

ZUPKÓ ISTVÁN – SZABÓ GÁBOR

Plattírozási kísérletek a Von Roll hengerállványon brazing alapanyagok hengerléséhez

A különböző fémekből, vagy eltérő összetételű ötvözetekből előállított többrétegű lemezek felhasználási részaránya napjainkban jelentős mértékben nő. A több rétegből álló szalagok (lemezek) gyártásának egyik lehetséges módja az ún. plattírozás. Cikkünkben alumíniumötvözetek meleghengerléssel történő plattírozásánál lejátszódó folyamatok vizsgálatára, és az egyes rétegek között megfelelő kötést biztosító technológiai paraméterek meghatározására irányuló első kísérleteinkről számolunk be. Egyúttal bemutatjuk a tanszéken található és nemrég felújított Von Roll kísérleti hengerállvány adottságainak [1] hatását a lehetséges laboratóriumi hengerlési technológia kialakítására.

Bevezetés

A vizsgálatainkhoz választott többrétegű lemezek külső borító anyaga a felhasználónál történő alkatrészgyártáskor megfelelő hőmérsékleten megőmlő forrasztóanyagot biztosító alumíniumötvözet. Erre a forrasztási eljárásra nincs magyar nyelvű megnevezés, a szakmai szóhasználatban az angol nyelvű „brazing” terjedt el. A technológia lényegéből adódik, hogy a nagy hőmérséklet miatt a szabvány szerint a „keményforrasztás” elnevezés sem használható.

A plattírozott lemezt hidegen továbbhengerelt állapotban használják fel. Vastagsága egyes alkalmazási területeken mindössze néhány tized milliméter.

A plattírozási művelet az egyes rétegek előírt méreteit biztosító vastagságú lemezek felület-előkészítése után az érintkező felületeken megfelelően nagy nyomófeszültséget biztosító hideghengerléssel is elvégezhe-

tő [2]. Ez a technológia hagyományos hideghengersorokon olyan átalakításokat és segédberendezéseket feltételez, amelyek csak nagy termelési volumen mellett lehetnek gazdaságosak. Az általunk vizsgált technológia hagyományos könnyűfém hengerművek gyártási programjába beilleszthetően meleghengerléssel végzett plattírozó kezdő szűrésokból és készre hengerlésből, majd hideghengerlésből, és szükség szerinti hőkezelés(ek)ből áll.

A technológia sajátossága, hogy a szennyeződésektől megtisztított magötvözetből (felületein mart tuskó) és borítórétegekből, valamint esetleges közbenső rétegekből összeállított „pakett” hengerléshez történő előmelegítése során oxidálódik. Ennek az oxidrétegnek az eltávolítására a hengerlés megkezdése előtt már nincs lehetőség, és ez kötési hibákat okozhat.

A plattírozásnál az egymással érintkező ötvözetek közötti kötés kialakulásának mechanizmusára, a lehetséges mechanikai, diffúziós, fémtani-fémfizikai folyamatokra vonatkozóan a szakirodalomban többféle lehetséges magyarázatot közölnek [2–6]. A kötés létrejöttében szerepet játszó folyamatok egy része minden valószínűség szerint szubmikroszkópikus, atomi nagyságrendű mérettartományra terjed ki. A folyamat lejá-

szódására vonatkozó feltételezések a rendelkezésre álló vizsgáló eszközökkel nem bizonyíthatók. Mai ismereteink mellett a technológia kidolgozását elsősorban kísérleti hengerlési tapasztalatokra kell alapozni.

1. A hengerlési kísérletek technikai feltételei

Hengerlési kísérleteinket a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Von Roll hengerállványán végeztük el.

A hengerson megengedhető legnagyobb hengerlési erő 1 MN
A megengedhető hengerlési nyomaték 1 kNm
A hengerelhető legnagyobb lemezszélesség 200 mm
Legnagyobb vastagság táblalemez meleghengerléskor 65 mm
Előmelegítő kemence: légkeveréses
Kamraméret: $h = 350$ mm,
 $b = 440$ mm, $l = 760$ mm

Kenés:

- Hideghengerléshez hűtő-kenő olaj, porlasztó fűvókákkal kiépítve.
- Meleghengerléshez ipari koncentrátumból alkalmanként kevert emulzió, kísérleti eszközzel porlasztva.

