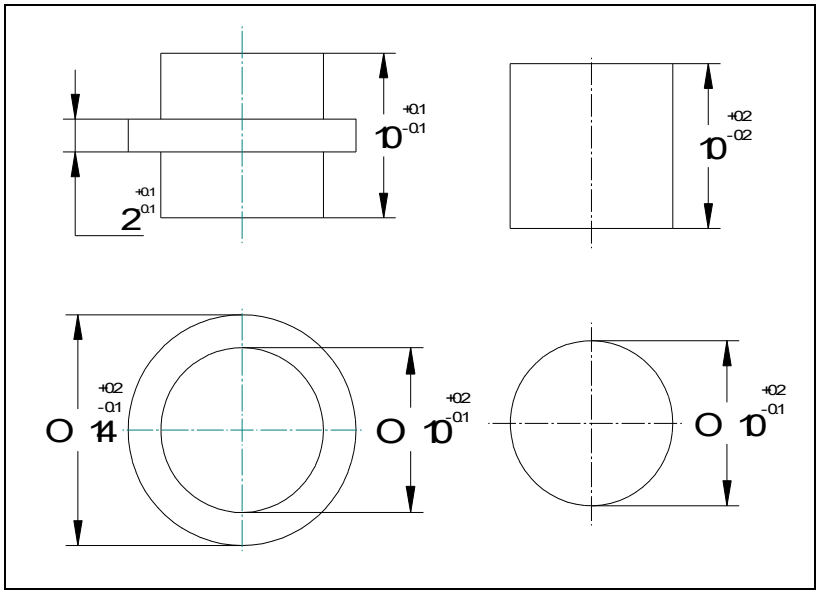
3. ábra Illesztett görbe – 8x átnyomás,90°-os irány

A nyomóvizsgálatok során megfigyeltük, hogy:

- A nanokristályos szerkezetű Al6082 ötvözet folyási görbéje az átnyomások számától és a próbatest kivétel irányától is függ.
- A valódi feszültség 0°-os irányban nagyobb, mint a másik két irányban, míg az alakváltozási keményedés a 90°-os irányban a legnagyobb.

3.2. ECAP eljárással gyártott Al6082 ötvözetek alakíthatósága

Ez a rész az ECAP eljárással előállított Al6082 anyagú, nanokristályos ötvözet alakíthatóságát írja le. A nanokristályos anyagok anizotróp viselkedésének leírására a lemezekre kifejlesztett anyagtörvényt használtuk fel. Az anizotrópitást leíró paramétereket hengeres és galléros próbatesteken végzett nyomóvizsgálatokból határoztuk meg (4. ábra), amelyeket az ECAP-pal gyártott félgyártmányok három anyagi tengelyének megfelelő irányokból vettünk ki.



Minden méret mm-ben értendő

4. ábra Hengeres és galléros próbatestek geometriai adatai

3.2.1 Anizotróp folyási feltétel

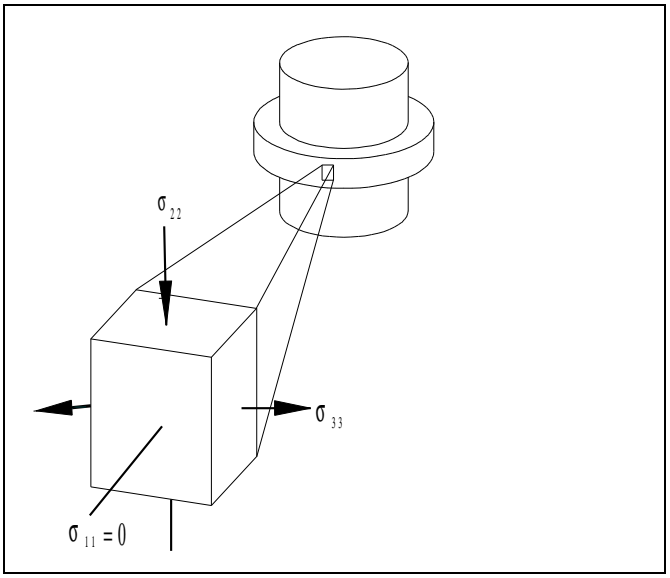
Több kritériumot is kidolgoztak az anizotrop anyagok képlékeny viselkedésének előrejelzéséhez. Ebben a munkában először a Hu folyási kritériumot alkalmaztuk, amit lemezekre dolgoztak ki és Fodor Árpád [4] fejlesztette tovább, tömbi anyagokon való alkalmazásra. A kritérium alapegyenlete:

$$
\begin{aligned}
f = {} & X_1(\sigma_{11}-\sigma_{33})^4 + X_2(\sigma_{11}-\sigma_{33})^3(\sigma_{22}-\sigma_{33}) + X_3(\sigma_{11}-\sigma_{33})^2(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 + \\
& + X_4(\sigma_{11}-\sigma_{33})(\sigma_{22}-\sigma_{33})^3 + X_5(\sigma_{22}-\sigma_{33})^4 + X_6(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)\times \\
& \left[(\sigma_{11}-\sigma_{33})^2 + (\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 - (\sigma_{11}-\sigma_{33})(\sigma_{22}-\sigma_{33})\right] + X_7(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)^2 - 1 = 0
\end{aligned}
\qquad (6)
$$

ahol: X_1, X_2,……, X_7 az anizotrop viselkedést leíró paraméterek.

A galléros és hengeres próbatestek esetében, azok felszínén a felszínre merőleges feszültségkomponens (σ_{33}) zérus és mivel a felületen nyíró igénybevétel sem ébred a feszültségtenzor nyírást leíró komponensei is zérusak.

$$\sigma_{11} = \sigma_{12} = \sigma_{23} = \sigma_{31} = 0$$



5. ábra A feszültségkomponensek iránya a próbatestek szabad felületén

A fenti feszültségkomponenseket beírva az (6) egyenletbe az ismeretlen, anizotrópitást leíró paraméterek száma hétről ötre csökkent és ez alábbi egyenletet eredményezte:

$$f = X_1(\sigma_{33})^4 - X_2(\sigma_{33})^3(\sigma_{22} - \sigma_{33}) + X_3(\sigma_{33})^2(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 - \\ - X_4(\sigma_{33})(\sigma_{22} - \sigma_{33})^3 + X_5(\sigma_{22} - \sigma_{33})^4 - 1 = 0 \tag{7}$$

Másfelől az alakváltozási sebesség három komponense kiszámítható a Levy-Mises anyagtörvényből:

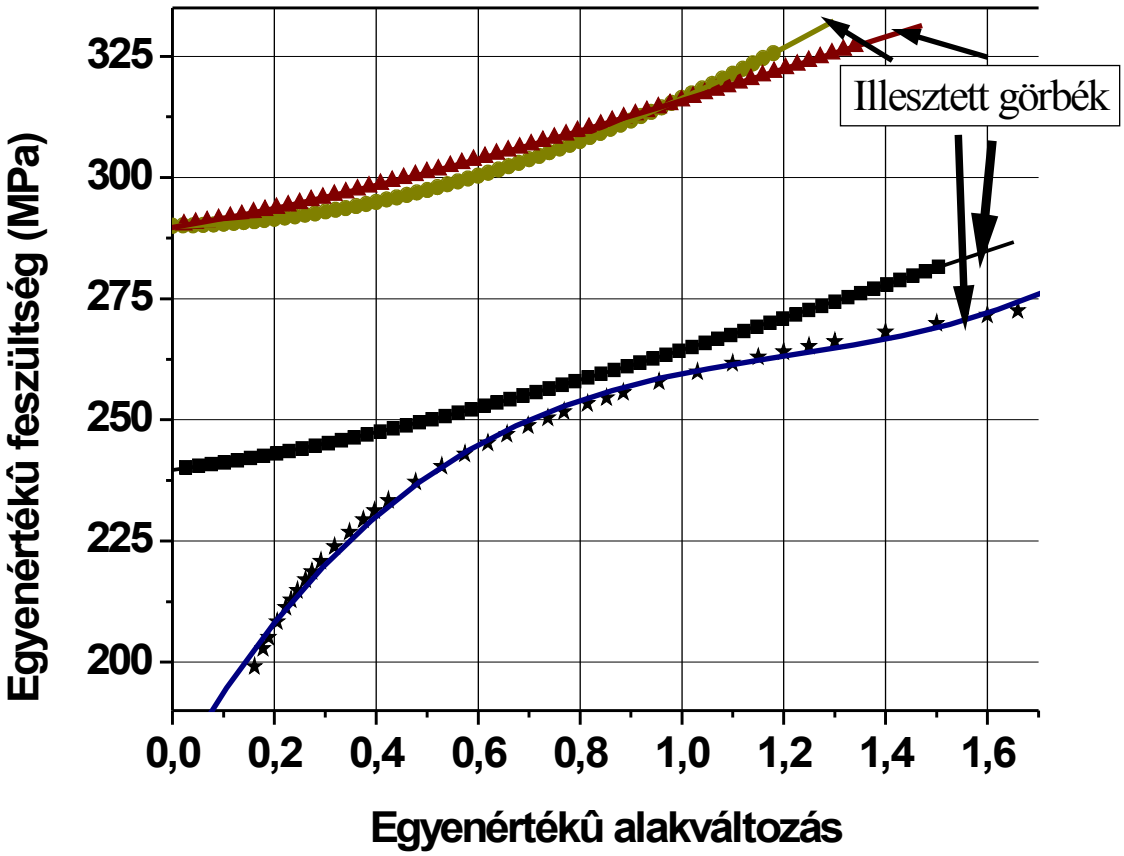
$$\dot{\varepsilon}_{ii} = \dot{\lambda}_i \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ii}} \tag{8}$$

A (7) és (8) egyenletek alkalmazásából a következőt kapjuk:

$$\dot{\varepsilon}_{22} = \dot{\lambda}_i(-X_2(\sigma_{33}^3) + 2X_3\sigma_{33}^2(\sigma_{22} - \sigma_{33}) - 3X_4\sigma_{33}(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + \\ + 4X_5(\sigma_{22} - \sigma_{33})^3) \tag{9}$$

$$\dot{\varepsilon}_{33} = \dot{\lambda}_i (4\sigma_{33}^3 - 3X_2\sigma_{33}^2(\sigma_{22} - \sigma_{33}) + X_2\sigma_{33}^3 + 2X_3\sigma_{33}(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 - \\ - 2X_3\sigma_{33}^2(\sigma_{22} - \sigma_{33}) - X_4(\sigma_{22} - \sigma_{33})^3 + X_4\sigma_{33}(\sigma_{22} - {}_{33})^2 - \\ - 4X_5(\sigma_{22} - \sigma_{33})^3) \tag{10}$$

Az egyenértékű feszültség és egyenértékű alakváltozás görbék 6. ábrában láthatók. Az illesztéseket ismét egy speciális számítógépes programmal végeztük el.



6. ábra Az egyenértékű feszültség – egyenértékű alakváltozás pontokra illesztett görbék

A kísérletek eredményeiből látható, hogy a 4x átnyomott anyag egyenértékű feszültség görbéje közel esik a 8x átnyomotthoz. Az egyenértékű feszültség görbe szintje az alapanyag esetében volt a legkisebb. A törési kritérium állandóinak a vizsgálatából következett, hogy a 8x átnyomással készült nanokristályos anyagoknak volt a legnagyobb a η értéke.

3.3. A nanokristályos Al6082 anyagok képlékeny törése

Ebben a fejezetben nyolc képlékeny törési kritériumot vizsgáltunk meg nanokristályos Al6082 ötvözetekből készült hengeres és galléros próbatestek szobahőmérsékleten végzett nyomóvizsgálatával. A próbatesteket egy, négy és nyolc átnyomással készült hengeres félgyártmányból három, egymásra merőleges anyagi irányából vettük ki. A nanokristályos anyagok képlékeny viselkedésének leírásához a Hill anyagtörvényt alkalmaztuk.

3.3.1. A Hill-féle képlékeny folyási kritérium állandóinak számítása

Minden egyes képlékeny törési kritérium megköveteli a feszültségi állapot és az effektív feszültség kiszámítását. A számításokhoz használt Hill folyási feltétel a következő alakú:

$$\boxed{\begin{aligned} &F(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2 + H(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2 \\ &+ 2L\sigma_{23}^2 + 2M\sigma_{31}^2 + 2N\sigma_{12}^2 = 1 \end{aligned}} \tag{11}$$

ahol *F,G,.....,N* - anizotrópia paraméterek.
Mivel a vizsgált pontokban a nyíró feszültségek zérusok, ezért a fenti egyenlet a következő alakú lesz:

$$\boxed{F(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2 + H(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2 = 1} \tag{12}$$

Figyelembe véve,hogy zömítés során a próbatest egytengelyű feszültségállapotban van ($\boxed{\sigma_{11}=\sigma_{22}=0}$), ezzel az egyenértékű feszültség

$$\boxed{\bar{\sigma}_{eq} = \left(\frac{\sqrt{3}\left[\sigma_{33}^2 (F+G)\right]}{2\sqrt{(FH+FG+GH)}} \right)^{\frac{1}{2}}} \tag{13}$$

Az egyenértékű alakváltozást a Hill paraméterekkel a következőképpen fejezhető ki.

