

Völgyi Bálint – Sikari-Nágl István¹

ROBBANTÁSSAL PLATTÍROZOTT ACÉL/ALUMÍNIUM LEMEZPÁR KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATA²

Absztrakt: A dolgozat bemutatja a kontaktkorróziós probléma létrejöttének jelenségét, okát, következményeit, valamint ismerteti az általunk választott problémamegoldást. Egy aktuális eseten szemlélteti a szóban forgó korróziós probléma jelentőségét és a lehetséges károk mértékét.

A fő téma a robbantásos plattírozás és az ezzel létrehozott (esetünkben acél-alumínium) kompozit tulajdonságainak vizsgálata, az anyagok közt kialakult kötés megfelelőségének eldöntése. Leírásra kerülnek általánosságban a robbantásos plattírozás lépései, technológiája, valamint a munka során szerzett tapasztalatok.

Bemutatásra kerülnek a választott alumínium és acél anyagok robbantás előtti, ill. az utáni tulajdonságai. Ismerteti a mintavétel folyamatát, annak irányelveit, és a minták előkészítését. Ismertetésre kerülnek a mikrokeménység mérésének és a szövetszerkezet és a kötés határfelületeinek mikroszkóppal történő vizsgálatának eredményei.

A befejező rész bemutatja a mérési eredmények kiértékelésének menetét, a konzekvenciák levonását, az esetleges hibák feltárását és azok javítására történő elképzeléseket.

Kulcsszavak: robbantás, plattírozás, kompozit, kontaktkorrózió

1. CÉLKITŰZÉS

A célunk egy olyan többrétegű lemezpár létrehozása volt, amely sok egyéb felhasználási lehetősége mellett nagyfokú védelmet biztosít a kontaktkorróziós jelenséggel szemben, valamint e kompozit alkotó lemezei közt kialakult kötés vizsgálata, az eredmények kiértékelése, ill. az előállítási technológia kiismerése.

¹ Óbudai Egyetem – Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
balint.volgyi@freemail.hu, istvan.sikari.nagl@gmail.com

² Az ÓE BGBMK 2012. évi, őszi Intézményi Tudományos Diákköri Konferenciájára készített dolgozat szerkesztett változata. Konzulens: dr. Kovács-Coskun Tünde

2. SZAKIRODALOM ELEMZŐ FELDOLGOZÁSA

2.1. Kutatásunk során felhasznált szakirodalmak

Kutatómunkánk során feldolgoztuk dr. Mueller Othmár Robbantástechnikai gyűjteményét, a Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Karának Központi Könyvtárában, ami által hasznos információkhoz jutottunk a robbantásos fémmegmunkálás témakörében. A talált irodalmakat táblázatba rendszereztük és a 1. számú mellékletben csatoltuk a dolgozathoz.

2.2. A kontaktkorrózióról

A kontakt- vagy más néven érintkezési korrózió oka két különböző potenciálú fém fémes kapcsolata elektrolit, pl. nedvesség vagy elektromosan vezető folyadék egyidejű jelenlétében. Ekkor az érintkezési helyen a kevésbé nemes fém korróziója annyival erősebb, amennyivel kisebb a nemesebb fémhez viszonyított felülete. A feszültséggyűjtő hatás megnövekszik és a korróziós termékek lerakódása különféle másodlagos hatást fejthet ki, pl. berágódást, zagyképződést, a közeg elszennyeződését, stb. [1]

Erre a típusú korrózióra jó példa a USS Independence névre keresztelt, LCS 2 típusú alumínium törzsű hadihajó esete, melyet Amerikai Egyesült Államok haditengerészete számára az Austal Ltd. gyártott. A hajó acélból készült meghajtási rendszerében 2010. januárjában, vadonat új korában fedezték fel a kontaktkorróziót. Ezeknek a típusú hajóknak a legyártatása darabonként 680 millió USD-ba, az üzemeltetése évi 36,6 millió USD-ba került a haditengerészet számára az eredeti költségvetés szerint. Eredetileg tervezett élettartamuk 25 év, a típusból a haditengerészet 55 darabot rendelt. A hiba felfedezésekor felmerült a gyártás teljes leállítása is, ám végül sikeres volt a javítás a hajók szárazdokkolásának, valamint a meghajtási rendszer kulcselemeinek szétszerelése árán. [2]



1. ábra: USS Independence, fotó: Austal Ltd [3]

Az ehhez hasonló kontaktkorróziós problémák több módon is elkerülhetők, mint pl.:

- kis potenciálkülönbségű fémek párosítása
- a fémek közötti szigetelés alkalmazása

- elektrolitképződés elkerülése
- irányított korrózió létrehozása [1]

Amennyiben konstrukciós okok miatt (pl. adott az alumínium hajótest és a hajtómű párosítása, a tengervíz, mint elektrolit megkerülhetetlen) a hagyományos javallatok alkalmazása nem lehetséges, illetve mint jelen esetben, gazdasági okok miatt a hajókról lemarad az egyébként szokásos anódos kontaktkorrózió elleni védelem [3] plattírozott kompozit lemezek használata szükséges, mivel itt a két különböző anyagú lemez közé az elektrolit nem tud behatolni, így a korrózió nem indul meg. Jelentősen eltérő tulajdonságú fémek, mint az acél és alumínium esetén a plattírozás hengerléssel nem, csak nagy sebességű eljárással, jelen esetben robbantással valósítható meg.

2.3. A robbantásos plattírozás elvi alapjai

A robbantásos plattírozást különböző anyagú és minőségű fémlamezek felületi kötésének létrehozására alkalmazzuk. Az e technológiával kialakított kötések vákuumzáróak és az utólagos alakítási műveletek (hengerlés, kivágás) igénybevételeit elviselik.

A plattírozott lemezek egyesítik az alkotó fémek jellegzetességeit, ez által lehetőséget adva a gazdaságos és célirányos alkatrésztervezésre. A hagyományosan hengerléssel végzett plattírozási eljárás alkalmazhatóságát korlátozza az a tény, hogy a kötendő fémek fizikai, mechanikai tulajdonságai nem lehetnek nagymértékben eltérőek, továbbá a lemezzvastagságok aránya kötött.