2. A kísérletek tervezésének szempontjai

A plattírozó hengerlés rétegei közötti kötést befolyásoló fontosabb paraméterek:

- a kötésben résztvevő ötvözetek (rétegek) anyaga, vastagságuk;
- az érintkező felületek hőmérséklete;
- az érintkező felületeken kialakuló nyomás;
- az érintkezési felületi nyomás hatásának időtartama;
- az érintkező felületek érdessége,

Dr. Zupkó István 1971-ben okleveles kohómérnöként végzett a Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán. Jelenleg a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének egyetemi docense. A képlékenyalakító MSC-szakirány vezetője.

Szabó Gábor szakmai életrajzát a 25. oldalon közöljük.

és a felületek tisztasága;
– a felületi oxidréteg tulajdonságai.

A felsoroltakat szem előtt tartva, a meleghengerlési technológia és a hengerlés sajátosságait, illetve a laboratóriumi kísérleti hengersor adottságait alapul véve kísérletsorozatunkat az alábbiak szerint állítottuk össze.

A plattírozni kívánt ötvözeteket az Alcoa Kőfém Kft. bocsátotta rendelkezésünkre. Anyagminőségük, összetételük, illetve a hengerlésre kerülő pakettek mag- és borítólemez rétegvastagságai az üzemi gyártási technológia nem publikus adatai.

Vizsgálatainkhoz a háromrétegű kísérleti pakett vastagságát 30 mm, az ötrétegűt 19,3 mm-re terveztük. A méretek hidegméretek, az előmelegítés során a hőtágulás következtében megváltoznak. Ez a méretváltozás a plattírozáshoz tervezett kis alakváltozásokkal végzett szűrésokban (legnagyobb mértékben az első szűrésben) hibát okozna, ezért a beállítandó hengerrés értékét a mindenkori melegmérettel számoltuk.

Az érintkező felületek hőmérséklete a hagyományos hengerlés kiinduló hőmérsékletétől jelentősen nem térhet el. A $\approx 350\text{--}360\text{ }^\circ\text{C}$ hengerlési véghőmérséklet biztosítása érdekében $\approx 460\text{ }^\circ\text{C}$ alá nem csökkenthető a hengerlés kezdési hőmérséklete. Vizsgálataink során a $460\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$ előmelegítési hőmérséklet-tartományt terveztünk. A hengerállítási időgénye, és a hengerek erőteljes hűtőhatása miatt „túlhűlő” darabokat az előmelegítő kemencében tudtuk utánmelegíteni. Az érintkező felületeken kialakuló nyomás a plattírozási kötés kialakítása szempontjából a legfontosabb paraméter. A hengerek és a hengerelt lemez között az alakváltozási zónában az alakváltozás mértékétől, a hengerelt anyag alakítási szilárdságától, az alakváltozási zóna geometriai viszonyaitól és az érintkező felületen érvényes sűrűdési tényezőtől függő nyomófeszültség (alakítási ellenállás) ébred. Ennek a nyomott felület mentén változó nagyságú felületi nyomásnak kell biztosítania a hengerrésen történő áthaladás során az egyes rétegek közötti kötés kialakulását.

A hengerelhető darabok kiinduló vastagságát és hosszát az utánmelegítés szükségességét és a hideghengerlést is figyelembe véve a lég-

keveréses előmelegítő kemence méretei alapján határoztuk meg.

A kísérleti hengerállványon hengerlési erő szempontjából alumínium-ötvözetek hengerlésekor sem a próbatetek kiinduló méreteinek tervezésekor, sem az alakváltozások mértékét tekintve nem ütköztünk korlátba.

A hengerlési nyomaték esetében azonban az 1 kNm megengedhető hengerlési nyomaték korlátozza a tervezhető alakváltozás mértékét. Annak érdekében, hogy a tervezett alakváltozáshoz tartozó hengerlési nyomatékot a rendelkezésre álló hajtónyomatékkal összhangba hozzuk, kényszerűen csökkenteni kellett a próbatetek csélességét.

A hengerelhető pakettek méretei az elmondottak alapján:

$h = 30$ mm ill. $19,3$ mm,

$b = 45$ mm, $l = 200$ mm.

Az érintkező felületen ható nyomás hatásának nagyobb időtartama a kialakuló kötés erősségét növeli [2–4]. Ez azt jelenti, hogy a kötés kialakulása szempontjából legfontosabb első szűrást, és lehetőleg a következő második és harmadik szűrást is kisebb hengerlési sebességgel kell végezni.

