

Alumínium lemezek plattírozási technológiájának optimalizálása

Kutatásunkban eltérő tulajdonságú alumínium lemezeket plattíroztunk. A plattírozást a Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Von Roll hengerállványán 480 °C-on végeztük. Kidolgoztunk egy modellt, melyet egy, az ALCOA Köfém Kft.-ben járatos anyagpárra teszteltünk is, és amellyel a plattírozás során a rétegek közötti kötés nagy sikerrel kialakult. Az így kialakult kötés esetén megvizsgáltuk a jellegzetes kötési hibákat, és kidolgoztuk a kötés erősségének mérési módszerét is.

Előszó

Jelen cikkünk közvetlenül kapcsolódik az előző, Zupkó István – Szabó Gábor: Plattírozási kísérletek a Von Roll hengerállványon brazing alapanyagok hengerléséhez c. cikkhez, ezért az ott ismertetett technológiai sajátosságokat itt nem ismételjük meg.

Bevezetés

Napjainkban a hagyományos járműipari alapanyagokat egyre szélesebb körben váltják fel az új, innovatív anyagok. Az egyre dráguló energia arra ösztönzi az autógyártókat, hogy minél több alumíniumterméket építsenek be a járművekbe. Cikkünkben egy régóta ismert technológiával, a „brazing” lemezek plattírozással történő előállításával foglalkozunk. A plattírozással előállított termékeket mára nem csak az autógyártás, hanem egyéb iparágak is széles körben használják. A technológia fontos szerepet tölt be, mivel egy adott tulajdonságú ötvözet felületére egy merőben más tulajdonságú réteget vihetünk fel. Az így előállított kompozit anyag pedig magában hordozza mindegyik réteg pozi-

tív tulajdonságát, pl. nagy alakváltozó képesség, megnövekedett felületi szilárdság stb.

Korábban számos tanulmány készült, amely az alumínium plattírozás technológiájával foglalkozott. Kimondták, hogy a hengerléssel történő plattírozás egy olyan nyomásos hegesztési eljárás, ahol a kötés a képlékeny alakítás hatására jön létre [1–2]. A kialakult kötés erőssége arányos az alakítás nagyságával, azonban a kötés kialakulásához az alakítás mértékének egy alsó határértéket el kell érnie [1–3]. Ezt az alsó határértéket meghaladva azonban a kötés erőssége dinamikusan nő, és végül eléri az alapanyag szakítószilárdságát [1–2]. Továbbá kimondták azt is, hogy ezek a megállapítások közel azonos geometriával rendelkező lemezekre igazak, és az alakítási küszöbérték minden anyagra más és más [4]. Azonban nem vizsgálták, hogy hogyan alakul ki a kötés egészen eltérő vastagságú rétegek plattírozása során.

A kísérleteink során olyan szendvicslemezt állítottunk elő, ahol egy jól alakítható ötvözetből öntött tuskó olvadáspontú fedőlemezt plattíroztunk, amely a „brazing” technológia

leolvadó rétegeként szolgál. Az így előállított lemezek kötésének erősségét lefejtő vizsgálatokkal számszerűsítettük. A vizsgálat során T-peel tesztet alkalmaztunk, ahol a keresztfej-elmozdulás függvényében ábrázoltuk a fajlagos lefejtő erő nagyságát.