A robbantásos plattírozás ezen korlátokat nagyrészt feloldja: egyrészt igen eltérő képlékenységgű, olvadáspontú és hőtágulási együtthatójú fémek egyesíthetők, valamint a lemezzvastagságok aránya is tág határok között változtatható. [4]

A kötés kialakulásának mechanizmusa:

A plattírozás energiaforrása a robbanóanyag, „szerszáma” a detonáció kiváltásával létrehozott nagy energiatartalmú nyomáshullám. A robbanóanyag detonációja állandó, reprodukálható sebességgel játszódik le. A keletkezett gázok nyomása: $p = v_d^2 \rho_0 \frac{(\rho - \rho_0)}{\rho}$

Ahol: v_d : robbanóanyag detonáció sebessége [m/s]

ρ_0 : robbanóanyag sűrűsége [kg/m³]

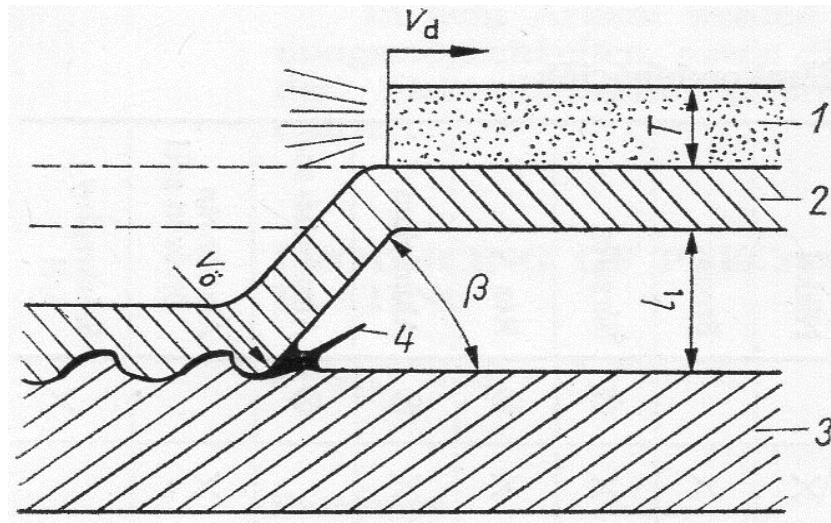
ρ : a detonáció által létrehozott gázok sűrűsége [kg/m³]

(p értéke $10^9 \dots 10^{10}$ Pa nagyságrendű)

	Zr	Mg	Stellit	Pt	Au	Ag	Nb	Ta	Hastalloy	Ti	Ni ötvözet	Cu ötvözet	Al	Kor. álló acél	Ötvözött acél	Ötvözetlen acél
Ötvözetlen acél	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ötvözött acél	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	
Korrózióálló acél			x		x	x	x	x		x	x	x	x	x		
Alumínium		x				x	x	x		x	x	x	x			
Cu ötvözet						x	x	x		x	x	x				
Ni ötvözet		x		x	x			x	x	x	x					
Titán	x	x				x	x	x		x						
Hastalloy									x							
Tantál					x		x	x								
Nióbium				x			x									
Ezüst						x										
Arany																
Platina				x												
Stellit 6B																
Magnézium		x														
Cirkónium	x															

1. táblázat: Robbantásos plattírozással köthető anyagpárosítások: [5]

Az eljárás alapelvét a 2. ábra szemlélteti.

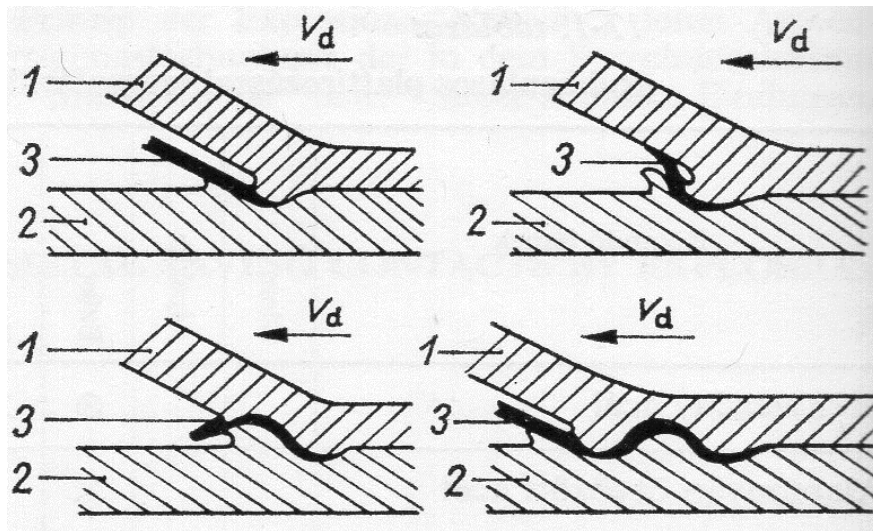


2. ábra: Fémlémezek robbantásos plattírozásának elve [4]

1 robbanóanyag; 2: burkolólemez; 3: alaplemez; 4 megolvadt fémsugár; v_d : a robbanóanyag detonációsebessége; v_0 : a burkolólemez és az alaplemez összecsapódásának sebessége; l_1 : a burkolólemez és az alaplemez közötti távolság robbantás előtt; T : a robbanótöltet vastagsága

A robbanás előidézése után a detonáció v_d sebességgel terjed a robbanóanyagban. A létrejött gáz halmazállapotú termékek nyomása nagy sebességgel terjed át a burkolólemezre, amely néhány száz m/s sebességre gyorsul fel és az l_1 „légrésen” átrepülve a sebességtől, tömegtől, elrendezéstől függő β szögben csapódik rá az alaplemezre.

A burkolólemez és az alaplemez összecsapódásánál fellépő nagy nyomás miatt az alaplemez benyomódik és mellette kidudorodás jön létre. Ugyanakkor az összecsapódási zónából kifröccsen egy megolvadt fémsugár, amely az alaplemez és a burkolólemez anyagából tevődik össze. A fémsugár létrejötté következtében a lemezekon fémtiszta felületek alakulnak ki, amelyek adhéziós kapcsolatba kerülnek egymással. A fémsugarat a folyamat előrehaladása során az alapfém kidudorodása fokozatosan eltéríti, és a rácsapódó burkolólemez bezárja. Ezután a kapcsolódási pont a kidudorodás tetejére tevődik át, majd az egész ciklus megismétlődik, melynek eredménye a jellegzetes hullámformájú kötés (3. ábra). [4]



3. ábra: A robbantásos kötés kialakulásának mechanizmusa [4]

1: burkoló lemez; 2: alaplemez; 3: megolvadt fémsugár

A fémes kötés létrehozásának feltételei:

Jó minőségű kötés létrehozása érdekében a technológia paramétereit úgy kell méretezni, hogy az összecsapódás pontjában a fémek képlékeny alakváltozása bekövetkezzék, de a fellépő feszültségek a fémeket ne roncsolják. Ezen feltételek a v_d detonáció sebesség, és a v_0 összecsapódási sebesség megfelelő értékével, valamint a kötendő felületek tisztításával biztosíthatók. [3]

A detonációs sebesség hatása:

A detonáció sebességével tovaterjedő rövid idejű nyomásimpulzus hatására a fém felületén kialakuló feszültségek a detonáció sebességétől függően különböző módon terjedhetnek a fém belseje felé.