A sebesség csökkentésénél azonban korlátot jelent a hengerelt darab hengerekkel érintkező felületi rétegeinek erőteljes lehűlése. A Von Roll állványon egy hengerlési sorozat megkezdése előtt hőlégfúvókkal és előmelegítő „tuskókkal” a hengereket $65\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$ -ra elő tudjuk melegíteni, de a hengerlés megkezdése után a táblalemez-hengerlés sajátosságaiból adódóan kisebb mértékű hűtőpótlás miatt folyamatosan hűlnek. A hengerlési sebességeket ezen ellentmondást is figyelembe véve úgy határoztuk meg, hogy a daraboknak az alakváltozási zónán történő áthaladási ideje az ipari meleghengerművek szűrésaihoz hasonló tartományba essen. Az azonos időtartamot biztosító szűrés következtében a szűrásonként azonos mértékű alakváltozások ($\varepsilon_{ipari} = \varepsilon_{Labor}$) és alakváltozási sebességek ($\dot{\varepsilon}_{ipari} = \dot{\varepsilon}_{Labor}$) tervezhetőségét, és ezzel az ipari viszonyokra történő átszámítást is lehetővé teszi.

A kísérletekhez választott hengerlési sebességtartomány a plattírozó szűrésokhoz $v_{heng} = 4\text{--}6$ m/min, a további meleghengerléshez $v_{heng} = 8\text{--}15$ m/min volt.

Az egyes szűrésokban megvalósított alakváltozás mértéke alapvetően befolyásolja az alakítási ellenállást, és ezen keresztül kötést létrehozó nyomást. Mint már utaltunk rá, a hengersorvonó motor nyomatéka szab határt a kifejthető hengerlési erőnek. Ez a kis alakváltozással végzett plattírozó szűrésokban nem, de a további szűrésokban, majd a hideghengerlés során már korlátot jelent az egy szűrásban megvalósítható vastagságcsökkenés szempontjából.

Előkísérleteink során szerzett tapasztalataink alapján az alakváltozás mértékének hatását $\Delta h = 0,2\text{--}0,63$ mm vastagságcsökkenési tartományban vizsgáltuk.

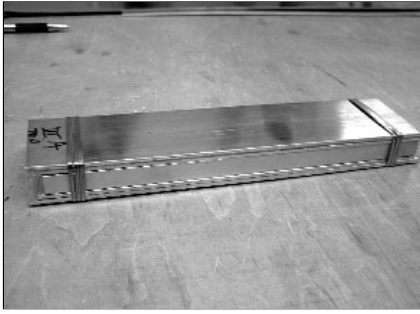
A hengerek és a hengerelt darab érintkező felületén fellépő sűrűdés biztosítja a befogást, és az alakítás elvégzését.

Az alumínium és ötvözetek meleghengerlésénél fokozottan hajlamosak az alakító hengerek felületén történő feltapadásra. Megakadályozására a meleghengerművekben a hengerek és a hengerrésbe befutó darab felületére nagy mennyiségű hűtőkenő emulziót juttatnak. Ez a módszer erős hűtőhatása miatt a kísérleti hengerlés során nem használható, ezért gondoskodni kellett arról, hogy a hűtőkenőanyag csak a szükséges minimális mennyiségben kerüljön fel a munkahengerekre. Az első plattírozó szűrésokat a kenőanyagok a pakett rétegei közé történő bejutás kizárása érdekében kenőanyag nélkül, szárazon végeztük.

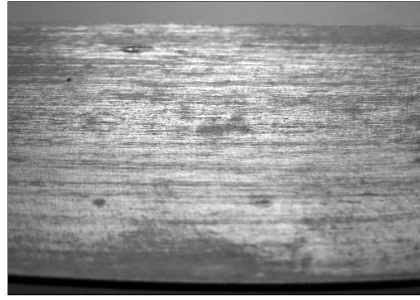
A rétegek vastagsági arányának, felületi érdességüknek, illetve a hengerek felületi érdességének a plattírozási folyamatra gyakorolt hatásának vizsgálatával ebben a kutatási fázisban nem foglalkoztunk.

