

volvítva az oldatból tiszta  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  válik ki, az ammónia pedig vízben elnyelve visszajártható.

A réz eltávolítására azonban alternatív megoldásokat is érdemes lehet a továbbiakban megvizsgálni. Az anioncserés elválasztás [11] is felmerülhet gyakorlati lehetőségként, de itt könnyebben megvalósítható a réz cementálása még a vas eltávolítása előtt. Ennek során tiszta vaslemezt kell mártani az oldatba intenzív keverés mellett, ami az oldott rézet a felületén elemi állapotban leválasztja egy gyors kontaktredukciós folyamatban [12], miközben csak a kis réztartalomnak megfelelő mennyiségű vas kerül az oldatba. A szintén megvizsgált cementálási reakcióhoz még szobahőmérsékleten is csak kb. 10 perc érintkezési idő volt szükséges. A laza szivacs, illetve por formában kapott réz pedig a bemeztett vaslemez felületéről mechanikusan leválasztható.

A fémionok – minél szelektívebb – eltávolítása után visszamaradó  $\text{NaNO}_3$  és  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oldatból bepárlással a só kinyerhető és egyéb célokra hasznosítható.

### Köszönetnyilvánítás

A munkát az NKFIH „Tématerületi Kiválósági Program 2019” projektje támogatta. A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Tóth Mártonnak, a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete egyetemi adjunktusának a multieleemes MPAES elemzések elvégzéséért.

### Irodalom

- [1] alliedmarketresearch, „alliedmarketresearch,” [Online]. Available: <https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-commercial-led-lighting-market>. [Hozzáférés dátuma: 11 7 2020].
- [2] „easy-lightbulbs,” [Online]. Available: <https://www.easy-lightbulbs.com/lighting-guides/phase-out-of-incandescent-bulbs/>.
- [3] energy.gov, „energy.gov,” [Online]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/lighting-choices-save-you-money/how-energy-efficient-light>
- [4] civitta, „civitta,” [Online]. Available: <https://civitta.com/articles/top-trends-in-the-lighting-industry>.
- [5] J. Lucas, T. L. Mercier, P. Lucas és A. Rollat: „Applications of Rare Earth Luminescent Materials”, in Rare Earth: Science, Technology, Production and Use, Elsevier, 2015, pp. 281–318.
- [6] K. Anish, Inamuddin and A. M. Abdullah: E-waste Recycling and Management, Springer, 2020.
- [7] T. Kékesi: A kémiai metallurgia alapjai, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2018.
- [8] F. Habashi: “Extractive metallurgy of rare earths”, Canadian Metallurgical Quarterly, vol. 52, pp. 224–233, 2013.
- [9] T. Kékesi and M. Isshiki: “Anion exchange for the ultra-high purification of transition metals”, Erzmetall, vol. 56, no. 2, pp. 59–67, 2003.
- [10] L. G. Sillén, A. E. Martell and J. Bjerrum: Stability constants of metal-ion complexes, London: Chemical Society, Spec. Pub. No. 17., 1964.
- [11] T. Kékesi, K. Mimura and M. Isshiki: “Ultra high purification of Iron by anion exchange in hydrochloric acid solutions”, Hydrometallurgy, vol. 63, pp. 1–13, 2002.
- [12] M. E. Schlesinger et al.: Extractive Metallurgy of Copper, Amsterdam, etc.: Elsevier, 2011

KÁRPÁTI VIKTOR – SZÚCS MÁTÉ

## Lemezek kötőhengerlésének elméleti alapjai és alkalmazásai

**A lemezes fémkompozitok egyre nagyobb teret hódítanak az ipari felhasználásban, amit elsősorban sajátos fizikai és mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetnek. Jelen cikkünkben egy rövid áttekintést mutatunk be a kötőhengerlés technológiájáról és a legfontosabb alkalmazási területekről, amelyek érintik az autóipart, a speciális szupravezető gyártást és az ultrafinom szemcsés anyagok előállítását. Ismertetjük a lemezek közötti kötés kialakulásának alapvető feltételeit, a kötés létrejöttének mechanizmusát, valamint a kötés szilárdságát befolyásoló tényezőket.**

**Kárpáti Viktor** 2020-ban szerzett MSc kohómérnök diplomát hőkezelési és képlékenyalakítási szakirányon a ME Műszaki Anyagtudományi Karán. Jelenleg doktorandusz hallgató és a Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tanszéki mérnöke. Kutatási területe a képlékenyalakítás, kristályosodás, valamint a roncsolásmentes anyagvizsgálat.

**Szúcs Máté** PhD a ME Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet tudományos munkatársa. Szakmai területe: a képlékenyalakítás, képlékenyalakítási technológiák modellezése, alakítástechnológiai mérések.

### Bevezetés

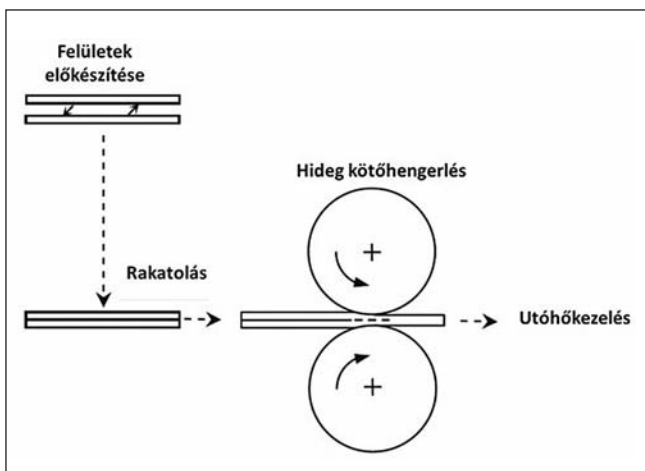
A lemezes fémkompozitok rétegelt szerkezetek, melyek két vagy több egymáson elhelyezkedő fémlémezből épülnek fel, melyek közt – az előállításuk során – atomi kapcsolat alakul ki. A lemezes fémkompozitok előállíthatók meleg és hideg kötőhengerléssel egyaránt. Felhasználásuk szerint megkülönböztetjük az ultrafinom szemcsés lemezes kompozitokat, funkcionális szendvicsszerkezeteket, valamint a keményforrasztáshoz (brézing eljárás)

használt úgynevezett plattírozott lemezeket [1]. A halmozódó kötőhengerléssel történő lemezes kompozit előállításánál során ultrafinom szemcsés anyag jön létre, ezáltal a lemez szilárdsági tulajdonságai javulnak, és a szívóssága sem romlik. A funkcionális szendvicsszerkezetek esetében a kész lemez fizikai és mechanikai tulajdonságait az egyes rétegek paraméterei együttesen határozzák meg. A funkcionális tulajdonságot a fémmatéria rétegtrendje és szövetszerkezete biztosítja. Például bimetalok esetében a kompozit hőtágulási tulajdonságai változnak, bizonyos szendvicsszerkezetek esetén súlycsökkenés elérése a cél, vagy a szilárdság és korrózióállóság növelése. Az autóiparban széles körben elterjedt a plattírozott lemezek felhasználása, amiben eltérő olvadáspontú ötvözetek helyezkednek el egymáson, így a részleges megolvadás révén hozunk létre kötést az egyes szerkezeti rétegek között. Az eltérő rétegek kapcsolódásával különleges kompozitszerkezet alakítható ki, amelynek tulajdonsága a hengerlés paramétereinek változtatásával szabályozható [2, 3].

Cikkünkben ismertetjük a kötés kialakulásának alapvető mechanizmusát, a különböző elméleti modelleket és a kötés szilárdságát meghatározó hengerlési paramétereket a teljesség igénye nélkül. Továbbá bemutatjuk a kötőhengerlési technológiával készült legfontosabb lemezes kompozit típusokat is.

### Kötőhengerlés fogalma és módszerei

Az ipari kompozitanyagok felhasználása az elmúlt évek tendenciái alapján egyre növekszik, ami a technológia folyamatos fejlesztését teszi szükségessé. Az összetett anyagtechnológiák közül a lemezes szerkezetű fémmatériák hengerlése napjainkban is gyors fejlődésen megy keresztül. Meleg hengerlés esetén az újrakristályosodás az alakítás hőmérsékletén történik, míg hideghengerlés esetén ez a folyamat nem indul. A kötőhengerlés olyan képlékenyalakítási technológia, ahol a rétegek tapadását és a kötés minőségét az előkészítő és az alakító műveletek együttesen határozzák meg. A képlékenyalakítás előtt két vagy több fémlémezt helyeznek egymásra, majd a kívánt fogyáig hengerlik a szerkezetet, miközben a rétegek között mechanikai kötés alakul ki (1. ábra).