A kísérletek leírása

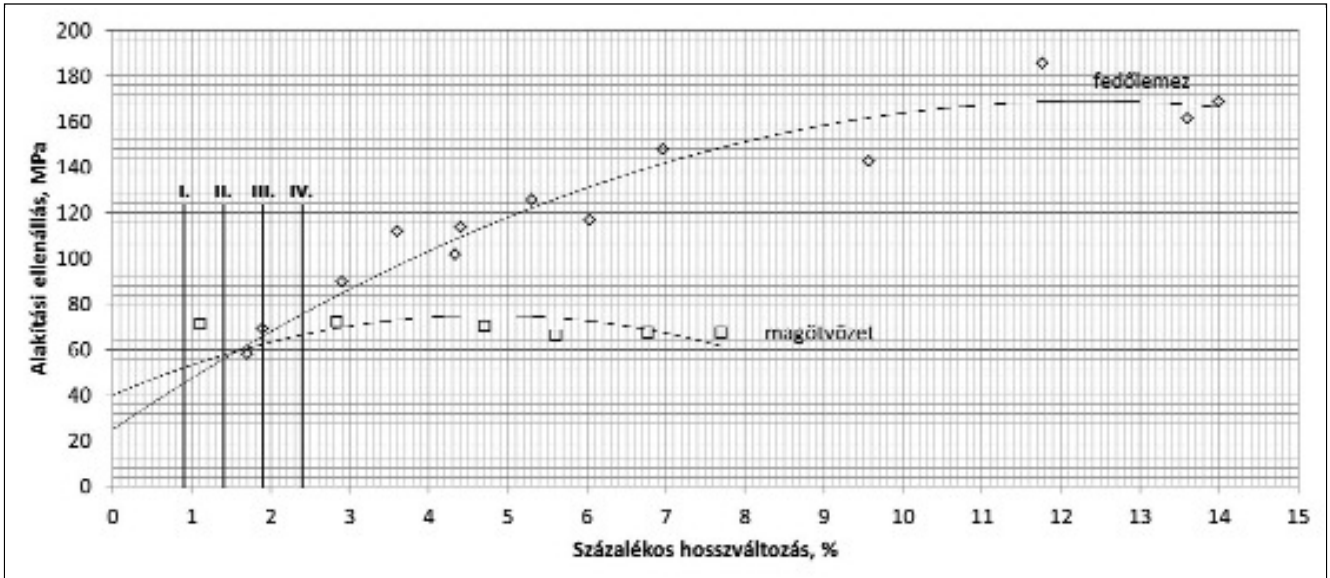
A szűrőrásterv kidolgozásához elengedhetetlen volt ismerni az alapanyag alakítási szilárdságát a plattírozás hőmérsékletén, ezért melegszakító-vizsgálatok segítségével állandó alakváltozási sebesség mellett meghatároztuk azokat. Korábbi előkísérleteink azt mutatták, hogy az alakítás mértéke nagyban befolyásolja a kötés kialakulását, tapasztalataink szerint túl kicsi és túl nagy alakítás hatására sem alakul ki a kötés. Ezért szükséges volt különböző szűrőrástervek kidolgozása, melyekhez ismernünk kellett az alakítási ellenállás változását a különböző vastagságú és anyagú rétegek esetében.

Az alakítási ellenállás a hengerlési erő és a nyomott felület hányadosaként számítható, a hengerlési erő regisztrálásával egy könnyen számítható mennyiség, amely anyagfüggő és az alakítás mértékével arányos. A nyomott felület a darab szélesség és a nyomott ívhossz szorzata. Az így regisztrált mérési pontokra egy görbe illeszthető. A közepes alakítási ellenállás Geleji szerint:

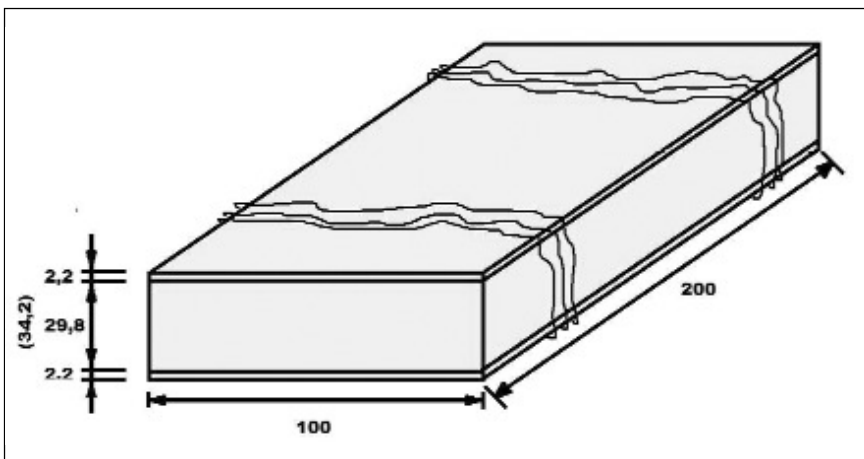
$$k_k = k_{fk} \left(1 + C\mu \frac{l_d}{h_k} \right) \quad (1)$$

Szabó Gábor 2006-ban Gépgyártás-automatizálási Szakirányon végzett a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán, majd 2009-ben szerzett anyagmérnöki diplomát a Műszaki Anyagtudományi Kar Hőkezelő és Képlékenyalakító szakirányán, Anyaginformatikai ágazaton. 2010 szeptemberétől nappali tagozatos PhD-hallgató a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskolában. Doktori témája a plattírozott alumínium lemezek gyártástechnológiájának optimalizálása.