Hangsebesség alatti detonáció esetén ($v_d < v_h$, ahol v_h a hang terjedési sebessége az adott fémekben) képlékeny alakváltozás alakul ki a fém felületén, mely a közölt energia egy részét elnyeli. A fémekben tovaterjedő nyomáshullám nem veszélyes sem a fémre, sem a kötésre. [3]

Hangsebesség feletti detonációs sebesség esetén ($v_d > v_h$) képlékeny alakváltozás nem alakul ki. A fémekben erősen lokalizált lökéshullámok jönnek létre, melyek a fém megrongálódásához vezetnek.

Tehát a sikeres plattírozás egyik alapfeltétele: $\frac{v_d}{v_h} < 1$ [3]

Az összecsapódási sebesség hatása:

A lemezek összecsapódásának pontjában kialakuló nyomást a repülő burkolólemez vő sebessége határozza meg. A sebesség értékét a burkolólemezre ható erőimpulzusból lehet meghatározni.

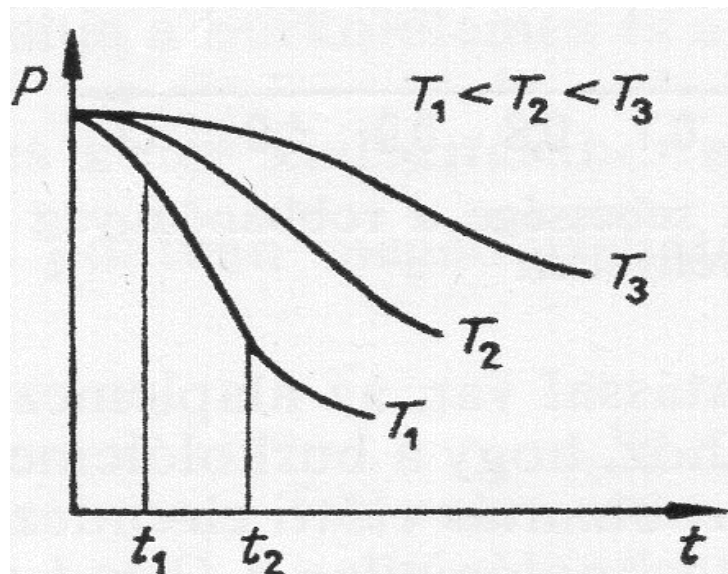
$$J = \int p dt$$

Ahol: J: a burkolólemez egységnyi felületére ható erőimpulzus [N/m²]

p: a detonáció kiváltásával létrehozott gázok nyomása [Pa]

A p nyomás nagysága a robbanóanyag paramétereitől függ, hatásának időtartalma pedig a töltetvastagsággal arányos.

Az erőimpulzus nagysága egyenlő a 4. ábrán feltüntetett $p = f(t)$ függvényen a megfelelő T töltetvastagsággal paraméterezett görbe alatti területtel. [3]



4. ábra: A detonációs nyomás hatásának időtartalma a töltetvastagság függvényében [4]

Az előzők figyelembevételével mondhatjuk, hogy végeredményben a burkolólemez felületegységre ható erőimpulzus:

$$J = kT\rho_0$$

Ahol: k: arányossági tényező

T: robbanó töltet vastagsága [mm]

ρ_0 : robbanóanyag sűrűsége [kg/m³]

Ugyanakkor az is igaz, hogy:

$$J = m_b v_{\ddot{o}} = \rho_b l_b v_{\ddot{o}}$$

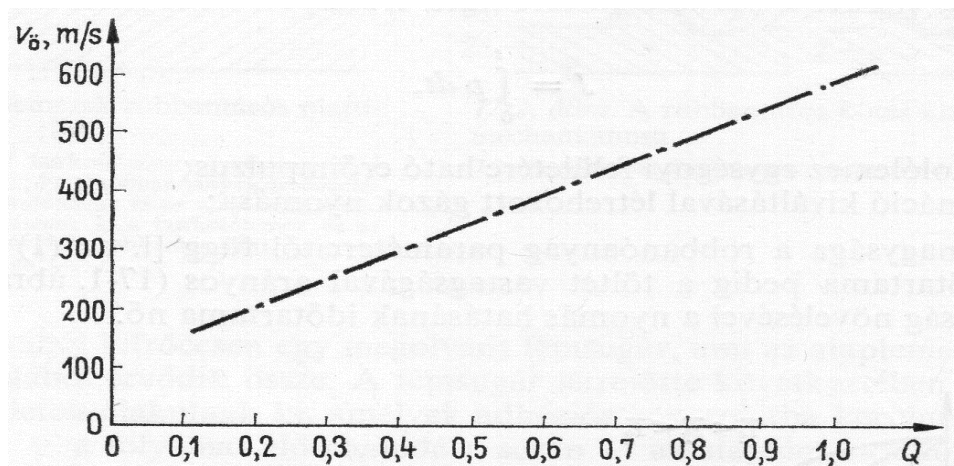
Ahol: m_b : burkolólemez egységnyi felületének tömege [kg/m²]

ρ_b : burkolólemez sűrűsége [kg/dm³]

l_b : a burkolólemez vastagsága [mm]

$$v_{\ddot{o}} = k \frac{T \rho_0}{l_b \rho_b} = kQ$$

Tehát a burkolólemez sebessége az összecsapódás pontjában arányos a Q paraméterrel, a robbanóanyag és a burkolólemez tömegének arányával. [3]



5. ábra: A lemezek összecsapódásának sebessége a robbanóanyag és a burkolólemez tömegarányának függvényében [4]

A vő sebesség nagyságára természetesen hatással van a kötendő lemezek közt hagyott l_1 távolság („légrés”). Ahhoz ugyanis, hogy a burkolólemez a becsapódáskor a megfelelő vő értékre gyorsulhasson, a lemezek robbantás előtti elrendezésénél biztosítani kell egy minimális „utat”. [3]

Végeredményben tehát a vő összecsapódási sebesség értékét a Q és az l_1 paraméter megfelelő megválasztásával biztosíthatjuk.