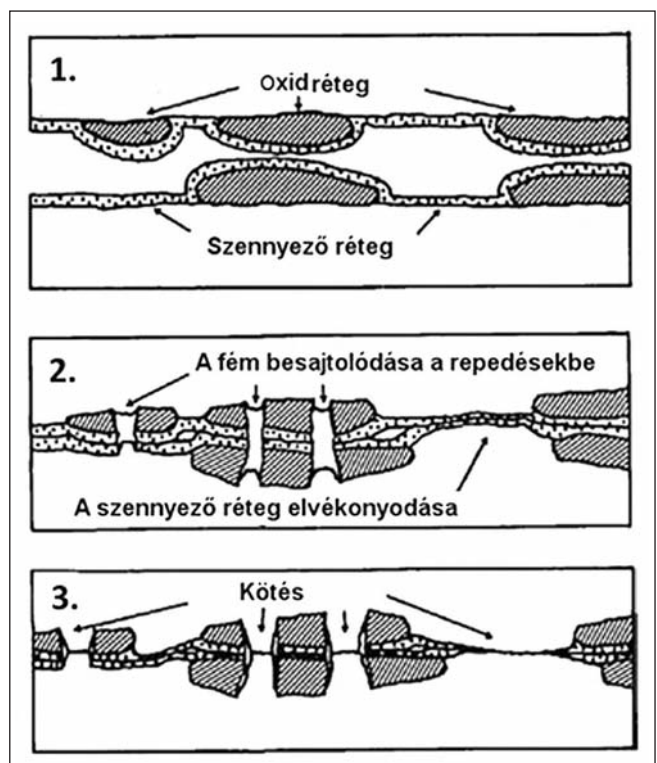


■ 1. ábra. A kötőhengerlés sematikus ábrája [4]

A hideghengerlés után alkalmazott hőkezelés bizonyos esetben növeli a kötési szilárdságot, ha a réteghatáron kialakult diffúziós zóna vastagsága optimális, valamint rideg intermetallikus fázisok nem jelennek meg, míg a lágyító hőkezelés esetén viszont a fémmatéria alakíthatósága javul [4]. Hideghengerléskor a szövetszerkezetben fázisátalakulások nem mennek végbe. A felületi minőség jobb, és a gyártási költségek is alacsonyabbak, azonban a kezdeti állapothoz képest az anyag alakíthatósága kisebb, a szilárdsága pedig nagyobb, ami a hengerlési erőt és a nyomaték-szükségletet növeli. Zongan és társai [5] a megalakítási hőmérséklet kötési szilárdságra való hatását vizsgálták. A megalakítás hőmérsékletén fellépő diffúz adhesió elősegíti a kötés kialakulását, és növeli a kötési szilárdságot is. Más szerzők a határfelületen lejátszódó folyamatok szerepét is kihangsúlyozzák, vizsgálati eredményeik alapján összefüggést állapítottak meg a kötés erőssége és a szilárd oldat határfelületén kiváló vegyületfázisok koncentrációja és eloszlása között [6–8].

### Kötés kialakulásának mechanizmusa

A kötés minőségét jelentősen befolyásolják a különböző technológiai paraméterek és az anyagtulajdonságok. A kötés folyamatának leírására az alábbi elméletek terjedtek el: az energiagát, a film, az újrakristályosodási és a diffúziós kötési elmélet. Az energiagát elmélet szerint még abban az esetben sem alakul ki a kötés, ha a tiszta felületek az alakítóerő hatására lépnek kapcsolatba, a kötés előfeltétele az energiagát legyőzése [9]. A tapadást legalább három változó mennyiség befolyásolja egyszerre: nyomás, alakváltozás és hőmérséklet, melyek mindig a technológia paramétereiktől függenek: a szerszám és



■ 2. ábra. A filmelmélet szerinti kötés kialakulása valós technológiai körülmények között [9]

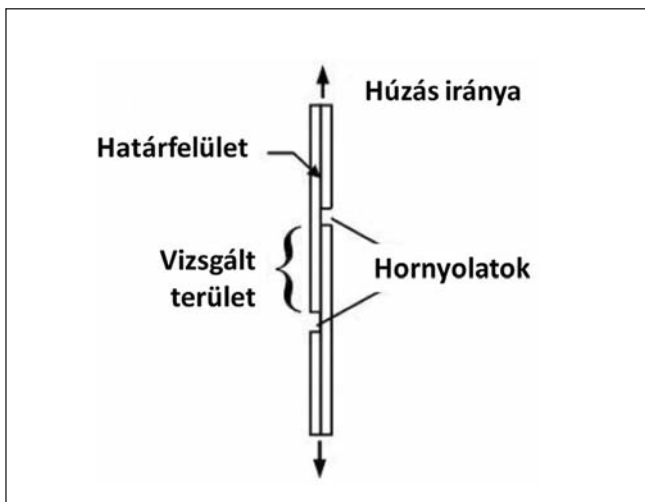
munkadarab geometriától, az anyagminőségtől stb. Míg Parks az újrakristályosodási küszöböt [10], addig Erdmann-Jesnitzer a diffúziót jelöli meg a tapadás elsődleges feltételeként. Semenov az energiagátat az érintkező felületeknél lévő kristályok orientációs hibájából származtatja [11]. A filmelmélet szerint a kötés akkor alakul ki, ha a nagy nyomás hatására az oxidfilm feltöredezik és a fémtiszta felületek szorosan érintkeznek egymással. Vaidyanath és társai [12], valamint Mohamed és Mashburn szerint a filmelmélet az alacsony hőmérsékletű kötőhengerlések domináns mechanizmusa (2. ábra) [13].

Ideális állapotban a fémlemez felülete oxidmentes, ebben az esetben a kötési hajlam, mivel a felületek könnyen aktiválódnak. Azonban reális technológiai körülmények között a felület oxidos és szennyezett, ami a kötés kialakulását minden esetben korlátozza. A kötés kialakulása több részfolyamatból áll, aminek elemét a 2. ábra magyarázza. Az érintkező felületeket borító oxid- és szennyező réteg alakváltozás hatására feltöredezik, miközben a tiszta fémfelületek aránya egyre növekszik. A folyamatosan növekvő nyomás következtében a fémek először besajtolódnak a repedésekbe, majd összetalálkozva mechanikus kötést alakítanak ki [4, 9].

### Kötési szilárdság meghatározása és modelljei

A kötési szilárdság meghatározása húzóvizsgálattal történik, amit a 3. ábra szemléltet. A vizsgált keresztmetszet síkját azonos nagyságú ellentétes irányú erőpár terheli, így a számított nyírófeszültség a kötési szilárdsággal arányos.

A hideg kötőhengerléssel létrehozott kötések szilárdságának meghatározására kifejlesztett modelleket az 1. táblázat foglalja össze,



■ 3. ábra. A kötési szilárdság meghatározására alkalmazott húzóvizsgálat [15]

1. táblázat. Kötési szilárdság modellek

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Vaidyanath   | $\sigma_b = \sigma_0 R_f (2 - R_f)$  | (1) |
| Wright       | $\sigma_b = \sigma_0 H \left( 1 - \frac{(1 - R_f)^2}{(1 - R_f)^2} \right)$                               | (2) |
| Bay          | $\sigma_b = (1 - \psi^2) Y (P - P_E) + \psi^2 \frac{Y - Y'}{Y - Y'} P$                                   | (3) |
| Zhang és Bay | $\sigma_b = \psi P_b$  | (4) |
| Hosseini     | $\sigma_b = \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^n \frac{\sigma_0}{K} \ln \left( \frac{1}{1 - R_f} \right)$ | (5) |
| Govindaraj   | $\sigma_b = K_1 \sigma_0 \exp \left( -\frac{\sqrt{3}}{2} K_2 \varepsilon_e \right)$                      | (6) |

ahol:  $\sigma_b$  – kötési szilárdság,  $\sigma_0$  – a kiinduló anyagok szakítószilárdsága,  $R_f$  – végső vastagság,  $H$  – empirikus keményedési együttható,  $Y$  – felületnövekmény,  $Y'$  – a felületnövekmény határértéke, ahol felszakad a film,  $\psi$  – oxiddal fedett és fedetlen területek aránya,  $P, P_E$  – nyomás értékek,  $K, K_1, K_2, n$  – képlékenységi paraméterek,  $\varepsilon_e$  – egyenértékű alakváltozás.

