



INTENZÍV KÉPLÉKENY ALAKÍTÁS ASZIMMETRIKUS HENGERLÉSSEL

Tézisfüzet

Bobor Kristóf

okleveles gépészmérnök

Témavezető:

Dr. Krállics György
egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola

Anyagtudomány alprogram

Budapest
2011. február

Az eredmények alkalmazása

Az általam végzett kutatómunka eredményei megmutatják, hogy Al 7075 alumínium ötvözet eltérő sebességű hengerlésével a különböző alakítási útjai szerint milyen mikroszerkezet jön létre és milyen mechanikai tulajdonságok várhatóak.

Kutatási eredményeim másik része segítséget nyújt a képlékeny alakító eljárások tervezésében azzal, hogy a kidolgozott technikák alkalmazásával információk nyerhetőek a kialakuló mikroszerkezettel kapcsolatban.

Publikációk

- [I.] Bobor K. Krállics Gy. *Characterization of metal-forming processes with respect to non-monotony*, Journal of Physics Conference Series **240**, 2010, 012126
- [II.] Bobor K. Krállics Gy. *Characterization of severe plastic deformation techniques with respect to non-monotony*, Review on Advanced Materials Science **25**, 2010, 32-41
- [III.] Bobor K. Krállics Gy. *Study of non-monotony of forming processes using finite element analysis*, Materials Science Forum **659**, 2010, 373-379
- [IV.] Bobor K. Krállics Gy. *Könyvsajtolás különböző alakítási útjainak vizsgálata nem-monotonitás szempontjából*, OGÉT 2010, XVIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, konferenciakötet, 71-74
- [V.] Bobor Kristóf, Májlinger Kornél, *Felületi réteg kialakulása öntöttvas motorblokkok hengerfuratának falán lézerkezelés hatására*, OGÉT 2010, XVIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, konferenciakötet, 283-286
- [VI.] Bobor Kristóf, Májlinger Kornél, Szabó Péter János, *Formation of Surface Layer on Cast Iron Cylinder Bore due to Nanosecond Laser Impulses*, Periodica Polytechnica Mech. Eng. **53**, 2009:2, 75-80

Bevezetés

Nano- és ultra-finomszemcsés anyagok

Az elmúlt évtizedekben a nanotechnológia és a nanotechnológiai kutatások mind a mérnöki, mind a fizikai tudományok egyik legjelentősebb területévé váltak. A nanotechnológiai kutatások egyik fontos témaköre a tömbi 100-1000 nm-es szemcsenagysággal rendelkező úgynevezett ultra-finomszemcsés (UFSz), valamint a 100 nm alatti szemcsefinomságú, úgynevezett nanoszemcsés (NSz) fémek és azok előállítási lehetőségei. A nano- illetve ultra-finomszemcsés anyagok számos tulajdonságban különböznek a hagyományosaktól:

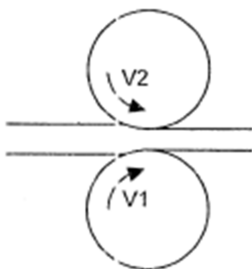
- Nagy szilárdság és keménység
- Szuperképlékeny alakíthatóság
- Alacsony rideg-képlékeny átmeneti hőmérséklet
- Jó korrózióállóság
- Jó elektromos, illetve mágneses viselkedés

Bár számos különböző módszer létezik ilyen anyagok előállítására, ez a mai napig jellemzően csak laboratóriumi körülmények között oldható meg. Az egyik leggyakrabban alkalmazott gyártási eljárás az intenzív képlékenyalakítás (IKA). Az IKA csoportjába olyan eljárások tartoznak, amelyeknél a hangsúly az alakváltozáson, még inkább az alakváltozás típusán van. Ezekre az eljárásokra a nagymértékű nyíró, valamint az úgynevezett nem-monoton alakváltozás jellemző. Ezek közé a módszerek közé tartozik többek között a könyöksajtolás, a nagynyomású csavarás, többszörös átkovácsolás és az eltérő sebességű hengerlés is.