$$\boxed{\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{6(F+G+H)} \times \sqrt{\frac{(G^2+HF+GH)^2}{F+G}} \times \ln\frac{h_0}{h}}{3(HF+FG+GH)}} \tag{14}$$

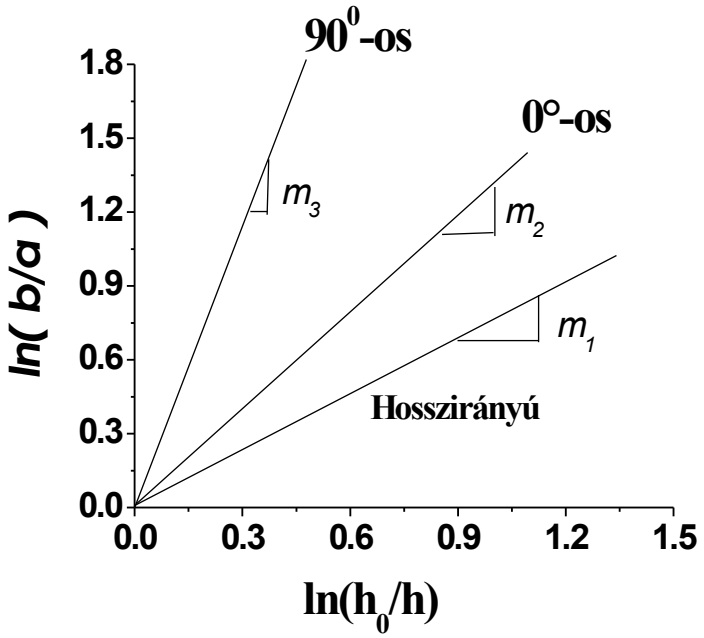
Figyelembe véve a peremfeltételeket, az anizotrópia paraméterek az alábbi egyenletek megoldásával számíthatók ki:

$$\boxed{(F+G)\sigma_y = m_1} \tag{15}$$

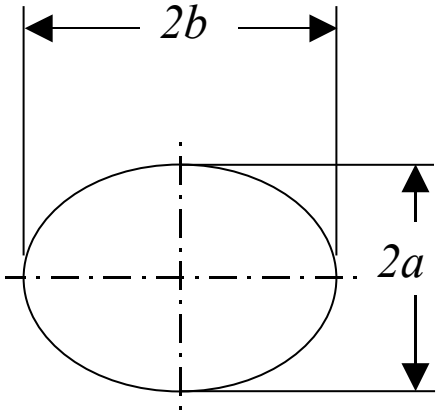
$$\boxed{\frac{G-H}{G+H} = m_2} \tag{16}$$

$$\frac{H - F}{F + H} = m_3 \qquad (17)$$

ahol [illegible] a folyási feszültség és [illegible], [illegible] és [illegible] a 7. ábrában szereplő görbék meredekségei, [illegible] és [illegible] a zömítés során ellipszissé torzult próbatest-keresztmetszet (fő)tengelyei (8. ábra).



7. ábra Az m_1, m_2 és m_3 paraméterek értékei



8. ábra A próbatestek ellipszissé torzult keresztmetszetének tengelyei

3.3.2. Képlékeny törési kritérium

1. Cockcrot és Latham törési kritériuma

Ez a kritérium azt fejezi ki, hogy a törés akkor jelenik meg, ha az alakváltozási energia elér egy kritikus értéket:

$$\frac{1}{\sigma_y} \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \sigma_1 d\bar{\varepsilon} = C_1 \qquad (18)$$

ahol [illegible] a maximális húzófeszültségtől és [illegible] a folyáshatár.

2. Brozzo és társai törési kritériuma

Brozzo és társai a Cockcroft és Latham féle kritériumot (18. egyenlet) módosították. Ez a kritérium a maximális húzófeszültségtől ( ) és a hidrosztatikus (átlagos) feszültségtől ( ) függ.

$$\int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \frac{2\sigma_1}{3(\sigma_1 - \sigma_m)} d\bar{\varepsilon} = C_2 \tag{19}$$

3. Freudenthal törési kritériuma

Az elmélet feltételezi, hogy a teljes alakváltozási energia a törésig állandó:

$$\frac{1}{\sigma_y} \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon} = C_3 \tag{20}$$

ahol az effektív feszülstég, az effektív alakváltozás a töréskor és a folyáshatár.

4. Im és Argan törési kritériuma

Ez a kritérium azt feltételezi, hogy a hidrosztatikus feszültség és az effektív feszültség integrálja állandó

$$\frac{1}{\sigma_y} \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} (\sigma_m + \bar{\sigma}) d\bar{\varepsilon} = C_4 \tag{21}$$

5. Oyane és társai törési kritériuma

Ez a kritérium azt feltételezi, hogy a törés egy kritikus térfogati alakváltozás elérésekor jelentkezik:

$$\int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \left(1 + \frac{\sigma_m}{A\bar{\sigma}}\right) d\bar{\varepsilon} = C_5 \tag{22}$$

Ahol A = 2/3 (egytengelyű és háromtengelyű feszültségi állapot között)

6. Oh és Kobayashi törési kritériuma

Ezen elmélet szerint a maximális húzófeszültség és az effektív alakváltozás hányadosa állandó.

$$\int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon} = C_6 \tag{23}$$

7. Shabaic és Vujovic törési kritériuma

Ez a kritérium az átlagos feszültség és az effektív feszültség hányadosával jellemzi a törés fellépését

$$\left(\frac{3\sigma_m}{\bar{\sigma}} \right) = C_7 \tag{24}$$

8. Tresca féle energia törési kritérium

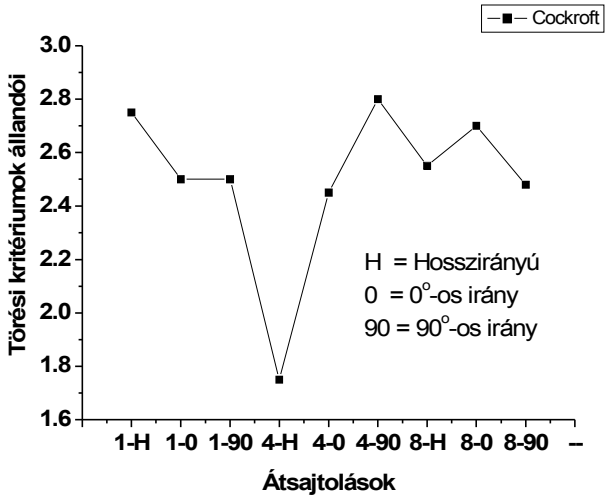
Az elmélet a húzó és nyomófeszültségek közötti különbséget veszi számításba a következők szerint:

$$\frac{1}{\sigma_y} \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right) d\bar{\varepsilon} = C_8 \tag{25}$$