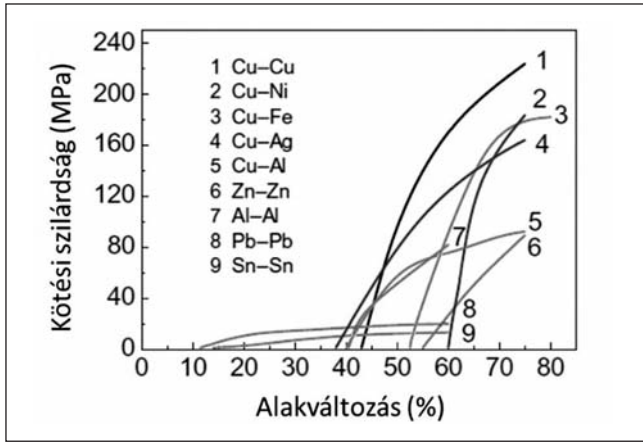
A kötési szilárdság és a hengerlési paraméterek közötti elméleti összefüggés leírásával először Vaidyanath (1), valamint Wright és szerzőtársai (2) foglalkoztak. Az általuk megalkotott formula tartalmazza a kész vastagságot és az anyagtulajdonságot kifejező tagokat. Bay az oxid és a szennyező rétegek hatását is figyelembe veszi, továbbá az általa javasolt formulák (3), (4) kiegészülnek a felületi nyomás paraméterrel is. Hosseini és társai (5) által publikált modellt lefejtő teszttel (T-peel test) validálták. Govindaraj és társai (6) kifejlesztettek egy újabb határfelületi kötési modellt, ebben az egyenletben a kötési szilárdság a hengerlési zónában lévő határfelület egyenértékű alakváltozásával függ össze. Elméletüket szakítóvizsgálattal igazolták, és megállapították, hogy az egyenértékű nyúlás növekedése jobb minőségű kötést eredményez. [14–16].

### Kötési szilárdságot befolyásoló tényezők

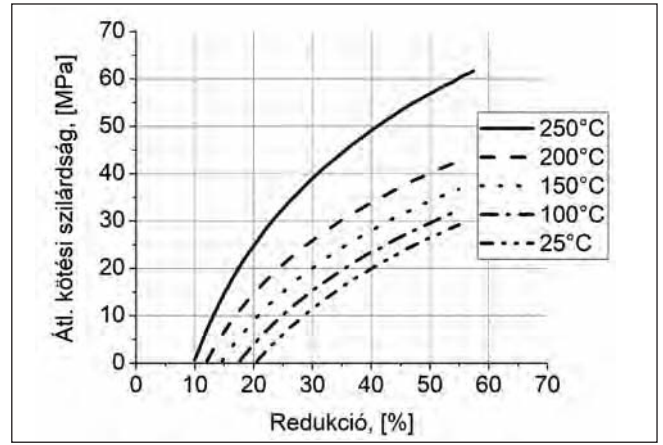
#### – Deformációs küszöb és az alakítás hőmérséklete

A kötés kialakulásának alapfeltétele az ún. deformációs küszöb elérése, ami az érintkező felületek növekedésével van kapcsolatban. A deformációs küszöb azt a minimális alakváltozást jelenti, ami alatt folytonos mechanikai kötés nem alakul ki a rétegek között. A 4a ábrán láthatók a különböző anyagpárokra jellemző deformációs küszöbértékek hideghengerléskor. Megállapítható, hogy a kérdéses határérték anyagpáronként változik. A lágyabb fémek tapadásához kisebb redukció elegendő, illetve a szilárdság is alacsonyabb szintű, ami az alacsonyabb folyáshatárral magyarázható.

A hengerlési hőmérséklet hatását a 4b ábra érzékelteti Al 1100/Al 1100 esetében. Megállapítható, hogy az alumíniumlemezek közötti szilárdság a hengerlési hőmérséklet függvényében nő, míg az alakváltozási küszöb csökken. [6]



a)



b)

■ 4. ábra. a) Anyagpárookra jellemző deformációs küszöb értéke [4]; b) A hengerlési hőmérséklet hatása a küszöbdeformációra [6]

– Alaktényező

A hengerlés geometriai viszonyát az úgynevezett alak-tényezővel ( $\Delta$ ) veszik figyelembe:

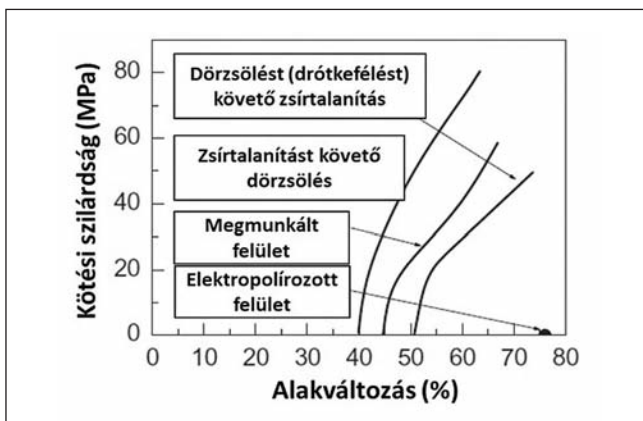
$$\Delta = \frac{h}{L} = \frac{2-r}{2} \sqrt{\frac{h_0}{rR}} \quad (7)$$

ahol:  $L$  a nyomott ív hossza,  $h = (h_0+h_f) / 2$  – a lemez átlag vastagsága,  $r = (h_0+h_f) / h_0$  – a lemezek relatív vastagság csökkenése,  $h_0$  és  $h_f$  – a lemez kiinduló és vég vastagsága,  $R$  – a henger sugara.

Állandó  $h$  érték mellett a növekvő  $L$  nyomott ív a felületi nyomás csökkenését okozza, ekkor az alaki tényező relatív kis értékű. Így a kötés elősegítése céljából érdemes a nagyobb alaki tényezők beállítását.

– Felület-előkészítés

A megfelelő kötési szilárdság biztosítása érdekében elengedhetetlen az érintkező felületekről a szennyezőanyag-réteg eltávolítása. Az eltávolítandó rétegek általában oxidokból, adszorbeált ionokból, porból, hengerlési emulzióból állnak. Az 5. ábra a különböző módszerrel előkészített felületek kötési szilárdságra gyakorolt hatását mutatja be alumíniumötvözetek kötőhengerlése során. A vizsgálat alapján megállapítható, hogy a legnagyobb kötési szilárdságot a zsírtalanított, majd dörzsölt (drótkéfélt) felületek hengerlésekor tapasztalták, ezért jelenleg is ez a legelterjedtebb felületelőkészítési módszer.



■ 5. ábra. Különböző módon előkészített felületek hatása a kötési szilárdságra [17]

– Rácsszerkezet

A kötés kialakulásában jelentősen szerepet játszik a fémek rács szerkezete is. A 6. ábra alapján megállapítható, hogy a hideg kötőhengerlés elsősorban a felületen középpontos (FKK) kockarácscsal rendelkező fémek esetében alkalmazható eredményesen, feltéve, hogy kisebb az alakítási keményedés.

|      | fkk |    |    |    |    |    |    |    |    |    | hex |    |    |    |    | tkk |    |   | romb |    |    |
|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|---|------|----|----|
|      | Ni  | Pd | Pt | Ag | Cu | Au | Al | Sn | Pb | In | Zr  | Ti | Be | Zn | Cd | Mg  | Tl | W | Fe   | Li | Bi |
| romb |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |     |    |   |      |    |    |
| tkk  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |     |    |   |      |    |    |
| hex  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |     |    |   |      |    |    |
| fkk  |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |     |    |   |      |    |    |

■ Sikeres hideg kötés (CRB)  
 ■ Sikeres ARB-kötés  
 ■ Sikeres hideg és ARB-kötés