3. A kísérleti pakettek kialakítása

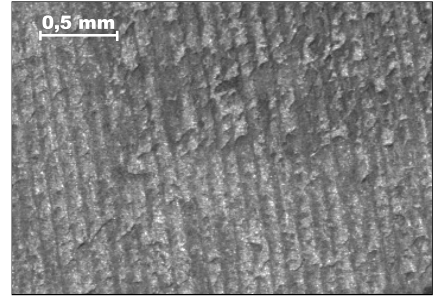
A kísérleti pakettek előmelegítő kemencébe történő berakása, kivétele, és a hengerek közé történő beadása is kézi fogó segítségével történt. Az egyes rétegek elmozdulásának megakadályozásához a paketteket összeállításuk után hengerléssel ellapított vékony, lágy alumínium huzallal kötöttük át (1. ábra). A pakettek összeállítása során az érintkező felületeket alkoholos lemosással zsírtalanítottuk.



■ **1. ábra.** Előmelegítéshez összepántolt kísérleti pakett a laboratóriumban



■ **2. ábra.** Elégtelen hegedés miatt oxidálódott felületrészek a borítólemezen a szétválasztás után (1. szűrés, $\Delta h = 0,25$ mm)



■ **3. ábra.** Kis hőmérséklet miatt elégtelen kötés nyomai a maglemezen (2. szűrés, $\Delta h = 0,4$ mm, $T \approx 390$ °C)

4. Elvégzett kísérletek

A kiinduló hőmérséklet, az első plattírozó szűrésokban alkalmazható alakváltozás, és a hengerlési sebesség hatásának vizsgálatára vonatkozóan előzetes hengerlési kísérleteket végeztünk. A szerzett tapasztalatok alapján azon tartományra végeztünk párhuzamos hengerlési kísérleteket, amelyen belül jönnek minősített (mint a későbbiek során kiderült, több esetben csak annak látszó) kötéseket is sikerült létrehozni.

A háromrétegű pakettek hengerlését $\Delta h = 0,25$ mm, $0,4$ mm, és $0,63$ mm vastagságcsökkenésekkel végeztük el. A hengerlési sebességet az első szűrésokban $5,6$ m/min-ra állítottuk be, majd a lehűlés csökkentése érdekében $11,2$ m/min-ra növeltük. A hengerlési kezdő hőmérséklet a kísérletsorozatnál 480 °C volt.

5. Eredmények

Az egyes kísérletek eredményességének ellenőrzésére hengerlés közben nem volt lehetőségünk. A nyilvánvalóan sikertelen kísérleteknél azonnal látható volt, hogy a rétegek között nem, vagy csak a darab végein, ill. más esetekben a darab középső részének környékén jött létre összehégedés. A vizuális megítélésnél biztosabban jelezte a kötés létrejöttét a felületi hőmérséklet gyors beállású hőmérővel (tüskés termoelempár) történő mérése. A nem megfelelő kötés esetén a fedőlemez felületi rétegének túlhevülése következett be, és ezt nem kompenzálta a maglemezről is kiáramló hőmennyiség, ezért lényegesen alacsonyabb hőmérsékletet mérünk. Az egyes jónak minősített paraméterekkel hengerelt darabok közül

további vizsgálatok céljára mintákat tettünk félre.

A $\Delta h = 0,25$ mm magasságcsökkenéssel végzett sorozatnál csak néhány esetben volt megállapítható, hogy létrejött a mag és a fedőrétegek közötti kötés. A 2. ábra az első szűrés után félretett háromrétegű mintadaráb fedőrétegének közel hat hónap után elvégzett lefejtése után készült a borítólemez belső felületéről.

Az ábra a darab felületét teljes szélessége mentén mutatja be. A ténylegesen összehegedt, a levegő oxigéntartalmával történő érintkezést kizáró helyeken a szétválasztáskor felszakadt fényesebb felület mellett mintegy 30% oxidálódott, sötét színű rész jelzi a kötés helyi hiányát. A hengerlést rövid idővel követő szétválasztás után ez a jelenség még nem látszott.

Hasonlóan elégtelen hegedésre példa a 3. ábrán bemutatott felvétel, amelyet Zeiss Discovery V12 típusú sztereomikroszkópon készítettünk.

A darab $\Delta h = 0,4$ mm vastagságcsökkenéssel végzett sorozat első szűrése előtti résállítási korrekció következtében lehűlt és kisebb hőmérsékleten (kb. 390 - 400 °C) tudtuk hengerelni. Az utánmelegítés nélkül végzett második szűrés után a felületen mért hőmérséklet 360 °C volt, és a kötés vizuális megítélés alapján létrejött.