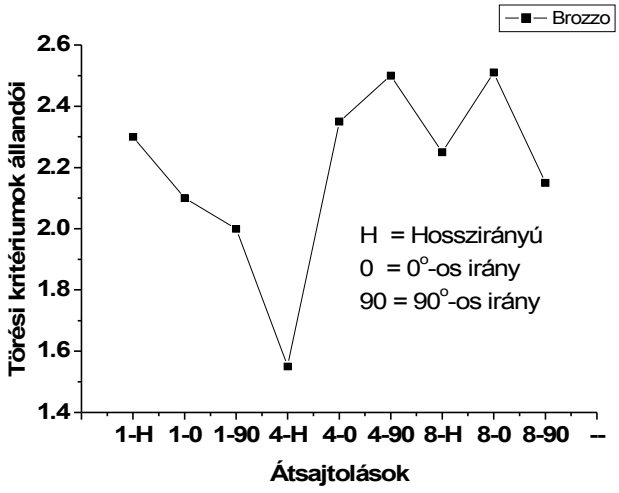
Ahol σ_1 a maximális húzófeszültség, σ_2 a maximális nyomófeszültség és σ_y a folyáshatár.

A fenti egyenletekben C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7 és C_8 egymástól különböző állandók.

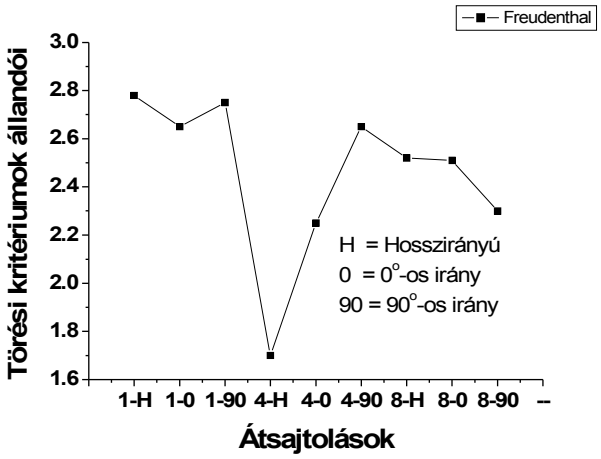
A 9. ábra bemutatja a törési kritérium konstansait az összes nanokristályos Al 6082 ötvözet esetére.



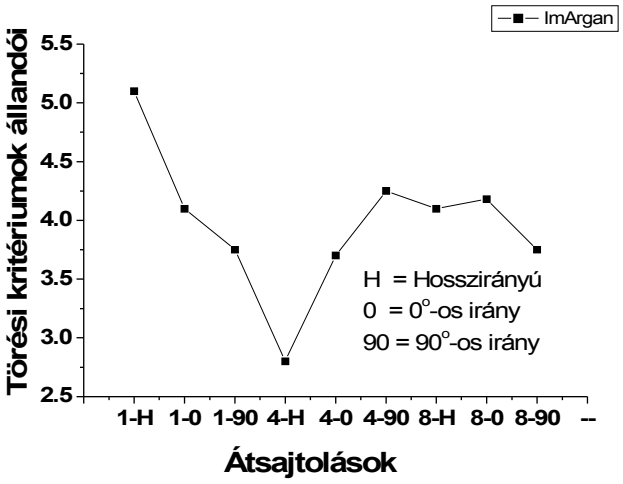
9-a ábra A Cockcroft és Latham törési kritérium állandója



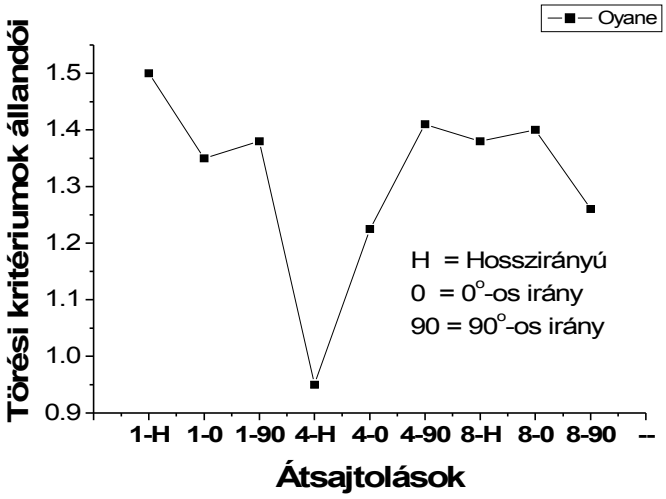
9-b ábra A Brozzo törési kritérium állandója



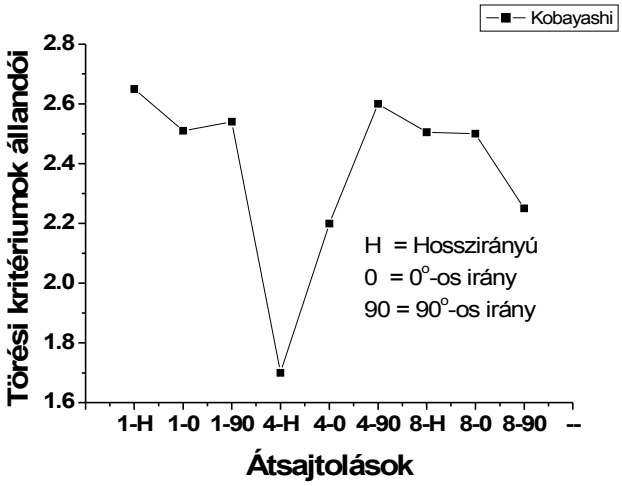
9-c ábra A Freudenthal törési kritérium állandója



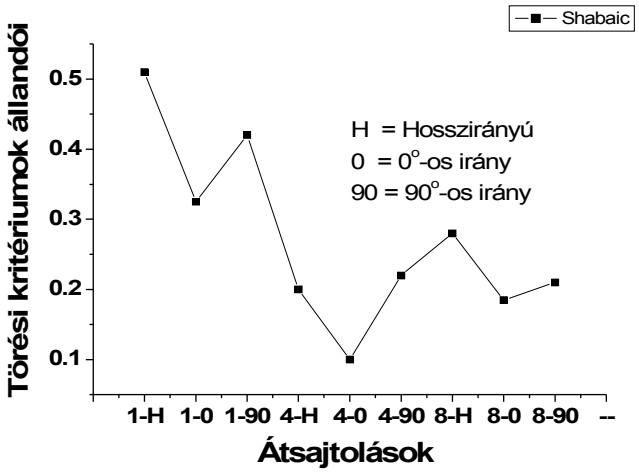
9-d ábra Az Im és Argan törési kritérium állandója