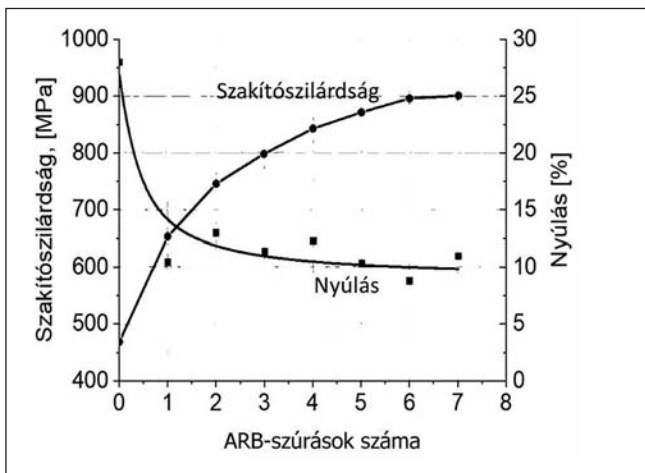
■ 6. ábra. Eltérő rács szerkezetű fémek kötőhengerlési vizsgálatának összefoglaló táblázata [4]

A hexagonális ráccsal rendelkező fémek, mint a magnézium, kadmium vagy cirkónium kötési tulajdonságai lényegesen kedvezőtlenebbek, mint a felületen középpontosoké, ami jellemzően a nagyobb deformációs küszöb és a kisebb kötési szilárdság értékekben is kifejeződik. Ennek oka, hogy míg a felületen középpontos kockarácscú fémek esetén az oxidfilmréteg felszakadása koherensen történik, addig a hexagonális rács szerkezetű fémek esetében az érintkező felületeken lévő oxidfilm egymástól függetlenül szakad fel, ezzel gátolva a tiszta fémfelületek nagyobb felületen történő érintkezését. Ezenkívül a hexagonális rácsú fémek alakítási keményedése eltér az egyéb ráccsal rendelkezőkétől [4, 9].

## Kötőhengerlés alkalmazása

### – Ultrafinom szemcsés anyag előállítása

A halmozódó kötőhengerlés (ARB – Accumulative Roll Bonding) a nagy szilárdságú lemezanyagok előállításának egyik technológiája, ami nagy mennyiségű gyártást tesz lehetővé. A kedvező szilárdság az ultrafinom szemcseszerkezetnek köszönhető, amit a rétegek nagymértékű sokszoros deformációjával lehet elérni. Az alakítás egy többlépcsős folyamat, amiben az előzetesen feldarabolt és felületileg előkészített lemezeket egymásra helyezik, majd legalább a deformációs küszöbig hengerlik. A műveletet a kívánt szemcseszerkezet és anyagtulajdonság eléréséig ismétlik meg a megnyúlt lemezek hosszának kétfelé vágásával, valamint az azt követő felület-előkészítéssel. A kereskedelmi tisztaságú titánlemezek meleg halmozódó kötőhengerlése esetén szűrások számának növelésével a szakítószilárdság nő, míg az alakíthatóság csökken. Ezt a jelenséget a 7. ábra mutatja [18–20].



■ 7. ábra. A mechanikai tulajdonságok változása az ARB-szűrások számának növelésével [20]

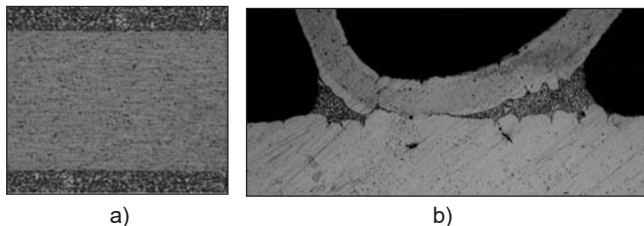
Peng Qu és társai [21] 2014-ben Ti/Al/Nb/Al/Ti lemez kompozitot állítottak elő hasonló technológiával, ahol minden egyes szűrést megelőzően a lemezeket acetóban és alkoholban pácolták, majd a felületüket drótkéfével dörzsölték. A hideghengerlés során szűrásoként 50%-os redukciót alkalmaztak, míg a teljes százalékos alakválto-

zás értéke meghaladta a 96%-ot. A szerzők az elvégzett vizsgálatok alapján megállapították, hogy a nagy számú szűrás következtében a rétegek deformációja inhomogén és a nagyszögű szemcsehatárok száma is növekszik, továbbá nagy mértékű szemcseszerkezet módosítás volt jellemző. T. Nizorek és társai [22] 2014-ben Cu/Nb/Cu rétegrendű, 200 000 rétegből álló kompozitanyagot állítottak elő hideg ARB-technológiával. A hengerléskor alkalmazott nagy ciklusszám következtében kialakult nanokristályos szemcseszerkezet rendkívüli szilárdságnövekedést eredményezett.

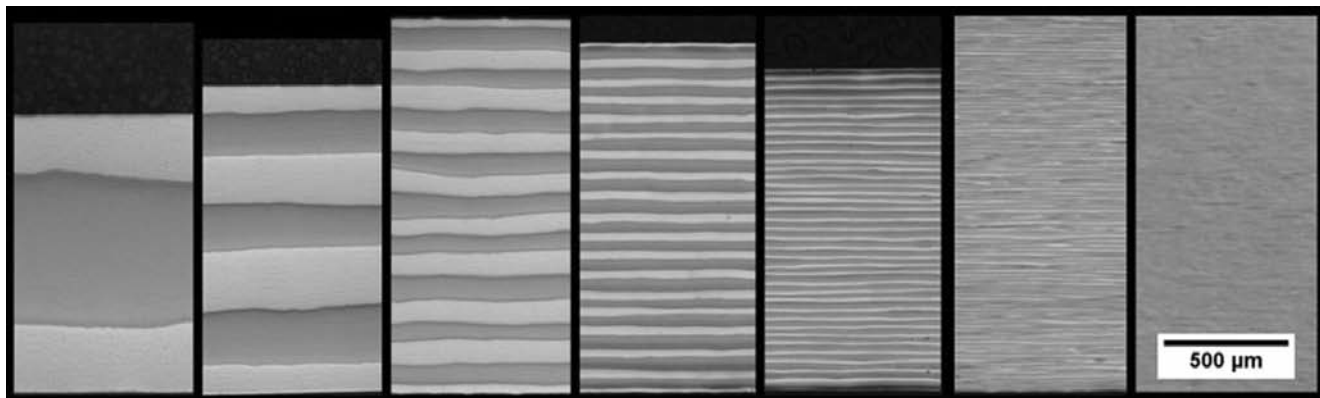
A halmozódó kötőhengerlések során a rétegek száma exponenciálisan növekszik és a rétegvastagság csökken, ez a hatás a 8. ábrán figyelhető meg. Szűrásoként 50-60%-os alakváltozás történt. A hengerlést követően lágyítást végeztek 500 °C-on, a hőkezelési fázisban 1 óra után a rézszemcsék több száz nanométeresre nőttek, a nióbium szemcsék viszont nem változtak. A végeredmény egy 20 nm-es vastag rétegrendű, nanokristályos kompozit. Az eljárással 1200 MPa szakítószilárdságot és 25%-os nyúlást értek el.

### – Plattírozott lemezek előállítása

A plattírozás szélesebb körben használt definíciója szerint fémlével történő borítás. A plattírozáskor az ún. magötvözet és az eltérő olvadáspontú fedőlemezek kötését meleghengerléssel valósítják meg. A hengerléssel előállított félkész lemeztermékek speciális tulajdonságai a felhasználás során hasznosulnak pl. korrózióvédelem vagy autóhűtő lamella gyártás területén (9a ábra). Az autóhűtők gyártásához hengerelt plattírozott lemezeket használnak. Az összeszerelt autóhűtőt kemencében felhevítik, ahol a többrétegű lemez külső rétege leolvadva a maganyagról kellő szilárdságú összefüggő kötőréteget hoz létre a lemezalkatrészek között (9b ábra) [23].



■ 9. ábra. a) Háromrétegű alumíniumlemez szövetképe, autóhűtő lamella alapanyag; b) Keményforrasztásos kötés szövetképe, hűtőlamella-csatlakozásnál [23]



■ 8. ábra. Cu-Nb lemezes kompozit optikai mikroszkóppal készített keresztmetszet-felvételei az ARB-folyamat különböző szakaszaiban [22]

Szabó Gábor és társa [24] plattírozással állítottak elő olyan szendvicsszerkezetet, amelynek fedőrétegei a „brézing” technológiában a leolvadó rétegeket alkotják (10. ábra). Hengerlési kísérleteikben különböző szűrás-terveket kipróbálva, anyagpáronként állapították meg azokat a viszonylag szűk alakváltozási tartományokat, amelyek még sikeres kötés biztosítanak fedő- és magöt-  
vözetek között.