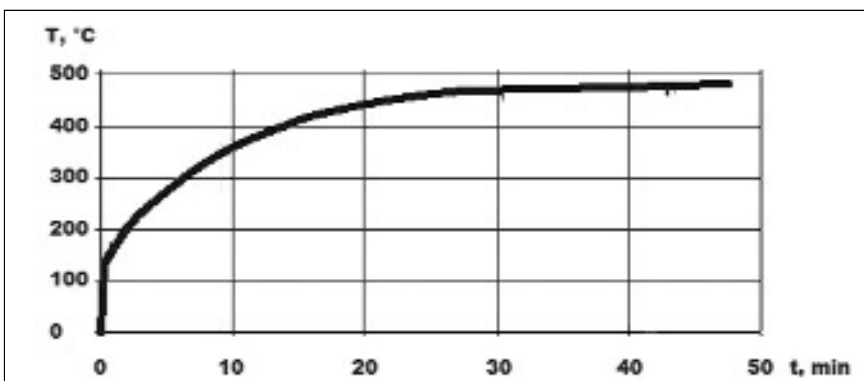
Dr. Mertinger Valéria 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben pedig a Kossuth Lajos Tudományegyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1994-ben szerezte a Miskolci Egyetemen. A Műszaki Anyagtudományi Kar docense, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola tisztagja. Témavezetésével eddig két hallgató szerzett PhD-fokozatot. Jelenleg három fő, köztük Szabó Gábor témavezetője.



■ 1. ábra. Alakítási ellenállás a megnyúlás függvényében



■ 2. ábra. A kiinduló pakett méretei



■ 3. ábra. A pakett felmelegedése 500 °C-os kemencében.

nyúlni. Itt kell megjegyeznünk, hogy ezek az értékek az ALCOA Kőfém Kft.-től kapott anyagpárra igazak, azonban ötvözetfajtánként változnak. A 60 MPa kb. 1,5%-os megnyúlásnak – ha a szélesedést elhanyagoljuk – vastagságcsökkenésnek felel meg. A szűrastervek kidolgozásánál a százalékos megnyúlás értékeket vettük alapul és az ábrán római számokkal jelöltük, az egyes megnyúlásokhoz tartozó szűrasterveket.

Továbbá a szűrastervek kidolgozásánál nem elhanyagolható az a tény sem, miszerint a darabok a kezdetben tökéletesen illeszkednek egymásra, ezért célszerű a tapasztószűrásokat egymás után több lépcsőben megismételni. Ezáltal a kötés nagyobb valószínűséggel kialakul. A hengerlési sebességet úgy kell megválasztani, hogy a felületi nyomás a lehető leghosszabb ideig rendelkezésre álljon, a fedőlemezek nagymértékű elhúlése nélkül.

Ezeket és a végállapotban kívánatos vékonyréteg vastagságot figyelembe véve az általunk elkészített kiinduló szendvics geometriai méreteit a 2. ábra, az ehhez használható szűrasterveket az 1. táblázat mutatja. A pakettek elkészítéséhez a fedőlemezeket a megfelelő méretre hidegen hengereltük, míg a magtuskót öntött állapotban marással munkáltuk ki. Jelen tanulmányunkban a felületi érdesség hatásával nem foglalkoztunk. A hengerlés kezdő hőmérsékletét 480 °C-nak, a hengerlési sebességet pedig 5 m/percnek választottuk.

ahol k_{fk} közepes alakítási szilárdság
 C állandó
 μ súrlódási tényező a hengerrésben
 l_d nyomott ívhossz
 h_k közepes darabvastagság

A modellkísérletek során az 1. ábrán jól látható, hogy a fedőlemez alakítási ellenállása folyamatosan nő, míg a magötvözet esetében nem változik. Továbbá látható, hogy 60 MPa alakítási ellenállás alatt a fedőlemez, míg fölötte a maglemez fog jobban

1. táblázat. Szűrőtervek a tapasztószűrásokhoz

I. szűrőterv						
Sorsz.	h_{ber} , mm	Δh , mm	h_{kir} , mm	ϵ , %	$\epsilon_{össz}$, %	Kötés?
1.	34,2	0,3	33,9	0,88%	0,88%	✗
2.	33,9	0,3	33,6	0,88%	1,75%	✗
3.	33,6	0,3	33,3	0,89%	2,63%	✗
4.	33,3	0,3	33	0,90%	3,51%	✗
5.	33	0,4	32,6	1,21%	4,68%	✗
6.	32,6	0,4	32,2	1,23%	5,85%	✗
7.	32,2	0,5	31,7	1,55%	7,31%	✗