A kísérletek eredményeinek tapasztalatai alapján a megfelelő Q és l_1 értékek:

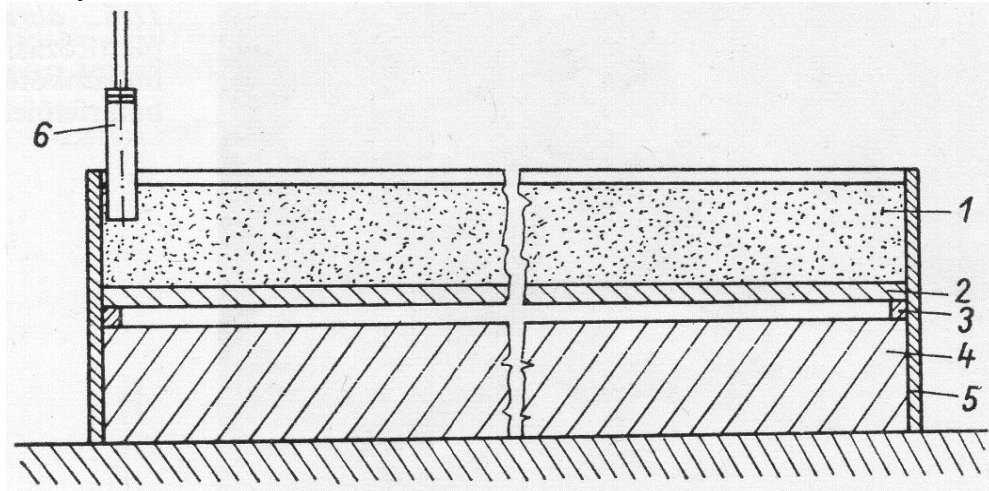
$$0,5 < Q < 1,5$$

$$0,5 l_b < l_1 < 1,6 l_b \quad [3]$$

3. AZ ÁLTALUNK ELVÉGZETT KÍSÉRLET BEMUTATÁSA

3.1. A plattírozott lemezek, minták előállítása

A kötés megtervezését az S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-Fejlesztő Kft. végezte el számunkra, akik már bővebb tapasztalatokkal rendelkeznek a robbantásos fémmegmunkálás terén. A tervezés során a következő anyagokat és paramétereket alkalmazták, melyet a 6. ábra szemléltet:



6. ábra: Acél-alumínium plattírozás elvi elrendezése [4]

1 - robbanóanyag: PERMON 10T: Ammóniumnitrát alapú, TNT bázisú, kezelésbiztos robbanóanyag.

Típus: por
Gáztérfogat: $928 \text{ dm}^3/\text{kg}$
Detonáció sebesség: 3200 m/s
Sűrűség: 850 kg/m^3

2 – burkolólemez: S235JR
vastagsága: $l_b = 2 \text{ mm}$

3 – légrés távtartója;
Légrés nagysága: $1,5 \text{ mm}$

4 – alaplemez: 1050A
vastagsága: $l_a = 10 \text{ mm}$

A robbantást lőtéren, szakember segítségével végeztük.

A gyakorlatban többnyire a nagyobb szilárdságú fém az alaplemez, esetünkben kísérleti jelleggel a kisebb szilárdságú fém volt az alaplemez, és a nagyobb szilárdságú „repült”. Erre az irodalomban található kísérletek közt idáig nem találtunk példát.



7. ábra: A lemezek és a robbanóanyag elrendezése



8. ábra: Az alaplemezen látható a kifröccsent olvadék ³

³ Optimális esetben ilyen mértékű olvadék kifröccsenés nem jön létre.

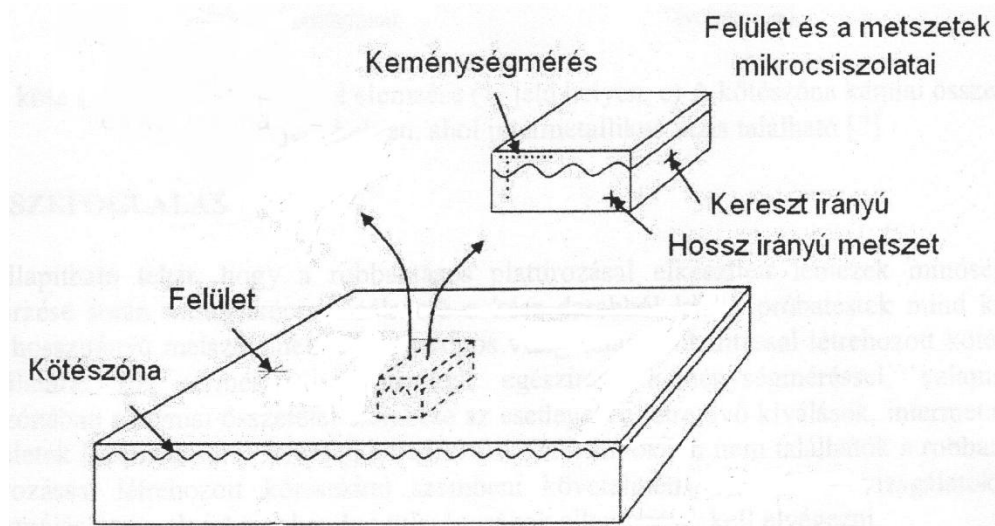
Az elkészített alapanyagot különböző anyagvizsgálati módszerekkel minősíthetjük. A hegesztett kötések vizsgálatai során roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat kell végezni. A robbantásos plattírozással létrehozott varratok vizsgálatánál azonban bizonyos módszerek kevésbé használhatóak, tekintettel a kialakuló varratalakra. A legtöbb információt a plattírozott lemezből kiemelt próbatetek mikrocsiszolatainak vizsgálatai, valamint a kötészóna környezetének keménység-, esetleg mikrokeménység-mérése eredményezi. A hagyományos értelemben vett hegesztett varrat hőhatásövezet kifejezést is fenntartással kell kezelni, hiszen ennél a technológiánál képlékeny alakváltozással jön létre a varrat. Amennyiben a két fém kapcsolatánál valamelyik (esetleg mindkettő) lemez megolvad, a kötészónában heg képződik, mely lehet a két anyag keveredéséből, illetve létrejöhetnek intermetallikus zónák, melyek a kötés minősége szempontjából károsak. A mikroszkopikus vizsgálatokhoz a kivett próbatetek felületét polírozott finomságúra kell elkészíteni. [6]

A plattírozott lemezből kérésünkre hossz, valamint keresztirányú metszeteket vágtak ki. Az NKE munkatársai közreműködésével, az NKE HHK, BUEHLER metallográfiai laboratóriumában készültek el a csiszolatok, valamint a mikroszkopikus felvételek.

Mindkét metszetet NaOH-ban marattuk, de sajnos sikertelenül. Egy keresztirányú metszetet megmarattunk 5%-os nitállal 20 s-ig. Mint ahogy az várható volt, ennek eredménye csak az acélon volt észlelhető, de ez már megnövelte a két réteg közötti kontrasztot a későbbi mikroszkopikus vizsgálatokhoz.