■ 10 ábra. A kiinduló szendvicsszerkezet [24]

A kísérleti tapasztalatok alapján, olyan tapasztó szűrás-terv alkalmazása javasolt, amivel biztosítható a következő két feltétel: a fedőlemez nyúlása nem kisebb a magétól, és a felületi nyomás elegendő ideig áll rendelkezésre a fedőlemez hőmérséklet-csökkenése nélkül. A kötés általában nem hibamentes, ezért a kötés minősítésére is szükség van, amit lefejtő vizsgálat segítségével végeztek el.

#### – Funkcionális lemezes fémkompozit gyártása

A funkcionális kompozitlemezeket elsősorban a szigorú gyártástechnológiával létrehozott fizikai tulajdonságaik teszik egyedivé. E tulajdonságokat használja ki például a szupravezető gyártás, ami elsősorban a gyógyászati és a részecskegyorsító technológiák számára állít elő huzal- és lemezalapanyagot (11a ábra). Ikuo és társai [25] olyan kötőhengerelt kompozitstruktúrák fejlesztésével foglalkoztak, ami speciális szupravezető és mágneses tulajdonságokkal egyaránt rendelkezik. Kompozitjuk egy sokszekvenciás Cu-Nb-NbTi szendvicsszerkezetű lemez, aminek vastagságát, rétegtartását és a felhasználáshoz szükséges elvi geometriákat a 11b ábra szemlélteti.

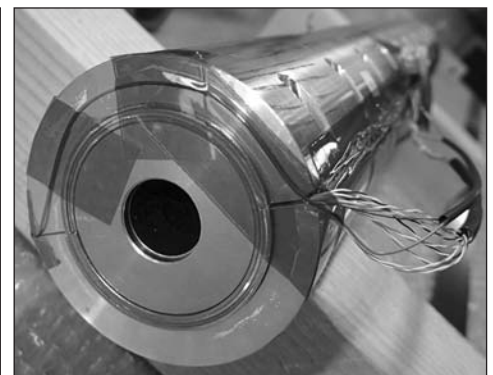
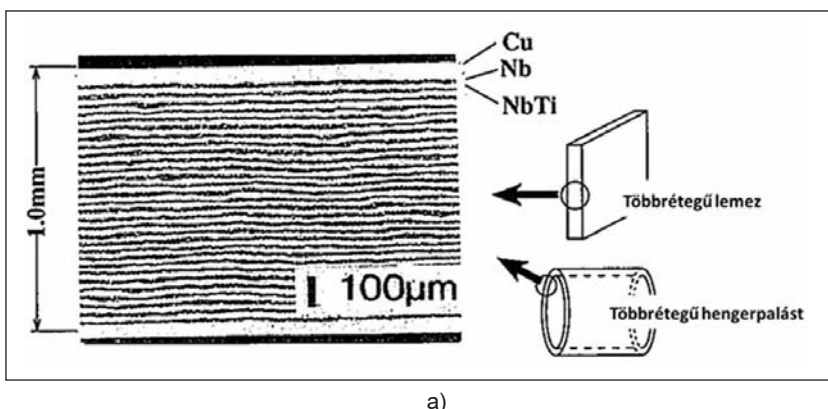
A száz rétegű lemez előállítása egy összetett hengerlési és hőkezelési folyamat, aminek kezdetén a megfelelően előkészített lemezeket egy rézkazettába zárják. A kazettának kettős szerepe van, megvédi a lemezeket az oxidációtól, valamint biztosítja a rétegtartást. Az összeszerelés után a kazettát elektronsugárral lehegesztik, majd a sokszekvenciás szerkezetet melegen és hidegen

hengerlik. A kompozit ideális szupravezető tulajdonságait a hengerléssel előállított szekvenciának és a hengerlés-hőkezelés kombinációjaként létrehozott szövetszerkezetnek köszönheti. A rétegeknek eltérő szerepük van: a réz felelős a hő elvezetéséért. A lokális felmelegedés veszélyét minden esetben csökkenti, ami könnyen bekövetkezhet egy-egy üzemzavar esetén, enélkül a szupravezető tulajdonság megszűnne. A nióbiium-titán  $\alpha$ -fázisa a szupravezetést biztosítja, a hőkezeléssel képzett  $\beta$ -titán kiválások pedig a mágneses erővonalakat stabilizálják, ennek hiányában az anyag melegszik és szupravezető tulajdonsága megszűnik. A tiszta nióbiium szerepe szintén nagyon fontos és elengedhetetlen része a kompozitstruktúrának, hiszen meggátolja a határfelület menti keresztidiffúziót. A keresztidiffúzió következtében a Cu/NbTi határfelületen nagy hőmérsékleten réz-titán intermetallidok alakulnak ki, amelyek az elektromos vezető képességet és az alakíthatóságot is negatívan befolyásolják.

#### Összefoglalás

A lamináris kompozitok előállításának célja az anyagszerkezeti tulajdonságok szabályozott változtatása (javítása) és kombinálása az alkalmazások számára. A kötőhengerlés olyan technológia, ahol a rétegek közötti kötés a képlékenyalakítás hatására jön létre. A kötés kialakulása többlépcsős folyamat, amelynek alapfeltétele a deformációs küszöb elérése, ekkor a két fém között adhéziós kötés jön létre. A kötés kialakulását és a kötés mechanikai tulajdonságát további számos paraméter határozza meg, mint például a hőmérséklet, nyomás vagy a szerkezet és munkadarab geometriai viszonyai. A kötőhengerlés végezhető hideg vagy meleg állapotban. Hideghengerléskor a szövetszerkezetben nem történnek fázisátalakulások, a felület jobb minőségű, viszont az anyag alakíthatósága a művelet végén nagymértékben lecsökken. Felhasználásuk szerint megkülönböztetjük az ultrafinom, esetenként nanoszemcsés lemezes kompozitokat, plattírozott lemezeket és funkcionális szendvicsszerkezeteket. Az ultrafinom szemcseszerkezetet és a kívánt nagy szilárdságot a rétegek nagymértékű sokszoros deformációjával lehet elérni. A plattírozott lemezek és a funkcionális szendvicsszerkezetek eltérő tulajdonságokkal bírnak, ami a rétegek közti tulajdonságok eltéréséből következik.

Folytatás a 31. oldalon



■ 11. ábra. a) Cu/Nb/NbTi réteges fémkompozit [25], b) Szupravezető páncél [26]

## Cikkek szerzők szerinti csoportosítása

### Vaskohászat

- Farkas Ottó – Cseh Ferenc – Harcsik Béla:** A hidrogén redukáló szerepe és mértéke a nagyolvasztói nyersvasgyártásban .....1/1
- Harcsik Béla – Nyitray Dániel – Sipos István:** A Fazolák öröksége – Fejezetek a diósgyőri kohászat történetéből.4/12
- Kondás Béla:** Autóipari hatások a hengerelt acéltermékek európai kínálatára .....1/7
- Tardy Pál:** A globális járvány kezdetének hatása az acéliparra .....5-6/1
- Thiele Ádám – Hári László – Magyar Domonkos:** Az acél kovácstűzbeli elégségének metallurgiai háttere – damaszokolt anyagokon kialakuló felületi hibák magyarázata .....5-6/6
- Tisza Miklós:** Autóipari acélananyagok fejlesztési irányzatai – 1. rész .....2-3/1
- Tisza Miklós:** Autóipari acélananyagok fejlesztési irányzatai – 2. rész .....4/1
- Török Tamás István:** Acél korrózióvédelme alumíniumbevonattal .....4/9

### Öntészet

- Boris Nogowizin:** Nyomásos öntvények elosztócsatorna-rendszere .....2-3/10
- Dargai Viktória – Tóth Gergő – Varga László:** A vízüveges maghomokkeverékek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata .....5-6/16
- Gyarmati Gábor – Fegyverneki György – Tokár Mónika – Mende Tamás:** Alumíniumolvadékok kettős oxidhártya-tartalmának minősítése komputertomográfia segítségével ....4/30
- Kovács Sándor Endre – Szentes Zsolt – Varga László:** 3D fénynyomatással előállított, nagy hővezetőképességű nyomásos öntészeti szerszámananyag tulajdonságainak vizsgálata .....1/16
- Majoros Csaba – Szabó Richárd – Molnár Dániel:** Kettős működtetésű utántömörítés hatása a vastag falú nyomásos öntvény belső térfogati inhomogenitására .....5-6/11
- Nyeste Viktor:** Klímakompresszor nyomásos öntvények gyártásának fejlesztése .....1/12
- Sipos László Áron – Fegyverneki György – Budavári Imre – Pete László Gábor – Varga László:** Warm-box magkészítési technológiával előállított műgyanta kötésű homokmagok reaktivitásának és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata .....4/18
- Szalva Péter – Orbulov Imre Norbert:** A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos öntéssel gyártott alumíniumöntvények kifáradási tulajdonságaira .....4/23