A borítólemez leválasztása után készült ábrán azonban jól látható, hogy a maglemez marógépen történő forgácsolásakor kialakult körív alakú forgácsolási nyomok bár alakjuk változott, de jól felismerhetően megmaradtak. Az ábrán látható az érdes-ségcsúcsok (kiemelkedő, ívesen futó érdeség „hegyek”) részleges kiszakadozása. Ezen területek aránya nyilvánvalóan arra utal, hogy a kötés a

kisebb hőmérsékleten a második szűrés után is csak kisebb területekre kiterjedően jött létre.

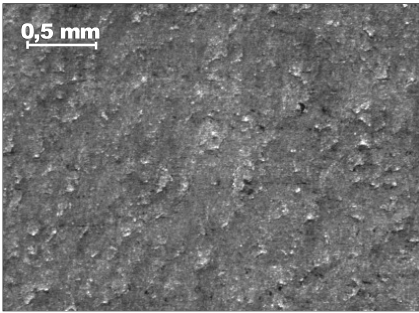
A tervezettnél megfelelő hengerlés szerint ≈ 468 °C hőmérsékleten végzett második szűrés után meggyógyt minta szétválasztása után kapott maglemezfelületről készült a 4. ábrán bemutatott felvétel. A vele érintkező borítólemez-felületről készült kép az 5. ábrán látható.

Az ábrán lévő vízszintes vonalszerű nyomok a borítólemezeknek a pakett kialakításához történő előhengerléskor behengerelt hengermegmunkálási nyomokra vezethetők vissza.

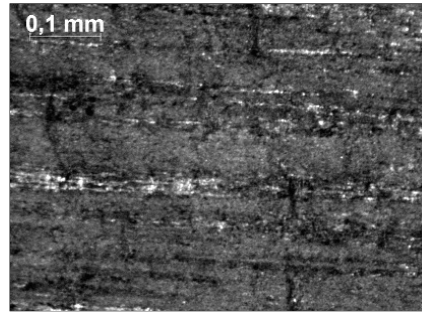
A $\Delta h = 0,63$ mm vastagságcsökkenés kísérleti körülményeink között túl nagyak bizonyult. Úgy találtuk, hogy ha létrejött is a hengerrésben a kötés, a hengerek közül való kilépéskor valószínűleg a hengerfelületeken fellépő tapadás miatt (kenőanyag nélküli hengerlés!) a hengerek felszakították a fedőlemezeket.

Az ötrétegű lemezek hengerlésére végzett kísérletünk során a harmadik szűrást követően félretett minta kötéseinek szétbontása után az ötvöztelen alumíniumból készített közbenső réteg fedőlemez oldali felületén durva újrakristályosodás nyomai látszódtak (6. ábra).

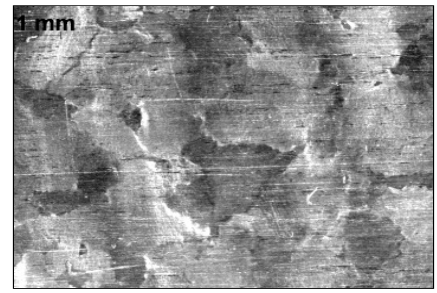
A fotó a felületek szétválasztása után a szabadabbá tett felületről készült. Az egyes kristallitok eltérő orientációjából adódó különböző keménységű, és ennek megfelelően különböző mértékű alakváltozás következtében a felület egyenetlen, tapintással „érdesnek” érzékelhető. Ez arra utal, hogy az újrakristályosodás megelőzte a hengerlést, vagyis a közbenső réteg alapanyagának hideghengerléssel történő előkészítéskor alkalmazott alakváltozás, és az előmelegítő kemencében való tartózkodás



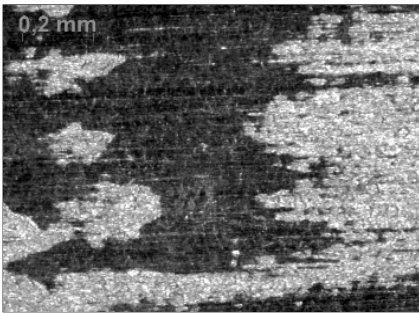
■ **4. ábra.** A maglemez felülete jónak minősített kötés szétbontása után (2. szűrés, $\Delta h = 0,4$ mm, $T \approx 468$ °C)