Eltérő sebességű hengerlés

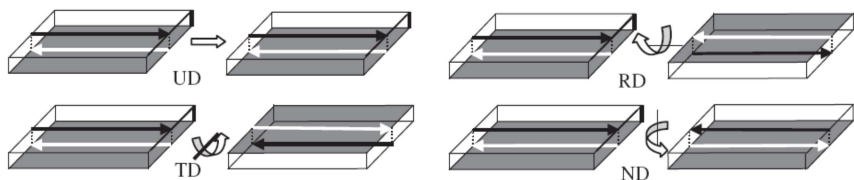
Az aszimmetrikus hengerlésen belül a szakirodalom három módszert különböztet meg. Az első esetben a súrlódási viszonyok a munkadarab és az egyik, illetve másik alakító henger között eltérőek, míg a másik két esetben az alakító hengerek kerületi sebessége eltérő. Ez utóbbit két

módszerrel lehet elérni. Az egyik esetben a hengerek fordulatszáma azonos, de átmérőjük eltérő, míg a másik esetben méretük azonos, de fordulatszámuk eltérő. Az utóbbit eltérő sebességű hengerlésnek nevezik. Dolgozatomban ezzel a technikával foglalkozom részletesen.



1. ábra: Eltérő sebességű hengerlés technikája

A hagyományos szimmetrikus és az eltérő sebességű hengerlés közötti különbség az, hogy a nyújtó-zömítő jellegű deformáció mellett az anyag az utóbbinál jelentős nyíró alakváltozást is szenved. Ez a nyírás segíti elő a különleges mikroszerkezet kialakulását, hasonlóan a korábban említett más IKA eljárásokhoz. Ennek köszönhetően az eltérő sebességű hengerekkel alakított anyag textúrájában, szemcse- és szemcsehatár szerkezetében, valamint mechanikai tulajdonságaiban eltér a hagyományosan hengerelttől. A szakirodalomban négy alakítási utat (UD, RD, TD, ND) különböztetnek meg (2. ábra). Az UD út esetén két hengerlés között a próbadarab nincs elforgatva, míg a másik három esetben minden egyes szűrés között 180°-kal van elforgatva. Az RD útnál a forgatás tengelye a hengerlési irány, TD esetén a keresztirány, míg ND esetén a normál irány.



2. ábra: Eltérő sebességű hengerlés különböző alakítási útjai.

- Két képlékenyalakító folyamat közül, amelyiknél a v_1 értéke nagyobb, kisebb alakváltozás hatására várható az ultrafinomszemcsés szerkezet kialakulása.

3. Kimutattam, hogy a szimmetrikus, valamint az UD, RD, ND és TD utak szerinti eltérő sebességű hengerlés a nem-monotonitás szempontjából eltér egymástól. A vizsgált négylépéses alakítás után ez az eltérés a keresztmetszet különböző pontjaiban 25-100%-ot ér el. [II.][III.]

- Az eltérő sebességű hengerlésre a szimmetrikushoz képest nagyobb nem-monotonitás jellemző, valamint a v_1 nem-monotonitási mérőszám eloszlása a keresztmetszetben a többlépéses hengerlés után egyenletesebb.
- Többlépéses eltérő sebességű hengerlés hatására a v_1 nem-monotonitási mérőszám eloszlása a keresztmetszetben az UD és ND utak esetén aszimmetrikus, míg RD és TD utak esetén szimmetrikus.

4. Kimutattam, hogy a négy lépésben, az UD, ND, RD és TD utak szerint, eltérő sebességű (10 ford./perc – 4 ford./perc) hengerléssel Al 7075 ötvözetben ultrafinom (400-500 nm) szemcseszerkezet állítható elő. Megállapítottam továbbá, hogy a négy különböző alakítási út jelentősen befolyásolja a kialakuló mikroszerkezetet és az anyag mechanikai viselkedését.

- A szilárdsági mérőszámok megközelítőleg azonosak mind a négy út esetén, míg a szívóssági mérőszámok az UD és ND utaknál a legnagyobbak, és TD út esetén a legkisebbek.
- A diszlokációsűrűség az UD és ND utak esetén a legnagyobb $5,6 \cdot 10^{14}$ és $5,5 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-2}$, a TD út esetén a legkisebb $3,4 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-2}$.

Vizsgáltam hagyományos és intenzív képlékeny alakító eljárásokat a nem-monotonitás szempontjából, valamint elvégeztem a négylépéses eltérő sebességű hengerlés négy alakítási útjának nem-monotonitási vizsgálatát.