### Fémkohászat

- Illés István Balázs – Kékesi Tamás:** A sóadagolás szere-

- pe és fejlesztési lehetősége az alumíniumolvasztási salakok termomechanikai feldolgozásánál .....1/22
- Illés István Balázs – Nagy Sándor – Kékesi Tamás:** LCD-hulladékokból történő indium fémkinyerés hidrometallurgiai úton .....5-6/22
- Kazup Ágota – Kárpáti Viktor – Hegedüs Balázs – Gergely Gréta – Gácsai Zoltán:** Öntési paraméterek hatása a kristályosodó szövetszerkezetre félfolyamatosan öntött AlSi ötvözet esetén .....2-3/27
- Kőszegi Szilvia – Szépvölgyi János – Bereczki Péter:** Új, piacképes hengerelt alumíniumtermékek technológiájának fejlesztése az Arconic-Köfém Mill Products Hungary Kft. és kiemelkedő hazai felsőoktatási K+F intézmények együttműködésében .....2-3/22
- Mádainé Üveges Valéria – Bokányi Ljudmilla:** Fémek kinyerése elektronikai hulladékokból bioszolubilizációval ..4/35
- Pázmány Judit – Fehér Jánosné – Gonda Viktor – Sánta Edit Orsolya – Verő Balázs:** Az Al5182 ötvözet teljesítőképességének meghatározása .....4/41
- Renkő József Bálint – Szabó Péter János:** EN-AW 6082 alumíniumötvözet többtengelyű kovácsolásának fizikai és virtuális szimulációja .....5-6/31

### Anyagtudomány

- Bárczy Pál:** Anyagtechnológiától anyagtudományig és vissza .....1/30
- Biró Martin – Nagy Erzsébet – Mertinger Valéria:** Hidegalakító szerszámacél hőkezelési technológiájának optimalizálása .....2-3/33
- Fehér András:** A magyar Szent Korona fémtani tulajdonságainak értékelése .....2-3/38
- Györke Réka – Szórádi Sándorné – Márkus Gábor – Nagy Andrea – Török Béla – Török Tamás István:** Nagy-lózs, Szentpéteri-dűlő 6. századi temetőjéből származó nemesfém leletegyüttes felületkezelésének metallurgiai vonatkozásai .....4/63
- Kaptay György:** Kémiai elemek a kohászat szolgálatában és azon túl .....5-6/36
- Leveles Borbála – Kemény Alexandra – Orbulov Imre Norbert:** Alumínium mátrixú bimodális fémhabok gyártása és vizsgálata .....4/54
- Nagy Erzsébet – Kristály Ferenc – Barkóczy Péter – Mertinger Valéria:** Orientált fémes szerkezetek vizsgálata Rietveld-illesztés alkalmazásával .....5-6/42
- Nagy Márton – Bán Krisztián – Fogarassy Zsolt – Berényi Richárd:** Amorf és nanokristályos lágymágneses anyagok bevezethetőségének vizsgálata gépjármű elektromotorok gyártásába .....1/40
- Szabó Attila – Verő Balázs – Lovas Antal:** A Humel-Rothery-szabályoktól a nagyentrópiájú ötvözetekig .....4/48



**Szlanicsik Attila – Kemény Alexandra – Katona Bálint – Orbulov Imre Norbert:** Alumíniummátrixú szintaktikus habok bemetszésérzékenysége .....1/34  
**Szobota Péter – Sepsi Máté – Mertinger Valéria:** Dekarbonizáció mérése roncsolásmentes módszerrel – avagy a központ nélküli diffraktométerek új alkalmazása .....4/59

## Felsőoktatás

**Palotás Árpád Bence – Mende Tamás – Stumpf Éva:** A kohómérnökképzés Magyarországon .....1/44

## Közlemények

### Vaskohászat

Az acélipar fiatal, innovatív mérnökeit díjazták. Tehetség, szaktudás, kreativitás .....1/11  
 Koszorúzás a 250 éves diósgyőri vasgyártás emlékére .....4/17  
 Közlemény .....2-3/9

### Fémkohászat

Két céggé vált szét a székesfehérvári Arconic-Köfém .....2-3/32  
 Új szakkönyvek is segítik a kohászoképzést a Miskolci Egyetemen .....1/28

### Felsőoktatás

150 éves a Fémkohászati Tanszék .....2-3/43  
 A Miskolci Egyetem hírei .....2-3/42  
 A Műszaki Anyagtudományi Kar hírei 2020. február .....1/54  
 Interjú dr. Farkas Ottó professor emeritussal .....1/50

### Hírmondó

126 éves a „Jó szerencsét!” köszöntés .....2-3/58  
 175 éve halt meg a Bányászhimnusz költője .....1/67  
 2019 májusa és 2020 augusztusa között elhunyt tagtársaink .....4/75  
 25 éves lett a Fémszövetség .....2-3/55  
 95 éves dr. Pilissy Lajos .....1/69  
 A „Megemlékezés napja” Ózdon .....2-3/57  
 A 80 éves dr. Jónás Pál köszöntése .....1/69  
 A Csaba Metál fejlesztési stratégiája a fenntartható üzleti sikerért. Interjú Majoros Csaba vezérigazgatóval .....4/68  
 A Ferencz István Észak-Dunántúli Kohászati Regionális Szervezet évváró/évnnyitó rendezvénye .....2-3/56  
 A Magyar Öntészeti Szövetség 31. közgyűlése .....5-6/54  
 A Miskolci Egyetem hírei .....4/76, 5-6/53  
 A Szent Borbála megemlékezések elindításának hiteles története .....1/57  
 A XX. Fémkohászati Szakmai Napról... .....1/66  
 Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület szabályzata az elektronikus hírközlő eszközök használatáról, illetve az ülés tartása nélküli döntéshozatalról .....2-3/46  
 Az acél szépsége. Emlékezés Horváth Istvánra, a Dunaferri egykori elnök-vezérigazgatójára .....4/77  
 Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület vezetésének értesítője a Választmány tagjaihoz a vonatkozó szabályzat szerint .....2-3/48  
 Beszámoló a Közép-Európai Vaskultúra Útja Egyesület Ma-

gyar Tagozatának 2019. évi tevékenységéről .....2-3/50  
 Beszámoló az Alapszabály Bizottság munkájáról .....4/75  
 Beszámoló az OMBKE 110. küldöttgyűléséről .....4/73  
 Beszámoló az OMBKE kohász szakosztályainak 2019. évi munkájáról .....1/61  
 Borbély Lajos – a fejlesztő (1843–1923) .....2-3/53  
 Dr. Hatala Pál elnök serlegbeszéde az OMBKE 2019. december 12-i választmányi ülésén .....1/59  
 Emlékeztető az OMBKE 2019. december 12-i választmányi üléséről .....1/58  
 Emlékeztető az OMBKE 2020. július 21-i választmányi üléséről .....4/70  
 Emlékeztető az OMBKE 2020. január 23-i rendkívüli választmányi üléséről .....1/60  
 Felhívások, közlemények .....1/68, 1/71, 2-3/64, 5-6/57  
 Harangtörténeti Konferencia Egerben .....1/65  
 Képek a 2019. évi Szent Borbála-napi központi ünnepségről .....1/B4  
 Képek a nagylőzsi ásatásról és a leletekről .....4/B3  
 Képek a Szent Koronáról .....2-3/B4  
 Kitüntetést kapott az EKMITA .....5-6/55  
 Köszöntések .....1/69, 1/70, 2-3/64  
 Boross Péter .....5-6/56  
 Katkó Károly .....5-6/56  
 Pordán Zsigmond .....5-6/57  
 Megemlékezés koszorúzással a Fazola Henrik által épített első faszenes nagyolvasztó emléktáblájánál az alapítás 250 éves évfordulója alkalmából .....4/B4  
 Meghívók, hirdetések .....1/71  
 Nekrológ  
 Baán István (1951–2020) .....5-6/59  
 Csirikusz József dr. (1941–2020) .....4/78  
 Csukásné Kövári Etelka (1950–2020) .....2-3/61  
 Fiumei Attila (1937–2020) .....2-3/59  
 Horváth Csaba (1933–2020) .....2-3/63  
 Karancz Ernő (1932–2020) .....4/79  
 Kovács Tibor dr. (1943–2020) .....2-3/59  
 Mikus Károly (1932–2020) .....2-3/60  
 Mura Imre (1938–2020) .....4/80  
 Patay Pál dr. (1914–2020) .....5-6/58  
 Simon Béla (1942–2020) .....4/80, 5-6/60  
 Szabó István dr. (1943–2020) .....2-3/61  
 Szalay Géza (1929–2019) .....1/72  
 Szarka Gyula dr. (1932–2020) .....5-6/58  
 Szende György (1932–2020) .....2-3/62  
 Tóth Ferenc (1933–2019) .....2-3/58  
 Ózdon újra szól a gyári dudu .....2-3/57  
 Prohászka János emlékezete születésének 100. évfordulóján .....2-3/49