II. szűrőterv						
Sorsz.	h_{ber} , mm	Δh , mm	h_{kir} , mm	ϵ , %	$\epsilon_{össz}$, %	Kötés?
1.	34,2	0,4	33,8	1,17%	1,17%	✓
2.	33,8	0,4	33,4	1,18%	2,34%	✓
3.	33,4	0,4	33	1,20%	3,51%	✓
4.	33	0,4	32,6	1,21%	4,68%	✓
5.	32,6	0,5	32,1	1,53%	6,14%	✓
6.	32,1	0,5	31,6	1,56%	7,60%	✓
7.	31,6	0,6	31	1,90%	9,36%	✓

III. szűrőterv						
Sorsz.	h_{ber} , mm	Δh , mm	h_{kir} , mm	ϵ , %	$\epsilon_{össz}$, %	Kötés?
1.	34,2	0,5	33,7	1,46%	1,46%	✓
2.	33,7	0,5	33,2	1,48%	2,92%	✓
3.	33,2	0,5	32,7	1,51%	4,39%	✗
4.	32,7	0,5	32,2	1,53%	5,85%	✗
5.	32,2	0,6	31,6	1,86%	7,60%	✗
6.	31,6	0,6	31	1,90%	9,36%	✗
7.	31	0,8	30,2	2,58%	11,70%	✗

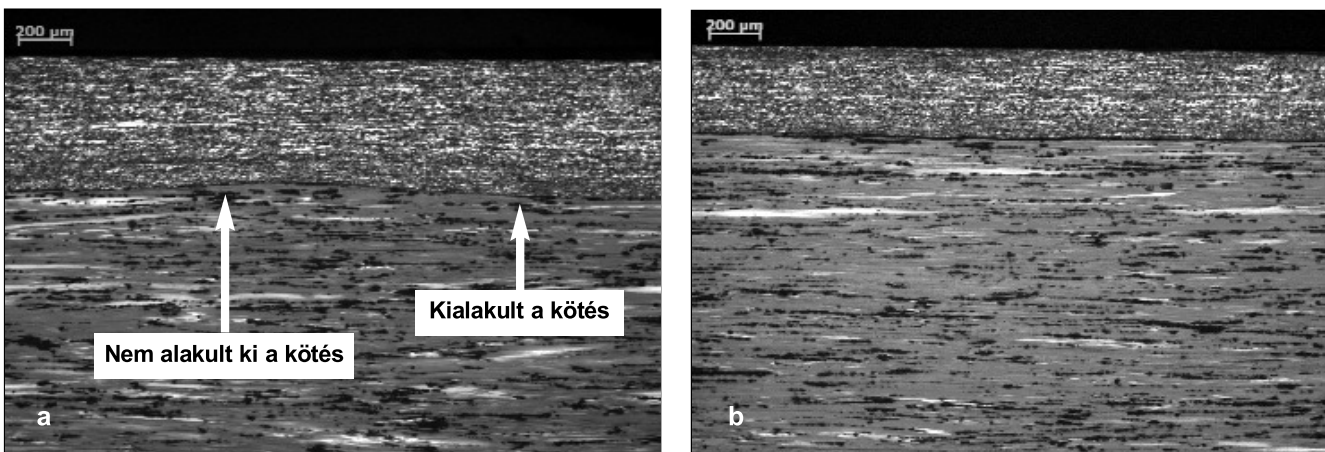
IV. szűrőterv						
Sorsz.	h_{ber} , mm	Δh , mm	h_{kir} , mm	ϵ , %	$\epsilon_{össz}$, %	Kötés?
1.	34,2	0,6	33,6	1,75%	1,75%	✗
2.	33,6	0,6	33	1,79%	3,51%	✗
3.	33	0,6	32,4	1,82%	5,26%	✗
4.	32,4	0,6	31,8	1,85%	7,02%	✗
5.	31,8	0,8	31	2,52%	9,36%	✗
6.	31	0,8	30,2	2,58%	11,70%	✗
7.	30,2	1,2	29	3,97%	15,20%	✗

tuk. A darabok érintkező felületeit a pakett összeállítása előtt denaturált szesszel zsírtalanítottuk. Az összeállított darabok hevítését egy légkeveréses kemencében végeztük. A hőtartás ideje 1 óra volt. A kis méretek és a gyors felületi hőelvonás hatását kiküszöbölendő a darabokat minden tapasztó szűrás után visszahelyeztük a kemencébe visszamelegítés céljából. A visszamelegítés idejét az elérni kívánt hőmérséklet határozta meg. A darabok átmelegedésének időbeni változását a 3. ábra mutatja.