Új tudományos eredmények

1. Kidolgoztam egy numerikus eljárást, amellyel végeeselemes számítások eredményeiből a kombinált Euler-Lagrange leírás alapján előállítható a folytonos sebességmező és a sebesség gradiens mező összenyomhatatlan anyag kétdimenziós, időben állandósult, áramlása esetén. A végeeselemes számításokból eredő hibák (zaj) hatásának kiküszöbölésére az áramvonalak előállításánál köbös simító spline illesztést alkalmaztam. [III.]

- A hibák hatása a p simító paraméter értékének 0,7 és 0,9 közötti megválasztásával megszüntethető anélkül, hogy az alakváltozás leírása pontatlanná válna.

2. Kidolgoztam egy számítási módszert, amely alkalmas az alakító eljárások nem-monotonitásának számszerű jellemzésére, és kapcsolatba hozható az ultra-finomszemcsés anyag kialakulásával. A bevezetett v_1 mennyiség értéke egységnyi egyenértékű képlékeny alakváltozás esetén a 0-2 intervallumban változik. [I.][II.][III.][IV.]

$$v_1 = \int_0^t \left| \mathbf{w} - \boldsymbol{\omega} \frac{d_{eq.}}{d_{max}} \right| \cdot dt$$

\mathbf{w} - merevtest-szerű forgás szögsebességvektora,

$\boldsymbol{\omega}$ - alakváltozási sebesség főirányainak forgásvektora

$d_{eq.}$ - egyenértékű alakváltozási sebesség, d_{max} - legnagyobb egyenértékű alakv. sebesség

- Minél nagyobb v_1 értéke annál jobban eltér az alakváltozási folyamat a monotontól. Különböző mechanikai sémájú, de azonos alakváltozási mértékű folyamatok közül v_1 értéke az egyszerű nyírással megvalósuló deformációk esetén a legnagyobb.

Képlékenyalakító eljárások monotonitás vizsgálata

Szmirnov-Aljajev meghatározása szerint akkor beszélhetünk monoton alakváltozásról, ha az alakváltozási sebesség tenzor főirányai ugyanazon anyagi szálakkal esnek egybe a teljes folyamat alatt, valamint a feszültségi állapotot jellemző Lode paraméter mindvégig állandó. A nem-monoton alakváltozás a nyíró alakváltozással megvalósuló intenzív képlékenyalakító eljárásokra jellemző. A monoton alakváltozástól való eltérés, a nem-monotonitás vizsgálatával a hagyományosan használt alakváltozási és feszültségi mérőszámokon kívül plusz információk kaphatóak a kialakuló mikroszerkezetről.

A kutatás célja

Dolgozatom a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén folyó kutatásokhoz kapcsolódik, amelyek célja a nano- és ultra-finomszemcsés tömbi anyagok gyártásának és tulajdonságainak vizsgálata. Kutatásaim céljai az eltérő sebességű hengerlés, valamint a képlékenyalakító eljárások monotonitás-vizsgálatához kapcsolódnak. Ezeket a következő pontokban lehet összefoglalni:

- Olyan eljárás kidolgozása, amely lehetővé teszi, hogy végeeselemes szimulációk eredményeit felhasználva, kontinuummechanikai számításokat végezhessek a képlékenyalakítási folyamatok monotonitás vizsgálata érdekében.
- Olyan általánosan használható, kontinuummechanikai alapokra épülő számítási módszer, illetve mérőszám kidolgozása, amellyel egyértelműen leírható a képlékeny alakító folyamatok monotonitása, illetve nem-monotonitása. Ezáltal információ nyerhető a várható mikroszerkezetről.
- A szimmetrikus és a négy eltérő alakítási út szerinti eltérő sebességű hengerlés jellemzése monotonitás szempontjából.
- A többlépéses, eltérő sebességű hengerlés négy különböző alakítási útja között eltérések meghatározása, a kialakuló mikroszerkezet, illetve a mechanikai anyagjellemzők szempontjából, Al 7075 alumínium ötvözetre.

A vizsgált anyagok és vizsgálati módszerek

Kutatásaimhoz az iparban széles körben használt Al 7075 alumínium ötvözetet használtam. Ez egy nagyszilárdságú, kiválóan keményíthető ötvözet, szilárdsága sok acéllal összemérhető. Jó kifáradási tulajdonság, közepes forgácsolhatóság és korrózióállóság jellemzi. Az ötvözet mesterséges öregítésével lehet a legnagyobb szilárdságú állapotot elérni. Elsődleges ötvöző eleme a cink, a szabvány szerinti vegyi összetételt az alábbi táblázat tartalmazza:

1. táblázat: Az Al 7075 ötvözet vegyi összetétele tömegszázalékban.