|   |        |   |          |
|---|--------|---|----------|
| Szemelvények kohászatunk múltjából – A munkácsi vasgyár ..... | 5-6/B4 | Tartalom és tárgymutató – 2019 .....  | 2-3/I–IV |
| Szent Borbála-napi országos központi ünnepség .....           | 1/56   | Tisztelt Tagtársak! .....   | 2-3/45   |
| Tájékoztató az OMBKE választmányi üléséről .....              | 5-6/47 | Túl a 90-en. Kovács László vasdiplomás kohómérnök, tiszteleti tagunk köszöntése ..... | 2-3/B3   |
| Tardy Pál exelnökünk 80 éves .....                            | 1/70   |   |          |

## Betűrendes névmutató

### Vaskohászat

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| Cseh Ferenc .....        | 1/1        |
| Farkas Ottó .....        | 1/1        |
| Harcsik Béla .....       | 1/1, 4/12  |
| Hári László .....        | 5-6/6      |
| Kondás Béla .....        | 1/7        |
| Magyar Domonkos .....    | 5-6/6      |
| Nyitrai Dániel .....     | 4/12       |
| Sipos István .....       | 4/12       |
| Tardy Pál .....          | 5-6/1      |
| Thiele Ádám .....        | 5-6/6      |
| Tisza Miklós .....       | 2-3/1, 4/1 |
| Török Tamás István ..... | 4/9        |

### Öntészet

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| Boris Nogowizin .....      | 2-3/10             |
| Budavári Imre .....        | 4/18               |
| Dargai Viktória .....      | 5-6/16             |
| Fegyverneki György .....   | 4/18, 4/30         |
| Gyarmati Gábor .....       | 4/30               |
| Kovács Sándor Endre .....  | 1/16               |
| Majoros Csaba .....        | 5-6/11             |
| Mende Tamás .....          | 4/30               |
| Molnár Dániel .....        | 5-6/11             |
| Nyeste Viktor .....        | 1/12               |
| Orbulov Imre Norbert ..... | 4/23               |
| Pete László Gábor .....    | 4/18               |
| Sipos László Áron .....    | 4/18               |
| Szabó Richárd .....        | 5-6/11             |
| Szalva Péter .....         | 4/23               |
| Szentes Zsolt .....        | 1/16               |
| Tokár Monika .....         | 4/30               |
| Tóth Gergő .....           | 5-6/16             |
| Varga László .....         | 1/16, 4/18, 5-6/16 |

### Fémkohászat

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Bereczki Péter .....      | 2-3/22       |
| Bokányi Ljudmilla .....   | 4/35         |
| Fehér Jánosné .....       | 4/41         |
| Gácsi Zoltán .....        | 2-3/27       |
| Gergely Gréta .....       | 2-3/27       |
| Gonda Viktor .....        | 4/41         |
| Hegedüs Balázs .....      | 2-3/27       |
| Illés István Balázs ..... | 1/22, 5-6/22 |
| Kárpáti Viktor .....      | 2-3/27       |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| Kazup Ágota .....            | 2-3/27       |
| Kékesi Tamás .....           | 1/22, 5-6/22 |
| Kőszegi Szilvia .....        | 2-3/22       |
| Mádainé Üveges Valéria ..... | 4/35         |
| Nagy Sándor .....            | 5-6/22       |
| Pázmány Judit .....          | 4/41         |
| Renkő József Bálint .....    | 5-6/31       |
| Sánta Edit Orsolya .....     | 4/41         |
| Szabó Péter János .....      | 5-6/31       |
| Szépvolgyi János .....       | 2-3/22       |
| Verő Balázs .....            | 4/41         |

### Anyagtudomány

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Bán Krisztián .....        | 1/40                 |
| Bárczy Pál .....           | 1/30                 |
| Barkóczy Péter .....       | 5-6/42               |
| Berényi Richárd .....      | 1/40                 |
| Biró Martin .....          | 2-3/33               |
| Fehér András .....         | 2-3/38               |
| Fogarassy Zsolt .....      | 1/40                 |
| Györke Réka .....          | 4/63                 |
| Kaptay György .....        | 5-6/36               |
| Katona Bálint .....        | 1/34                 |
| Kemény Alexandra .....     | 1/34, 4/54           |
| Kristály Ferenc .....      | 5-6/42               |
| Leveles Borbála .....      | 4/54                 |
| Lovas Antal .....          | 4/48                 |
| Márkus Gábor .....         | 4/63                 |
| Mertinger Valéria .....    | 2-3/33, 4/59, 5-6/42 |
| Nagy Andrea .....          | 4/63                 |
| Nagy Erzsébet .....        | 2-3/33, 5-6/42       |
| Nagy Márton .....          | 1/40                 |
| Orbulov Imre Norbert ..... | 1/34, 4/54           |
| Sepsi Máté .....           | 4/59                 |
| Szabó Attila .....         | 4/48                 |
| Szlanicsik Attila .....    | 1/34                 |
| Szobota Péter .....        | 4/59                 |
| Szórádi Sándorné .....     | 4/63                 |
| Török Béla .....           | 4/63                 |
| Török Tamás István .....   | 4/63                 |
| Verő Balázs .....          | 4/48                 |

### Felsőoktatás

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Mende Tamás .....         | 1/44 |
| Palotás Árpád Bence ..... | 1/44 |
| Stumpf Éva .....          | 1/44 |



# Tárgymutató – 2020

|                      |       |                            |
|----------------------|-------|----------------------------|
| <b>3</b>             |       |                            |
| 3D fémnymtatás       | ..... | 1/16                       |
| <b>A, Á</b>          |       |                            |
| acél                 |       |                            |
| – autóiipari,        | ..... | 1/7, 2-3/1, 4/1            |
| – fejlesztése,       | ..... | 2-3/1, 4/1                 |
| – hőkezelése,        | ..... | 2-3/33                     |
| acélipar             | ..... | 5-6/1                      |
| acéllemez            | ..... | 1/7                        |
| alumínium hengerlése | ..... | 2-3/22                     |
| alumíniumbevonatok   | ..... | 4/9                        |
| alumíniumlemez       | ..... | 2-3/22                     |
| – tulajdonságai      | ..... | 2-3/22                     |
| alumíniumolvasztás   | ..... | 1/22, 4/30                 |
| alumíniumöntvény     | ..... | 1/12, 4/31                 |
| – nyomásos,          | ..... | 4/23                       |
| alumíniumötvözet     |       |                            |
| – autóiipari,        | ..... | 4/41                       |
| – kovácsolása,       | ..... | 5-6/31                     |
| – öntészeti,         | ..... | 2-3/27                     |
| – tulajdonságai      | ..... | 4/41                       |
| anyagtechnológia     | ..... | 1/30                       |
| anyagtudomány        | ..... | 1/30, 4/48, 5-6/31, 5-6/36 |
| anyagvizsgálat       |       |                            |
| – roncsolásmentes,   | ..... | 4/59                       |
| aranyötvözet         | ..... | 2-3/38                     |
| <b>B</b>             |       |                            |
| beömlőrendszer       | ..... | 2-3/10                     |
| <b>D</b>             |       |                            |
| damaszkolás          | ..... | 5-6/6                      |
| dekarbonizáció       | ..... | 4/59                       |
| <b>F</b>             |       |                            |
| felsőoktatás         | ..... | 1/44                       |
| fémhabok             | ..... | 1/34, 4/54                 |
| fémhulladék          | ..... | 4/35                       |
| <b>H</b>             |       |                            |
| habok                |       |                            |
| – szintaktikus,      | ..... | 1/34                       |
| – bimodális,         | ..... | 4/54                       |
| hidrogén             | ..... | 1/1                        |
| hidrometallurgia     | ..... | 5-6/22                     |
| hulladékhasznosítás  | ..... | 4/35, 5-6/22               |
| <b>I</b>             |       |                            |
| indium               | ..... | 5-6/22                     |
| <b>K</b>             |       |                            |
| kohászat             | ..... | 5-6/36                     |
| – története,         | ..... | 4/12                       |
| kompozitok           | ..... | 1/34                       |
| korrózióvédelem      | ..... | 4/9                        |
| kristályosodás       | ..... | 2-3/27                     |
| <b>L</b>             |       |                            |
| lágymágneses anyagok | ..... | 1/40                       |
| <b>M</b>             |       |                            |
| maghomok             | ..... | 4/18, 5-6/16               |
| Magyarország(on)     |       |                            |
| – vaskohászata,      | ..... | 4/12                       |
| <b>N</b>             |       |                            |
| nagyolvasztó         | ..... | 1/1                        |
| nemesfémek           | ..... | 2-3/38, 4/63               |
| <b>NY</b>            |       |                            |
| nyersvasgyártás      | ..... | 1/1                        |
| – Magyarországon     | ..... | 1/1                        |
| <b>Ö, Ő</b>          |       |                            |
| öntvény              |       |                            |
| – nyomásos,          | ..... | 1/12, 1/16, 2-3/10, 5-6/11 |
| – szerszámok         | ..... | 1/16, 4/23                 |
| – hibái              | ..... | 5-6/11                     |
| öntvényhibák         | ..... | 1/12, 5-6/11               |
| öntvénytisztítás     | ..... | 4/18, 5-6/16               |
| ötvözetek            | ..... | 4/48                       |
| – amorf,             | ..... | 1/40                       |
| – fázisai            | ..... | 5-6/42                     |
| <b>P</b>             |       |                            |
| pandémia             | ..... | 5-6/1                      |
| <b>R</b>             |       |                            |
| régészet             | ..... | 4/63, 5-6/6                |
| rézötvözet           | ..... | 5-6/42                     |
| <b>S</b>             |       |                            |
| salakok              | ..... | 1/22                       |
| sókeverékek          | ..... | 1/22                       |
| <b>SZ</b>            |       |                            |
| szerszámacél         | ..... | 2-3/33                     |
| <b>T</b>             |       |                            |
| tomográfia           | ..... | 4/30                       |