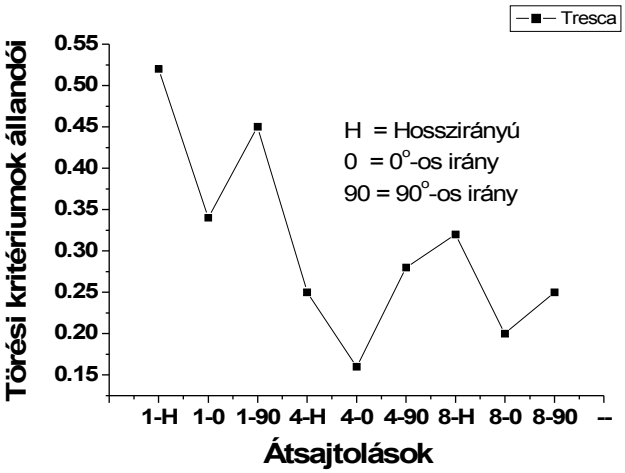
9-e ábra Az Oyane és társai törési kritérium állandója



9-f ábra Az Oh és Kobayashi törési kritérium állandója



9-g ábra A Shabaic és Vujovic törési kritérium állandója



9-h ábra A Tresca energia törési kritérium állandója

A kísérletek eredményeiből megállapíthatjuk, hogy a képlékeny törés kritériumainak minimum értéke a 4x átnyomáson átesett próbatestek hossztengelye, a maximuma pedig az egyszer átnyomott próbatestek hossztengelye mentén jelentkezett..

3.4. Csőszerű termék előrefolyatása nanokristályos Al6082 anyagokból

Különböző állapotú, lágyított és nanokristályos szerkezetű Al6082 anyagból előrefolyatás alkalmazásával csőszerű alkatrész . Az alakítási folyamatot végeselemes programmal

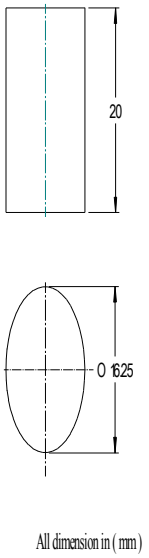
modelleztük, és az eredményeket összehasonlítottuk a mérésekkel. A végeselemes eredmények gyakorlatilag azonosak voltak a kísérleti eredményekkel

3.4.1. Csövek előrefolyatása

Az előrefolyatás során olyan szerszámot használtunk, amely négy részől állt: (1) matrica, (2) lyukasztó, (3) alaplap, (4) bélyeg. Ezeket az alkatrészek gyorsacélból készültek, a kémiai összetételüket az 1. táblázat mutatja. A kész csövek külső átmérője D=16,26 mm, a belső átmérője 12 mm volt. A munkadarabok és a szerszámok geometriáját a 10. ábra mutatja. Az eljárást szobahőmérsékleten végezték, az alakítás sebessége 8 mm/min volt. A súrlódás csökkentésére egy speciális kenőanyagot alkalmaztunk a kiinduló anyag és a szerszám között. A munkadarabok végső állapotát a 11. ábra mutatja.

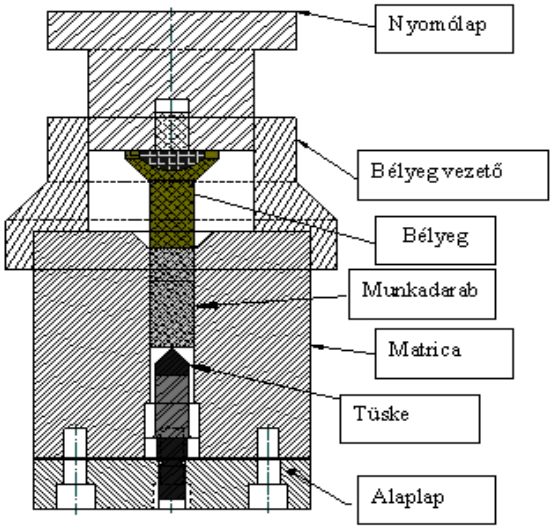
3.4.2. Végeselem szimuláció

A munkánkban a Q-form végeselem programot használtuk az előrefolyatás modellezésére. A számítás során a súrlódási tényező m=0.2 volt. A zömítővizsgálat során meghatározott folyásgörbéket használtuk a számításnál. Az erő – elmozdulás görbéket a 12. ábra mutatja, míg a kísérleti és végeselemes eredményeket a 13. ábra hasonlítja össze.