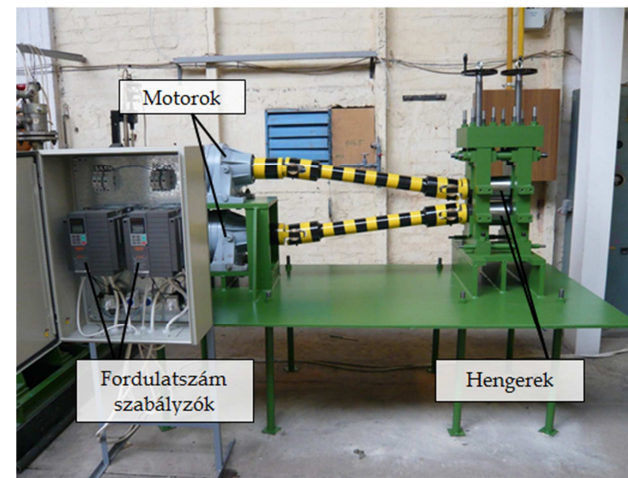
Al	Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Si	Mn	Ti
88	5,1	2,1	1,2	0,18	max	max	max	max
-	-	-	-	-	0,50	0,40	0,3	0,20
92	6,1	2,9	2,0	0,28				

A hengerlési kísérletek, illetve a kapcsolódó próbatestek gyártása és hőkezelése Miskolcon a BAY-NANO Kutatóintézetben történt. A hengermű a 3. ábrán látható. A hengereket két egymástól független motor hajtja meg, amelyekkel a fordulatszám 0 és 10 ford./min között külön-külön változtatható. A hengerek átmérője Ø140 mm.

A gyártó által leszállított 10x40x3000 mm-es száanyagból 10x40x150 mm-es próbadarabok kerültek kimunkálásra. Az alakítás előtt minden darab lágyító hőkezelésnek lett alávetve, 450°C-os 2 órás hőntartás után kemencében hűtve.

A darabokat négy lépésben a kezdeti 10 mm-ről 2,5 mm-re hengereltem szimmetrikus, valamint UD, ND, RD és TD alakítási utak szerinti eltérő sebességű hengerléssel. A darabokat sem a hengerlési lépések között sem utána nem hőkezelttem. Ezután az alakított anyag mechanikai tulajdonságait és mikroszerkezetét vizsgáltam.

A szakítóvizsgálatok a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék MTS 810-es típusú 250 kN-os szakító gépén készültek. Meréseim során a szakítószilárdságot, egyezményes folyáshatárt, szakadási nyúlást és a fajlagos törési munkát határozta meg.



3. ábra: A hengermű képe.

A mikroszerkezet röntgendiffrakciós vizsgálata az ELTE Szilárdtest Fizika Tanszékének laboratóriumában készültek, ahol a röntgen vonalprofil analízissel az átlagos kristallitméret, a diszlokációsűrűség került meghatározásra. Az mikroszkópos vizsgálatok a BAY-NANO Kutatóintézetben készültek transzmissziós elektronmikroszkópos világos és sötét látóterű technikával.

A monoton alakváltozástól való eltérés vizsgálatához bevezettem egy a nem-monotonitást számszerűen jellemző mennyiséget, amellyel lehetőség van az alakító technológiák tetszőleges koordináta-rendszerben történő elemzésére. Ennek a mennyiségnek az értéke összefüggésbe hozható az ultra-finomszemcsés mikroszerkezet kialakulásával. Annak érdekében, hogy a nem-monotonitási vizsgálatok végeeselemes számítások esetén is el lehessen végezni kidolgoztam egy a kombinált Euler-Lagrange leírásra épülő eljárást. A végeeselemes számításokból eredő hibák (zaj) hatásának kiküszöbölésére köbös simító spline illesztést alkalmaztam. Az eljárás alkalmas kétdimenziós sík alakváltozási valamint tengelyszimmetrikus anyagáramlás leírására, és szükség esetén kiterjeszhető háromdimenziós problémákra is. A képlékenyalakítási folyamatok vizsgálatához Maple és Matlab szoftvereket használtam.