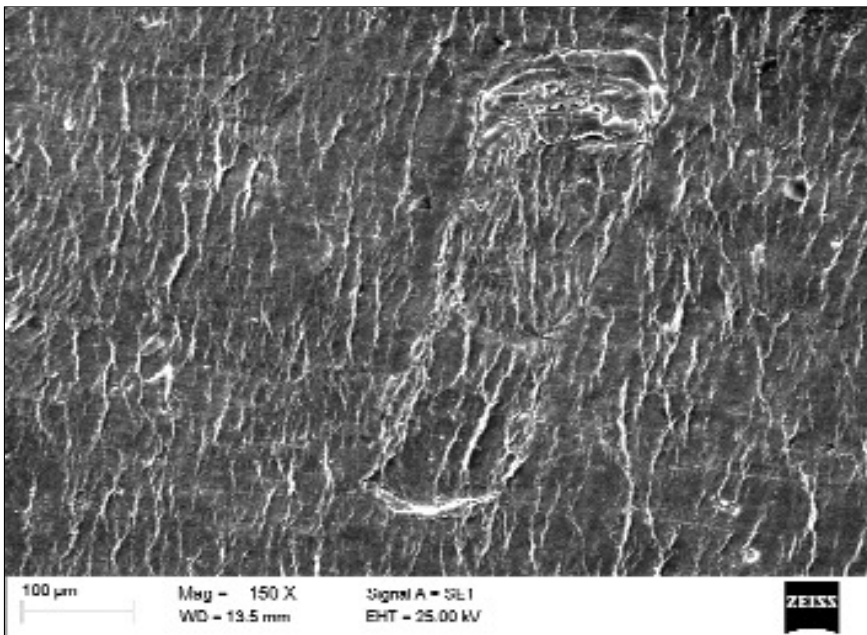
Látható, hogy az egyes szűrőtervekben a első szűrások 0,9; 1,2; 1,5 és 1,8% körül mozognak. Az utolsó oszlopban jelöltük, hogy a kötés a

magtuskó mindkét oldalán szabad szemmel látható hiba nélkül kialakult-e. Amennyiben csak az egyik oldalon, vagy szemmel láthatóan nem teljes hosszban, úgy a plattírozást nem tekintettük elfogadhatónak. Látható, hogy a II. szűrőterv biztosította az elvárt kötés kialakulását. Sajnálatos, hogy a többi szűrőterv nem vezetett eredményre. Részben kialakult ugyan a kötés, de a hengerrésből kifutó darabon szabad szemmel is látható kötési hibák keletkeztek, több ízben csak az egyik oldalon jött létre a kötés. Ezeket a lemezeket a szűrőtervnek megfelelően továbbhengereve a kötés nem alakult ki. Mivel létrejön a kötés, a rétegek együtt nyúlnak tovább, azon-

ban túl nagy alakváltozás még itt sem engedhető meg, mert a kötés erőssége kicsi, és a rétegek felszakadhatnak. Tapasztalataink szerint, ha az első három szűrásban nem alakul ki a kötés az egyes rétegek között, akkor a továbbhengerezés során sem várható, hogy a rétegek összehegedjenek. Azonban ha kialakul a kötés a rétegek között, és a kötés a kialakulást követő harmadik-negyedik szűrásban nem szakad fel, akkor a továbbhengerezés során sem várható felszakadás. Ezért az ötödik-hatodik. szűrás után az alakítás mértékét folyamatosan szükséges volt emelni, hogy a magötvözetet teljesen áthengerejlük.



4. ábra. Jellemző kötési hibák. a.) nem teljes hosszban kialakult kötés. b.) nem alakult ki a kötés



■ 5. ábra. Folyási vonalak a fedőlemezen és egy jellegzetes kötési hiba

Eredmények

Több szűrőterv kidolgozása segítségével meghatároztuk, hogy a kötés kialakulása egy szűk alakítási tartományban megy végbe. Ha az első ún. tapasztósűrítés ennél kisebb, a felületi nyomás nem elegendő a kötés kialakulásához, ha ennél nagyobb, akkor kialakul ugyan a kötés, de a mag nagyobb megnyúlása miatt rögtön fel is szakad. Ebből következik, hogy olyan tapasztósűrítés-tervet kell alkalmaznunk, ahol a fedőlemez megnyúlása nem kisebb a magénál és a felületi nyomás elegendő ideig áll rendelkezésre a fedőlemez jelentős hőmérsékletcsökkenése nélkül.