minden méret mm-ben

10-a ábra A próbatest méretei



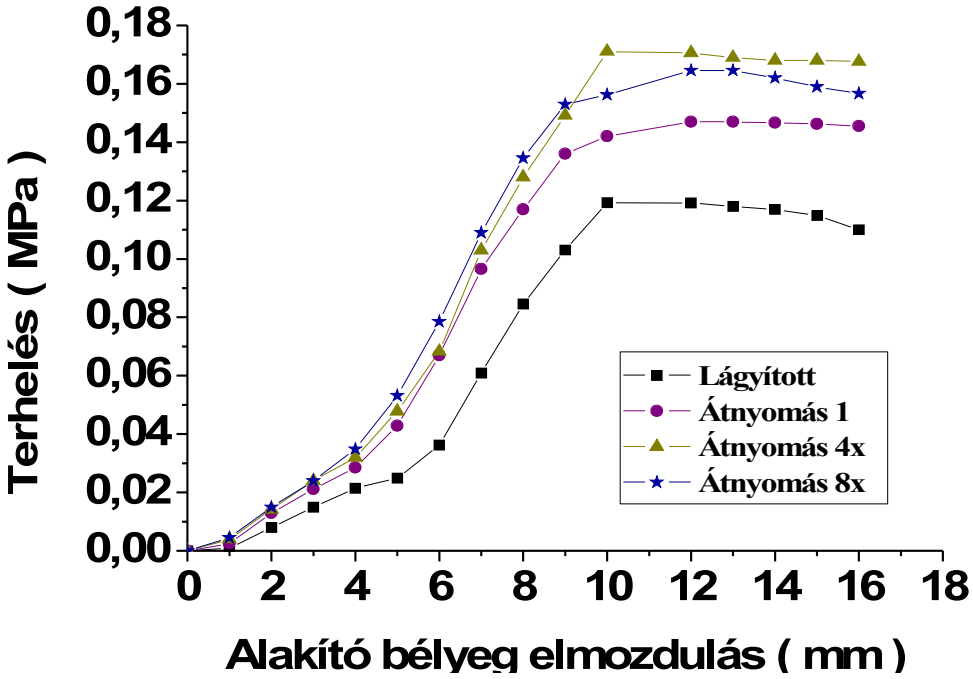
10-b ábra A szerszám geometriája

1 táblázat Az előrefolyató szerszám anyagának kémiai összetétele

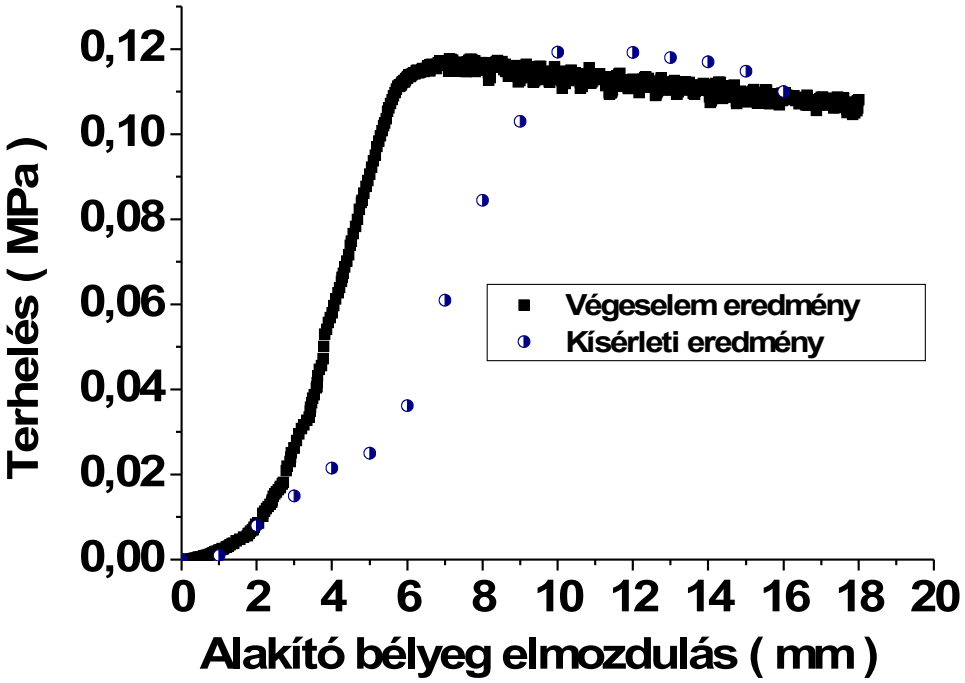
Elem	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Ni	P	S
Min %	1.9	0.10	0.15	11.0	0.5	0.6	0.15	Max	Max	Max

Max %	2.2	0.40	0.40	13.0	0.80	0.90	0.30	0.35	0.03	0.03

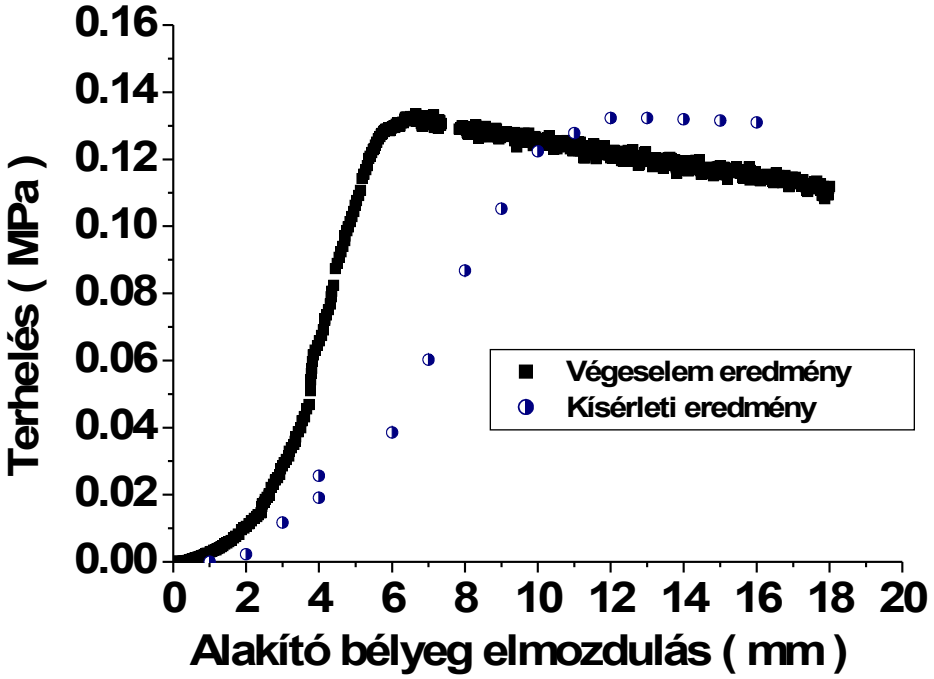
11. ábra Kész munkadarabok



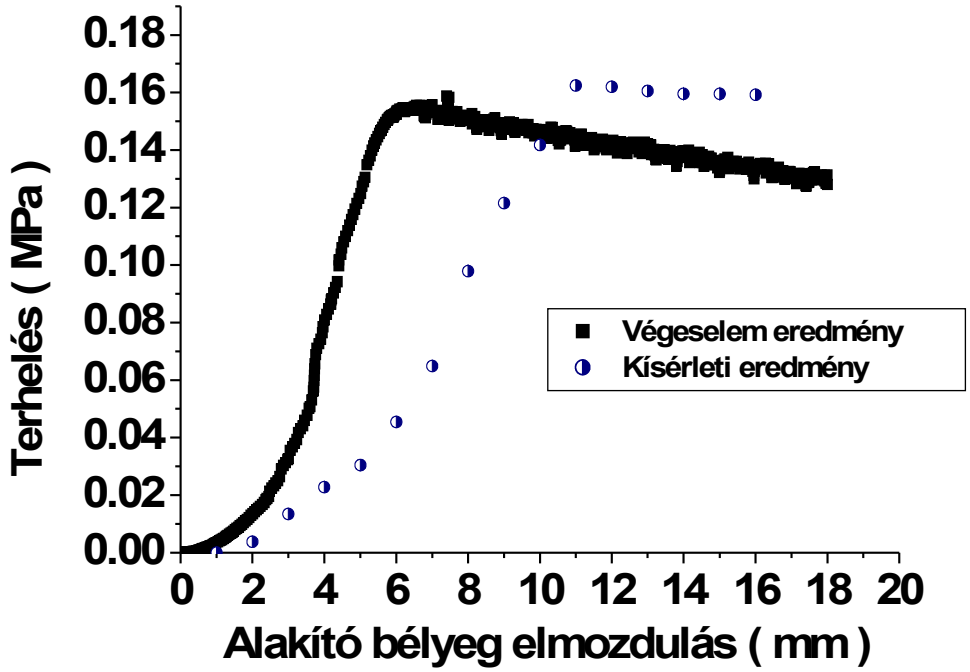
12. ábra Extrudálási nyomás – alakító bélyeg elmozdulás görbék