A csiszolatok készítéséhez használt eszközök:

- Csiszolás: Buehler Phoenix 4000 automatikus csiszoló-polírozó gép
- Beágyazás: Buehler Simplimet 2000 beágyazó gépen, TransOptic anyagba (180°C hőmérsékleten, 200 bar nyomáson)



9. ábra: A mintavétel irányelvei [6]



10. ábra: A befoglalt keresztirányú metszet

3.2. A mintákon elvégzett vizsgálatok bemutatása

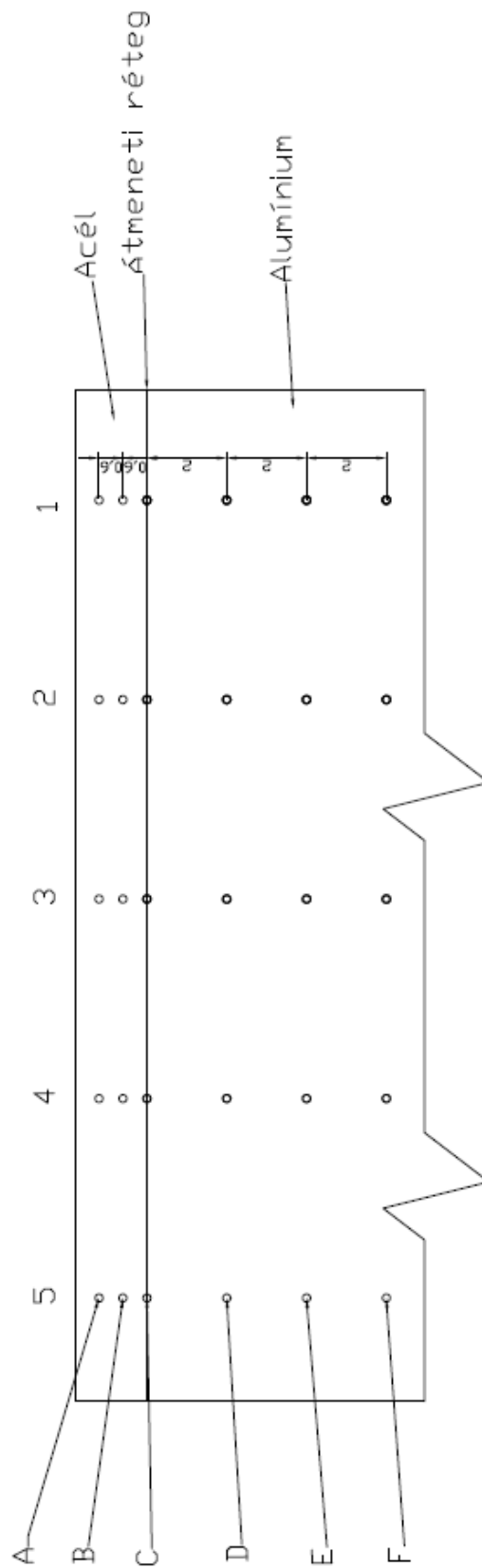
Az elsődleges célunk volt azt megvizsgálni, megvalósult-e a plattírozás annak ellenére, hogy korábbi tapasztalatok, vagy hasonló kísérletek hiányában próbáltuk úgy véghez vinni, hogy a magasabb szilárdságú fém volt a repülő lemez. Ezen felül annak ellenőrzése, hogy a létrejött kötés valóban tartós és kellően szilárd-e. Feltételeztük, hogy létre fog jönni egy intermetallikus zóna, mely esetben ezt is meg kívántuk vizsgálni.

A robbantásos plattírozás egy olyan kötéstehnológia, melynek során a két alapfém valamilyen módon keveredik, adhéziós kapcsolatot hoz létre. Ilyen esetekben a kötés szilárdsági vizsgálatainak egy fontos módszere a (mikro) keménységmérés az alapfémeken és a kötészónában. A csiszolatokon mikrokeménység-mérést végeztünk, kereszt- és hosszirányban egyaránt. A méréshez használt berendezés adatai:

- Típusa: ZWICK 3212
- Kalibrálás dátuma: 2000. 02. 11.
- Etalon: 323
- Keménység: $767 \pm 22\text{HV}$
- Név. átlag: 772HV

A mérés az ÓE-BGK Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézetének P20-as laborjában történt. A mérési pontok felvételét a 10. ábra szemlélteti. A vizsgálat az acél esetében 1,2 kg-os, a kötészóna környezetében és az alumínium felületén 0,2 kg-os terheléssel történt, 15 másodperces terhelési időtartamokkal.

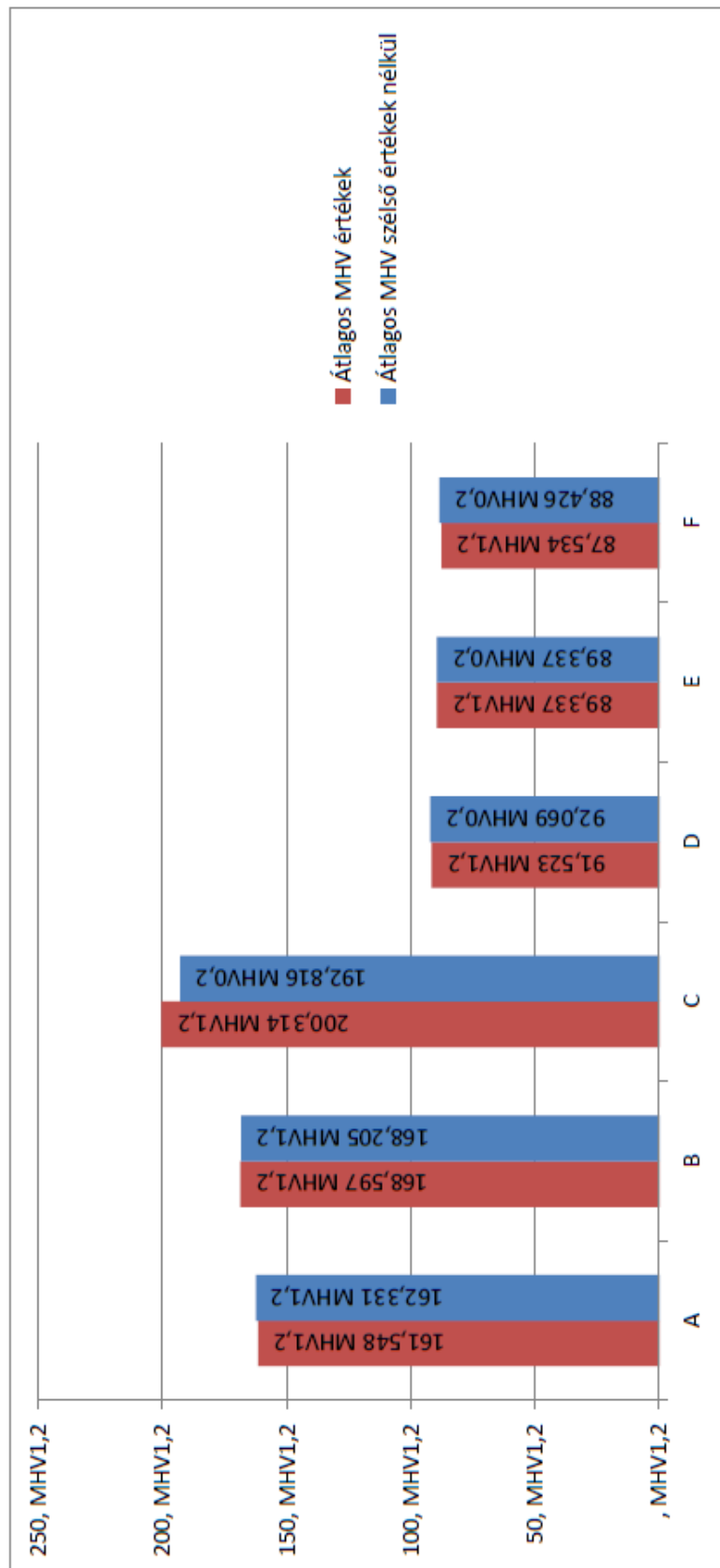
A mérésből nyert adatokat a 2. és 3. számú táblázat tartalmazza.