Az így előállított szendvicslemezeket 0,5 mm vastagságig hengereltük. A hengerlés során minden szűrítés után mintát vettünk, melyekről optikai mikroszkópos és SEM-felvételeket készítettünk. A 4. ábrán néhány jellemző kötési hiba látható. A mintákat Barker marószerszeggel marattuk, hogy láthatóvá tegyük a kötési hibák mellett a szemcseszervezetet is.

Látható, hogy a kötés kialakulása nem hibamentes, ezért a kötés erősségének minősítésére is szükség van, melyet lefejtő vizsgálat segítségével végeztünk. Korábbi tanulmányokban [3] a minősítéshez peel tesztet alkalmaztak. Tapasztalataink szerint a T-peel teszt ugyanúgy alkalmas a kötés erősségének minősíté-

sére, mint a peel teszt, azonban egyszerűbben és gyorsabban elvégezhető. A vizsgálatok részletes ismertetésével egy másik publikációban foglalkozunk [5].

A plattírozás után a fedőlemezeket a magtuskó két végén 90°-ban, 20 mm sugarú hajlítószerrel segítségével visszahajtottuk, majd szakítógépre fogtuk. A vizsgálat során a keresztfej sebességét 20 mm/perc értékre állítottuk. Az így regisztrált erő értékeket a plattírozás utáni szélességgel elosztva kaptuk a fajlagos lefejtőerő értékét, amely a kötés erősségével arányos.

A lefejtő vizsgálatok után elválasztott felületekről SEM-felvételeket készítettünk, a kötési hibákra fókuszálva. Az 5. ábrán láthatóak a folyási vonalak, valamint egy jellegzetes kötési hiba, mely egy légbeszűrődésre, vagy egy benyomódásra utal.

Megállapítások

Igazolható volt, hogy a kötés csak egy adott alakítási tartományban alakul ki, ennél kisebb tartomány esetén nem elegendő a felületi nyomás a kötés kialakulásához, nagyobb alakítás mellett ugyan kialakul a kötés, de a hengerrészből kilépve az eltérő nyúlásnak köszönhetően részben, vagy teljes egészében rögtön fel is szakad. Hogy minden anyagkombinációra igaz-e a megállapítás, az további

vizsgálatokat igényel. Továbbá igazolható, hogy ha az első néhány tapasztósűrítésben nem alakul ki a kötés, a későbbi szűrések alatt sem várható.

Összefoglalás

A plattírozás ugyan egy régóta ismert és széles körben alkalmazott eljárás, de a technológia egyes részei máig kiforratlanok, ezért a kutatása a mai napig nagyon fontos területe az anyagtudománynak. A megnövekedett vevői igények, az anyagokkal szembeni egyre nagyobb követelmények, folyamatos fejlesztésre kényszerítik az alapanyaggyártókat. Kutatásunk során kidolgoztunk egy olyan modellt, mellyel viszonylag kevés kísérlettel optimálható a plattírozó szűrőterv, valamint kidolgoztunk egy mérési módot, mellyel a létrejött kötés jól és gyorsan minősíthető.

Köszönetnyilvánítás

A cikk megjelenését a „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” TÁMOP-4.2.1.B-10/2KONV-2010-0001 projekt támogatja.

Irodalomjegyzék

- [1] Bay N.: Cold welding. Part I. Characteristic, bonding mechanisms, bond strength, Met Construct (1986) 369–372.
- [2] Wright P. K., Snow D. A., Tay C. K: Interfacial conditions and bond strength in cold pressure welding by rolling. Met Technol (1978) 24–31.
- [3] Eizadjou M., Danesh Manesh H., Janghorban K.: Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminum alloy strips. Materials and Design (2009) 4156–4161.
- [4] Zhang W., Bay N.: Cold welding-theoretical modeling of weld formation. Weld J (1997) 417–420.
- [5] Szabó G., dr. Mertinger V.: Plattírozott alumíniumlemezek előállítása során fellépő jelenségek vizsgálata. XIV. Képlékenyalakító Konferencia (2012) 268–274. ISBN 978-963-661-985-5