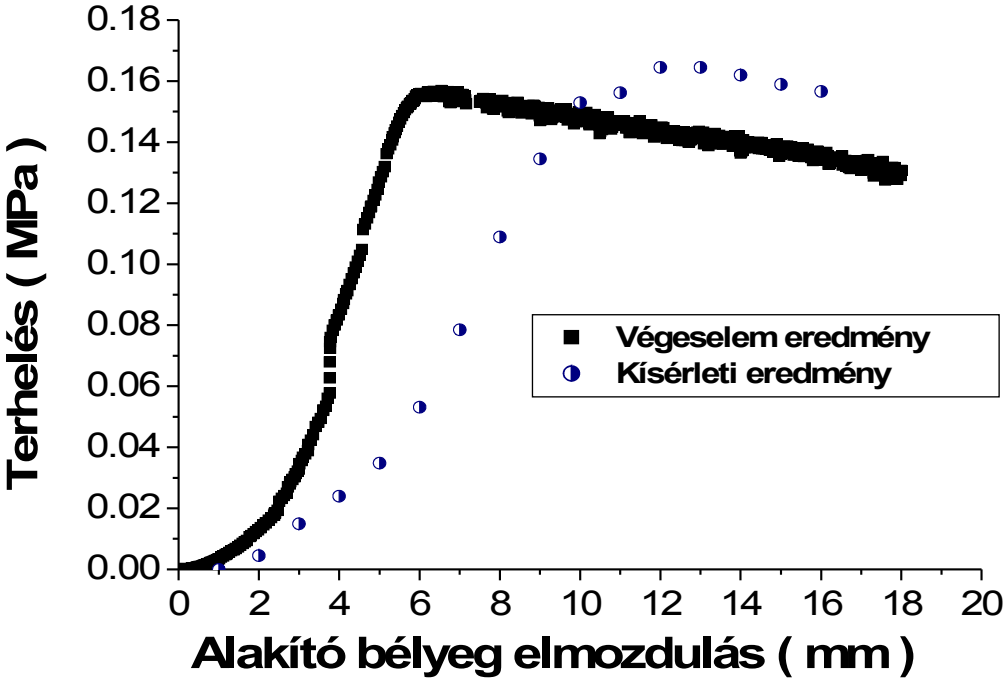
13-a ábra Végeselem és kísérleti eredmények a lágyított anyagra



13-b ábra Végeselem és kísérleti eredmények az egyszer átnyomott anyagra



13-c ábra Végeselem és kísérleti eredmények a négyszer átnyomott anyagra



13-d ábra Végeselem és kísérleti eredmények a nyolcszor átnyomott anyagra

A kísérletek végén megmértük mindegyik cső külső és belső felületének érdességét. A legnagyobb érdességet a lágyított anyagból készült darabon, míg legkisebb érdességet a nyolcszor átnyomott anyagon mértünk, amint a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat A végtermékek külső és belső felületének felületi érdessége

Anyagtípus	Ra (μ m) **belső felület**	Ra (μ m) **külső felület**
Lágyított anyag	0.68	1.15
Egyszer átnyomott	0.57	1.09
Négyszer átnyomott (C út)	0.48	0.95
Nyolcszor átnyomott (C út)	0.34	0.68

Az eredményekből a dolgozat szerzője azt a következtetést vonta le, hogy az ECAP eljárás során az Al6082 anyag alakíthatósága megváltozott. Az előrefolyatás erőszükséglete a 4xr átnyomott anyag esetén volt a legnagyobb. Az eredmények azt mutatták, hogy a kísérleti és végeselem adatok jellegre egyeznek, bár a görbék kezdeténél a kísérleti eredmények jobbra tolódtak el.

Az előrefolyatással jó minőségű csöveket lehet gyártani, amelyek felületi érdessége csökkent az átnyomások számának növekedésével.

3.5. Perspektívák, további kísérleti célok

- Mivel a nanokristályos anyagok anizotróp viselkedésűek és viszonylag új kutatási területet képviselnek, a jelen munka alapján további kutatások elvégzését javasoljuk a következő területeken:
- Nanokristályos szerkezetű anyagok előállítása más fémekből és ötvözetekből ECAP-tól eltérő IKA eljárással.
- A nanokristályos anyagok tulajdonságainak vizsgálata és összehasonlításuk.
- Más alakítási és egyéb eljárások kipróbálása nanokristályos Al6082 ötvözeteken, például: kovácsolás, hegesztés, stb, a kész darabok tulajdonságainak vizsgálata.
- Hőkezelés hatásának vizsgálata nanokristályos Al6082 ötvözetek esetén.

4. Tézisek

1. Könyöksajtolással előállított Al 6082 nanoszerkezetű anyag valódi feszültség és valódi nyúlás görbéi

- függnek az átsajtolások számától és az átsajtolt darabhoz kötött irányoktól.
- A zérus irányban meghatározott valódi feszültség görbe mindhárom esetben (1x,4x és 8x átsajtolt) magasabb mint a többi irányban, valamint a 8x átsajtolt darab megfelelő folyásgörbéje magasabban halad a kevesebbszer átsajtolt darabok görbéinél

2. Az Al-6082 ötvözet izotrop állapotból anizotroppá alakul könyöksajtolás közben, és az egytengelyű zömítés során meghatározott axiális és radiális alakváltozás aránya közel állandó a vizsgált esetekben és a vizsgált alakváltozási tartományban. A Hill elmélet paraméterei közvetlen kapcsolatban vannak az említett arányokkal.
3. Szivós törés jelenségének fellépését 8 különböző kritériummal vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy Shabaic és Vujovic és a Tresca kritériumon kivül a többi azonos jelleget mutat. Az szivós törési kritériumok szerint a legkisebb alakváltozó képesség a 4x átsajtolt darab hosszirányában, míg a legnagyobb alakváltozó képesség az 1x átsajtolt darab tengelyirányában van.
4. Al-6082 anyagból előrefolyatással készülő csőszerű alkatrész

- Legkisebb alakító erőt az 1x átsajtolt esetben igényli
- Legjobb felületi minőséggel a 8x átsajtolt előgyártmányból állítható elő.

5. Publications

1- Gyorgy. K, Arpad. F, and Ahmed.A, Anisotropic mechanical properties of an ultra-fine grained aluminum alloy, Ultrafine Grained Materials 4, TMS, USA, 2006.

2- Gyorgy Krallics, Ahmed. Agena, "Investigation of Workability of Al-6082 Nanostructured Materials", The 12th International Arab Conference, P. 282-287, 2006.

3- Gyorgy. Krallics, Ahmed. Agena, "Investigation of Ductile Fracture of Nanostructured Al-6082 Material". Periodica Polytechnica Ser, Mech. Eng, Vol. 50 -2, P. 89-97, 2006.