11. ábra: A mérési pontok elrendezése a metszeteken

Mérési pont	Mérési sor					Mérési pont MHV átlaga a szélső értékek nélkül	Mért keménység szórása	Mérési pont MHV átlaga
	1	2	3	4	5			
A	117 163,31 µm MHV1,2	118 160,374 µm MHV1,2	117 163,31 µm MHV1,2	117 163,31 µm MHV1,2	119 157,437 µm MHV1,2	162,331 MHV1,2	2,626	161,548 MHV1,2
B	116 166,247 µm MHV1,2	115 169,184 µm MHV1,2	115 169,184 µm MHV1,2	114 172,121 µm MHV1,2	116 166,247 µm MHV1,2	168,205 MHV1,2	2,457	168,597 MHV1,2
C	39 249,775 µm MHV0,2	47 173,349 µm MHV0,2	41 223,407 µm MHV0,2	46 181,692 µm MHV0,2	47 173,349 µm MHV0,2	192,816 MHV0,2	34,571	200,314 MHV1,2
D	62 97,535 µm MHV0,2	64 92,069 µm MHV0,2	63 94,802 µm MHV0,2	65 89,337 µm MHV0,2	67 83,871 µm MHV0,2	92,069 MHV0,2	5,257	91,523 MHV1,2
E	64 92,069 µm MHV0,2	65 89,337 µm MHV0,2	64 92,069 µm MHV0,2	66 86,604 µm MHV0,2	66 86,604 µm MHV0,2	89,337 MHV0,2	2,733	89,337 MHV1,2
F	63 94,802 µm MHV0,2	72 72,126 µm MHV0,2	61 100,267 µm MHV0,2	68 81,138 µm MHV0,2	65 89,337 µm MHV0,2	88,426 MHV0,2	11,141	87,534 MHV1,2

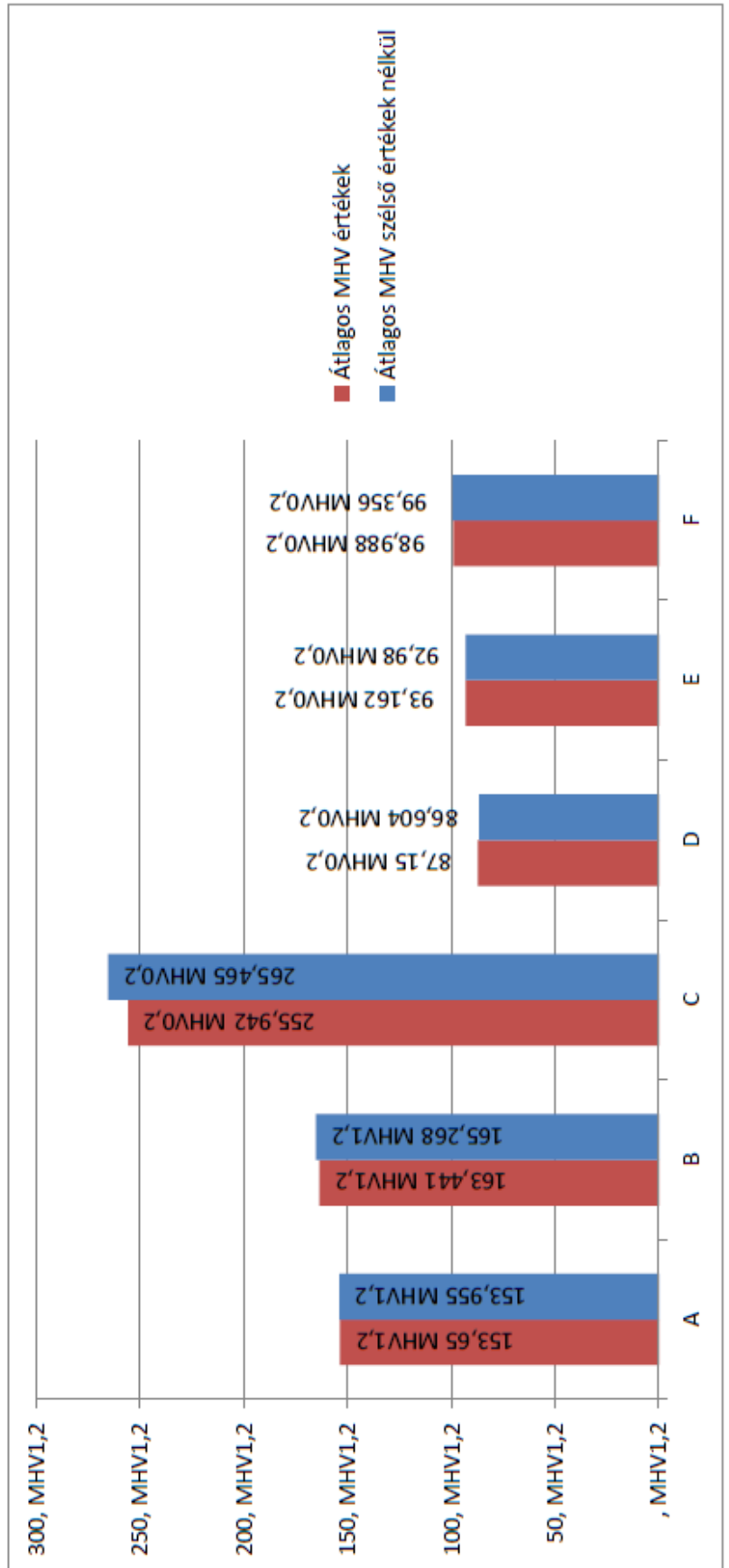
2. táblázat: A keresztirányú csiszolat mikrokeménység-mérési eredményei a kötés környezetében



1. diagram: Átlagos MHV keménység a kötés környezetében, keresztirányú csiszolat esetén