A kötéshengerlési technológiának számos módszere és kombinációja ismert, amelyek közül mindig az elérni kívánt anyagtulajdonság szempontjából legalkalmasabbat kell kiválasztani.

### Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetemen, egyfelől az Innovációs és Technológiai Minisztérium támogatásával zajló Tématerületi Kiválósági Program keretében támogatott projekt részeként (Támogatói Okirat ikt. száma: NKFIH-846-8/2019), másfelől az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján támogatott projekt részeként valósult meg. A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### Irodalom

- [1] Gácsai Zoltán, Simon Andrea, Pázmán Judit: Fémkompozitok, Miskolci Egyetem (2011)
- [2] Hull, D., Clyne, T. W.: An Introduction to Composite Materials, Cambridge Solid State Science Series, Cambridge (1996)
- [3] Dr. Gácsai Zoltán és Dr. Mertinger Valéria: Fémtan, Magyarország (2004)
- [4] Long Li, Kotobu Nagai and Fuxing Yin: Progress in cold roll bonding of metals. Sci. Technol. Adv. Mater. 9 (2008) 023001 (11pp)
- [5] Zongan Luo, Guanglei Wang, Guangming Xie, Lipeng Wang and Kun Zhao: Interfacial Microstructure and Properties of a Vacuum Hot Roll-bonded Titanium-Stainless Steel Clad Plate with a Niobium Interlayer. Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.) Vol.26 No. 6 pp. 754–760, 2013
- [6] M. Eizadjou, H. Danesh Manesh, K. Janghorban: Investigation of roll bonding between aluminum alloy strips. Materials and Design 29 (2008) 909–913.
- [7] Cheng Zhang, Shouxin Wang, Hanxue Qiao, Zejun Chen, Taiqian Mo and Qing Liu: Enhancing the Mechanical Properties of Hot Roll Bonded Al/Ti Laminated Metal Composites (LMCs) by Pre-Rolling Division Process. Metals (2019) 9, 795
- [8] M. Ma, X. Meng, and W. C. Liu: Microstructure and Mechanical Properties of Ti/Al/Ti Laminated Composites Prepared by Hot Rolling. ASM International, Journal of Materials Engineering and Performance 26(7) July 2017. 3569
- [9] Seyed Mahmoud Ghalehbandi, Massoud Malaki, and Manoj Gupta: Accumulative Roll Bonding – A Review. Appl. Sci. 2019, 9, 3627
- [10] Parks, J. M.: Recrystallization welding. Weld. J. 1953, 209–222.
- [11] Semenov, A.: The phenomenon of seizure and its investigation. Wear 1961, 4, 1–9.
- [12] Vaidyanath, L.; Nicholas, M.; Milner, D.: Pressure welding by rolling. Bri. Weld. J. 1959, 6, 13–28.
- [13] Mohamed, H.; Washburn, J.: Mechanism of solid state pressure welding. Weld. J. 1975, 8, 302–310.
- [14] Kavan Khaledi, Tim Brepols, Stefanie Reese: A multi-scale description of bond formation in cold roll bonding considering periodic cracking of thin surface films. Mechanics of Materials 137 (2019) 103142
- [15] R. Jamaati és társai (2011) – R. Jamaati and M. R. Toroghinejad: Cold roll bonding bond strengths: review. Materials Science and Technology (2011) VOL 27 NO. 7 1101
- [16] Hailiang Yu és társai (2014) – Hailiang Yu, A. Kiet Tieu, Cheng Lu, and Ajit Godbole: An Investigation of Interface Bonding of Bimetallic Foils by Combined Accumulative Roll Bonding and Asymmetric Rolling Techniques. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, 4038 – volume 45a, august 2014
- [17] Vaidyanath és társai (1960) – Vaidyanath L. R. and Milner D. R. Br. Weld.: J. 1 1 1960
- [18] Saito és társai (1999) – Y. Saito, H. Utsunomiya, N. Tsuji and T. Sakai: Novel Ultra-High Straining Process for Bulk Materials – Development of the Accumulative Roll-Bonding (ARB) Process. Acta mater. Vol. 47, no. 2, pp. 579–583, 1999
- [19] Tsuji és társai (2003) – Nobuhiro Tsuji, Yoshihiro Saito, Seong-Hee Lee and Yoritoshi Minamino: ARB (Accumulative Roll-Bonding) and other new Techniques to Produce Bulk Ultrafine Grained Materials. Advanced Engineering Materials 2003, 5
- [20] Justin L. Milner, Fadi Abu-Farha, Cristina Bunget, Thomas Kurfess, Vincent H. Hammond: Grain refinement and mechanical properties of CP-Ti processed by warm Accumulative roll bonding, Materials Science & Engineering A 561, pp. 109–117, 2013
- [21] Peng Qu és társai (2014) – Peng Qu, Liming Zhou, Hui Xu and Viola I. Acoff: Microtexture Development of Niobium in a Multilayered Ti/Al/Nb Composite Produced by Accumulative Roll Bonding. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2014, VOLUME 45A, DECEMBER 2014 – 6217
- [22] T. Nizorek és társai (2014) – T. Nizolek, N. A. Mara, I. J. Beyerlein, J. T. Avallone, J. E. Scott, T. M. Pollock: Processing and Deformation Behavior of Bulk Cu–Nb Nanolaminates. Metallogr. Microstruct. Anal. (2014) 3:470–476.
- [23] Szabó Gábor: Plattírozott alumínium lemezek komplex gyártástechnológiai optimalizációja. Doktori (Ph.D.) értekezés. Miskolc, 2016
- [24] G. Szabó és V. Mertinger: Alumíniumlemezek plattírozási technológiájának optimalizálása, BKL (Kohászat), 145:(3) pp. 25–28. (2012)
- [25] Ikuo Itoh, Kazuo Fujisawa, Hioraki Otsuka: NbTi/Nb/Cu Multilayer Composite Materials for Superconducting Magnetic Shielding. Nippon Steel Technical Report. 2002
- [26] Barna D. és társai (2018) – Barna, D., Novák, M., Brunner, K., Petrone, C., Atanasov, M., Feuvrier, J., Pascal, M.: NbTi/Nb/Cu multilayer shield for the superconducting shield (SuShi) septum. IEEE Trans. Appl. Supercond. 29 (2018) 4900108