4- Gyorgy Krallics, Ahmed. Agena, "Investigation of Workability of Al-6082 Nanostructured Materials", Emirates Journal for Engineering Research, V. 12 (3), P. 9-13, 2007.

5- A. Agena, G. Krallics, "Mechanical Behavior of Nanostructured AL-6082 Alloy Produced by Equal Channel Angular Process (ECAP)", under published on industrial research journal, industrial research center, Tripoli Libya.

6- Gyorgy Krallics, Ahmed. Agena, "Tube Extrusion of Nanostructured Al-6082 Materials", 6th Hungarian Materials Science Conference-OAK, 14-16 October 2007.

7- Ahmed S.M. Agena, "A study of flow characteristics of nanostructured Al-6082 alloy produced by ECAP under upsetting test", under publishing in journal of materials processing technology, 2008.

References

[1] Narayanasamy, R., Ramesh,T., and Pandey, K.S., "Workability studies on cold upsetting of Al-Al2O3, materials and design".2005, www.sciencedirect.com.

[2] Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K., Alexandrov, I.V, “Bulk nanostructured materials from several plastic deformations”, Progress in Material Science, Vol.45,pp. 103-189.

[3] Han-Chin.Wu., “Anisotropic plasticity for sheet metals using the concept of combined isotropic-Kinematic hardening”, International Journal of Plasticity, Vol.18,pp. 1661-1682, 2002.

[4] Gyorgy.K, Arpad.F, and Ahmed.A., “Anisotropic mechanical properties of an ultra-fine grained aluminum alloy”, Ultrafine Grained Materials 4, TMS, USA, 2006.

[5] Narayana,S.V., Nageswara. B., and Kashyap,B.P, “Improved ductile fracture criterion for cold forming of spheroidised steel”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.147, pp. 94-101 2004.

[6] Jian Cao, Hong Yao, Apostolos K, and Mary C. “ BoycePrediction of localized thinning in sheet metal using a general anisotropic yield criterion”, International Journal of Plasticity, Vol.16, pp. 1105-1129 , 2000.

[7] Venugopal. R.A, Ramakrisham. N, Krishna. K. R, “Comparative valuation of The Theoretical Failure Criteria for Workability in Cold Forging”, Journal of Material Process Technology, Vol. 142, pp. 29-42, 2003.

[8] Fahrettin. O, Daeyonglee. L, “Analysis of Forming Limits Using Ductile Fracture Criteria:” Journal of Material Process Technology, Vol. 147, pp.397-404, 2004.

[9] S.V.S, Narayana, B. Nageswara. R, B. P. Kashyap, “Improved Ductile Fracture Criterion for Cold Forming of Spheroidised Steel”, Journal of Material Process Technology, Vol.142, pp. .94-101, 2004.

[10] J. Landre, A. Pertence , P.R. Cetlin, J. M.C. Rodrigues, P.A.F. Martins, “On The Utilization of Ductile Fracture Criteria in Cold Forging”, Journal of Finite Element in Analysis and Design, Vol. 39, pp.175-186, 2003.

[11] Wellong. HU, “An Orthotropic yield criterion in 3-D General Stress State”, International Journal Plasticity, Vol.21, pp.1771-1796, 2005.

[12] C. Liu, Y. Hung, M.G. Stout, „On The A Symmetric Yield Surface Of Plastically Orthotropic Materials”, A Phenomenological Study .Acta Mater, Vol .45-N0.6, pp. 2397-2406, 1997.

[13] Montmitonnet. P, Chenotj. L, ”Introduction of Anisotropy in Viscoplastic 2D and 3D Finite-element Simulations of Hot Forging”, Journal of Materials Processing Thechnology, Vol. 53, pp. 662-683, 1995.

[14] J. D. Radford and D. B. Richardson, ”Production Engineering Technology,” 2nd edition, William Clowes and Sons Limited, London ,1976.

[15] N. R. Chitkara and A. Aleem, “Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalised slab method of analysis,” International Journal of Material Science, Vol. 43, pp. 2857-2882, 2001.

[16] M. Bakhshi-Jooybari, M. Saboori, S. J. Hosseinipour, M. Shakeri, and A. Gorji, “Experimental and numerical study of optimum die profile in backward rod extrusion,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 177, pp. 596–599, 2006.

[17] N. R. Chitkara and A. Aleem, “Extrusion of axi-symmetric tubes from hollow and solid circular billets: a generalised slab method of analysis and some experiments,” International Journal of Material Science, Vol. 43, pp. 1661-1684, 2001.

[18] E. M. Mielnik, Metal Working Science and Engineering, McGraw-Hill series in materials science and engineering, 1991, USA.

[19] G. E. Dieter, H. A. Kuhn, S. L. Semiatin, Handbook of Workability and Process Design, ASM International 1st printing, 2003, USA.

[20] http://www.qform3d.com/en/1.html.

[21] Meyers,M.A.,Mishra,A.,Benson,D.J., "Mechanical Properties of Nanocrystalline Materials ", Progress in Material Science, 2005 . www.scieneditect.com.

[22] Alexandrov,I.V., Valiev,R.Z., "Nanostructured materials from severe plastic deformation", Nanostructured Materials, Vol. 12, Issues 1-4, pp. 35-40, 1999.

[23] Alexandrov,I.V.,Zhu, Y.T.,Low,T.C., Islamgaliev,R.K., Valiev,R.Z. "Nanostructured Materials" Progress in Material Science, Vol.10, pp.45-54, 1998.

[24] Nagarajan,D., Uday, C., Venugopal,P., "Influence of Cold Extrusion on the Microstructure and Mechanical properties of Aluminum Alloy Previously Subjected to Equal Channel Angular Pressing" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 148, pp .363-368.

[25] Muamar I "Production of Bulk Nanostructured Materials and Investigation Their Behaviors in Given Technological Process", MS.c thesis, Budapest University of Technology and Economics Department of Materials Science and Engineering, 2005.

[26] Gontarz,A., "Comparative Study of Flow Characteristic of AlCu2SiMn Alloy" , Journal of Materials Processing Technology,Vol. 138, pp .156-162, 2003.

[27] Xinbo,L., Fubao,Z.,Zhiliang,Z., "Determination of Metal Material Flow Stress by the Method of C-FEM", Journal of Materials Processing Technology,Vol.120, pp .144-150.2002.

[28] Narayanasamy,R.,Ponalagusamy,R., " A Mathematical Theory of Plasticity for the Upsetting of Compressible P/M Materials" , Journal of Materials Processing Technology,Vol. 97, pp .107-109,2000.

[29] Muamar Ben Isa :Production of Bulk Nanostructured Materials and Investigation Their Behaviors in Given Technological Process., MS.c thesis, Budapest University of Technology and Economics Department of Materials Science and Engineering, 2005.