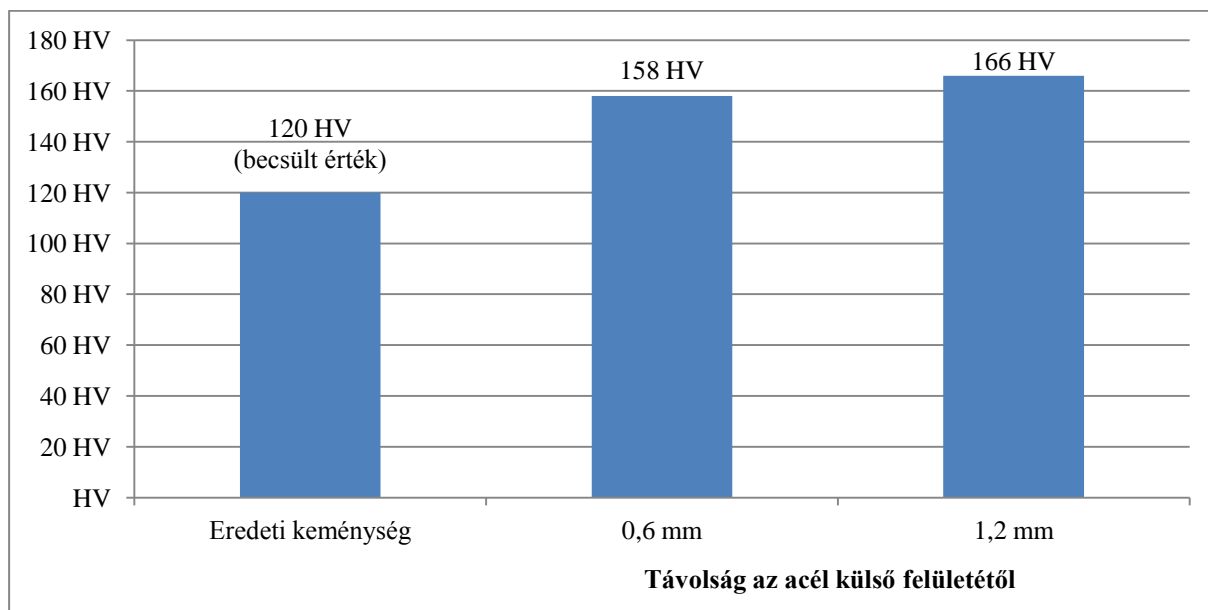
Mérési pont	Mérési sor					Mérési pont MHV átlaga a szélső értékek nélkül	Mért kemény-ségek szórása	Mérési pont MHV átlaga
	1	2	3	4	5			
A	125 μm 143,073 MHV1,2	119 μm 157,437 MHV1,2	122 μm 149,929 MHV1,2	120 μm 154,5 MHV1,2	117 μm 163,31 MHV1,2	153,955 MHV1,2	7,650	153,65 MHV1,2
B	115 μm 169,184 MHV1,2	118 μm 160,374 MHV1,2	121 μm 152,215 MHV1,2	116 μm 166,247 MHV1,2	115 μm 169,184 MHV1,2	165,268 MHV1,2	7,233	163,441 MHV1,2
C	65 μm 89,337 MHV0,2	31 μm 393,975 MHV0,2	42 μm 215,064 MHV0,2	41 μm 223,407 MHV0,2	33 μm 357,925 MHV0,2	265,465 MHV0,2	122,414	255,942 MHV0,2
D	63 μm 94,802 MHV0,2	63 μm 94,802 MHV0,2	67 μm 83,871 MHV0,2	68 μm 81,138 MHV0,2	68 μm 81,138 MHV0,2	86,604 MHV0,2	7,074	87,15 MHV0,2
E	63 μm 94,802 MHV0,2	62 μm 97,535 MHV0,2	66 μm 86,604 MHV0,2	67 μm 83,871 MHV0,2	60 μm 103, MHV0,2	92,98 MHV0,2	7,873	93,162 MHV0,2
F	61 μm 100,267 MHV0,2	59 μm 107,532 MHV0,2	62 μm 97,535 MHV0,2	65 μm 89,337 MHV0,2	61 μm 100,267 MHV0,2	99,356 MHV0,2	6,548	98,988 MHV0,2

3. táblázat: A hosszirányú csiszolat mikrokeménység-mérési eredményei a kötés környezetében.



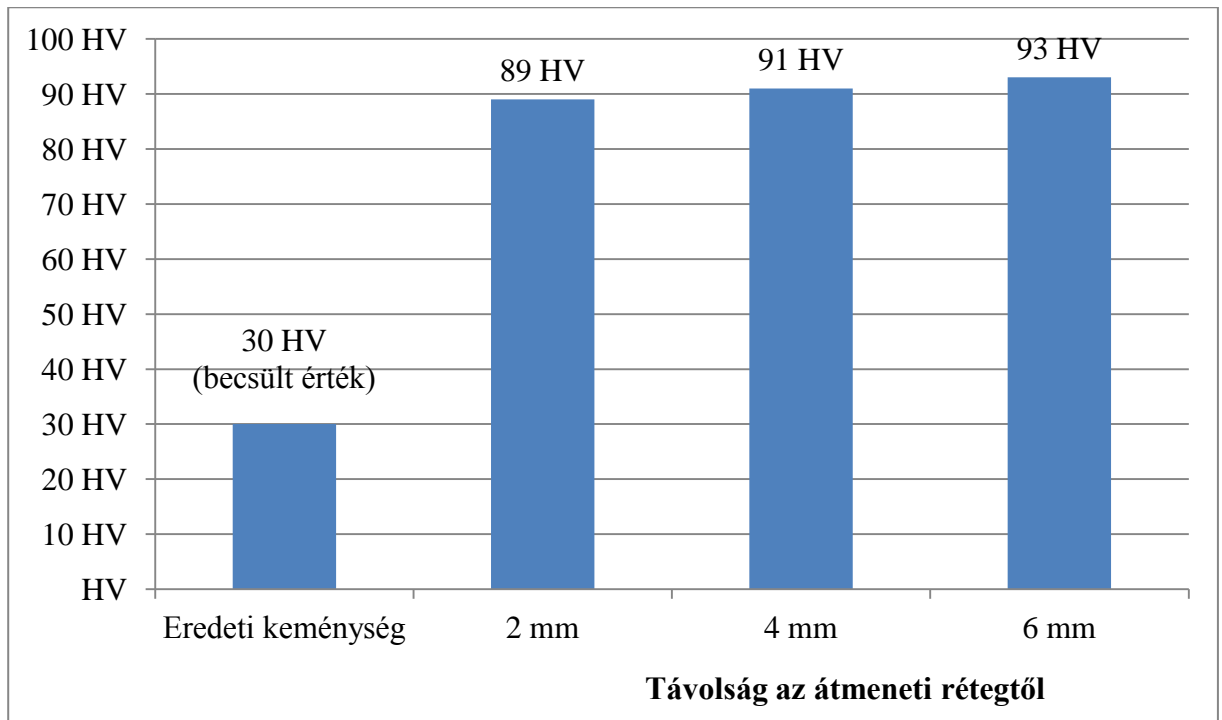
2. diagram: Átlagos MCV keménység a kötés környezetében, hosszirányú csiszolat esetén

Az eredmények kiértékelésekor megvizsgáltuk az acéllemez keménységének megváltozását, a kereszt- és a hosszirányú metszetek keménységértékeinek átlagát figyelembe véve. A 3. számú diagramon megfigyelhető a robbantás előtti keménység, ill. a lemez felületétől a kötés irányába 0,6 mm-es távolságonként a keménység változása. Amint az várható volt, az acéllemez felkeményedett, a növekedés az 1. rétegben 31,66%, a 2. rétegben pedig 33,33%.