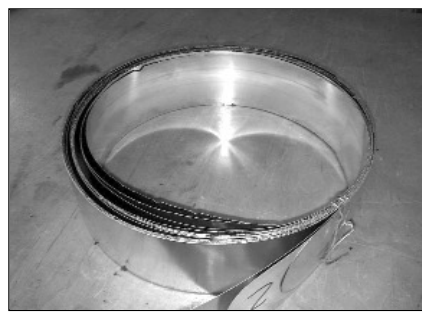
■ **5. ábra.** A borítólemez felülete jónak minősített kötés szétbontása után (2. szűrés, $\Delta h = 0,4$ mm, $T \approx 468$ °C)



■ **6. ábra.** Ötrétegű lemez közbenső rétegének fedőlemez felé eső oldala a kötés szétbontása után (3. szűrés, $\Delta h = 0,4$ mm, $T \approx 462$ °C)



■ **7. ábra.** Ötrétegű lemez fedőlemezének belső oldala a kötés szétbontása után (3. szűrés, $\Delta h = 0,4$ mm, $T \approx 462$ °C)



■ **8. ábra.** Plattírozott lemez hideghengerlés után (kész vastagság 0,22 mm)

(hőmérséklet és időtartam) hatására jöttek létre a nagyméretű kristallitok.

A borítólemeznek az ezzel a felülettel érintkező oldalán foltokban láthatók a közbenső rétegből kiszakított több négyzetmilliméter területű anyagrészek (7. ábra világosabb területei). A közbenső réteget alkotó lemez mag felé eső oldalán a mag marási megmunkálásából adódó nyomok benyomódása érzékelhető.

6. Hideghengerlés

Hideghengerlési kísérleteink során a melegen, majd az utolsó két-három szűrésben kényszerűségből félmelegen hengerelt pakettekből nyert többrétegű lemezeket csévézők használata nélkül hengereltük tovább 0,22 mm méretre. Az így kapott szalagot kardosodása miatt esetenként csak több darabra szétvágva, és a kardosodást korrigáló szűrésokat alkalmazva tudtuk teljes hosszában kihengerelni, ahogy az a 8. ábrán is látható. A hengerállvány maximális nyomatékából adódóan szükségszerűen kis szűrásonkénti alakváltozások miatt csak sok szűréssel sikerült a tervezett hideghengerlési végméret elérése. A melegen (esetenként az utolsó szűrés-

sokban félmelegen) hengerelt lemezt újrakristályosító hőkezelés előtt olyan vastagságra kellett hengerelni, hogy kemencébe történő berakáshoz „tekercs formára” összehajtható volt. Ez azzal is járt, hogy a szalag szélei az alakváltozás növekedésével erősen berepedeztek (szélezésre nem volt lehetőség).

7. Következtetések

Az elvégzett vizsgálatokból megállapítható, hogy a meleghengerléssel történő plattírozás technológiájának kialakításához szükséges kísérletek a Von Roll hengerállványon kompromisszumok árán ugyan, de elvégezhetőek. Az első egy-három plattírozó szűrés után végzett vizsgálataink szerint csak az érintkezési felület egy részére kiterjedő kötés-kialakulást állapítottunk meg, a további nagyméretű összes alakváltozással járó szűrésok során azonban rétegek összehegedése valószínűleg a teljes érintkezési felületre kiterjedhet.

8. Köszönetnyilvánítás

A cikk megjelenését a „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági köz-

pontok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt támogatja.

Felhasznált szakirodalom

- [1] Zupkó I., Roósz A.: A Von Roll kísérleti hengerállvány telepítése a Miskolci Egyetemen. Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat, 142. évf. 2. sz., (2009) 36–39
- [2] Junkers Von D. et al.: Walzplattiertes Blech, Umformtechnik Plastomechanik und Werkstoffkunde (1997) 776–784 ISBN 3-514-00402-1
- [3] Eizadjou M., et al.: Investigation of structure and mechanical properties of multi-layered Al/Cu composite produced by accumulative roll bonding (ARB) process. Composites Science and Technology 68 (2008) 2003–2009
- [4] Jea-Sung R. et al.: Brazeability of cold rolled three layer Al–7.5 Si/Al –1.2 Mn–2Zn–(0.04–1.0) Si/A–7.5Si (wt.%) clad sheets. Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 240–244
- [5] Hwang Y.-M. et al.: Analytical and experimental study on bonding behavior at the roll gap during complex rolling of sandwich sheets. International Journal of Mechanical Sciences 42 (2000) 2417–2437
- [6] Szabó G., et al.: Plattírozott alumíniumlemezek előállításakor fellépő jelenségek vizsgálata. XIV. Képlékenyalakító Konferencia (2012) 268–274. ISBN 978-963-661-985-5