3. diagram: Az acéllemez eredeti és robbantás utáni keménysége.

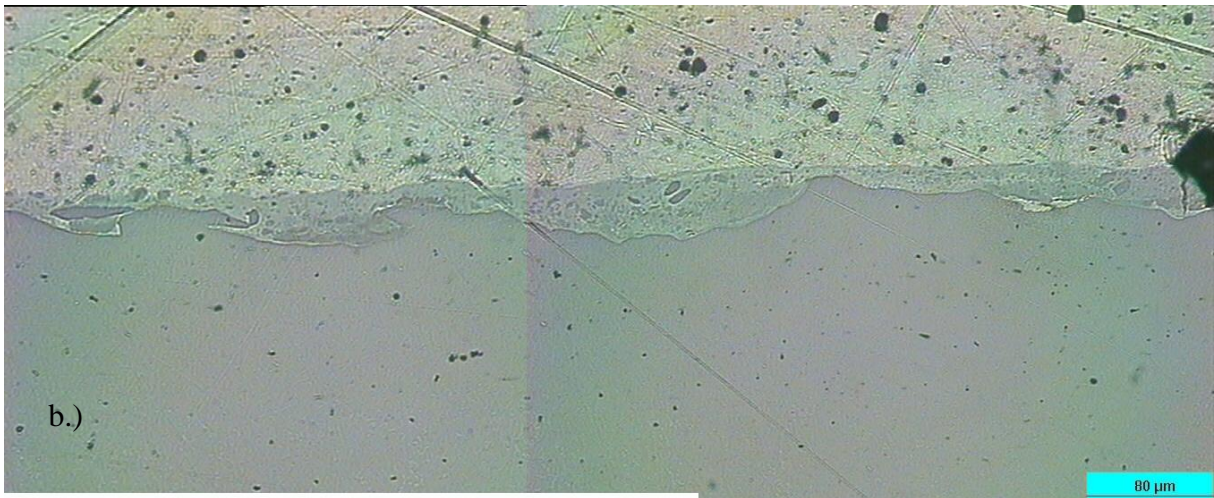
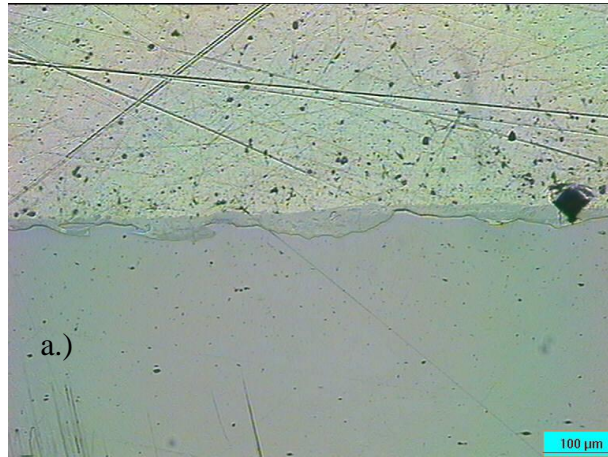
Hasonló elv alapján dolgoztuk fel az alumínium keménységének megváltozását mutató adatokat is. Ennek keménysége jelentős, a kezdeti értékhez képest 197-210%-os növekedést produkált, miközben a lemez vastagsága 1 mm-t csökkent. Az így elért keménységérték megközelíti a nemesíthető alumíniumötvözetek keménységét.



4. diagram: az alumínium keménységének változása az átmeneti rétegtől távolodva

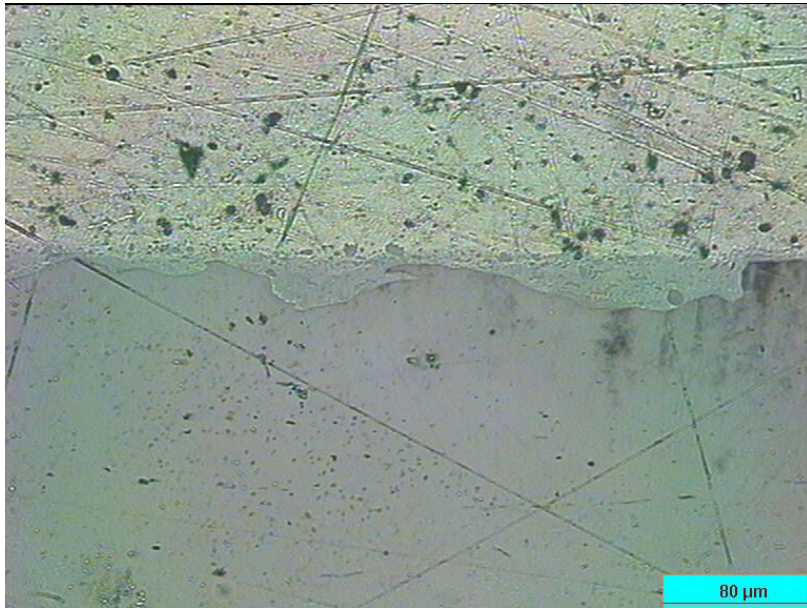
Mikroszkopikus felvételeket készítettünk a lemezek között létrejött kötés környezetének vizsgálata céljából a kereszt- és hosszirányú csiszolatokról egyaránt. A témában fellelhető szakirodalmak alapján számítottunk az acél és az alumínium anyagok párosítása esetén a rétegek közti intermetallikus fázis, vagy más, ismeretlen összetételű és további vizsgálatokat igénylő réteg létrejöttére, így a felvételek készítésekor ezek bemutatására koncentráltunk. [7]

A mikroszkopikus felvételeket 100x-os, ill. szükség esetén 200x-os nagyításban készítettük Nikon Epiphot 200 fordított fémmikroszkóppal és Omnimet Express Image Analysis System szoftverrel, az NKE laboratóriumában.



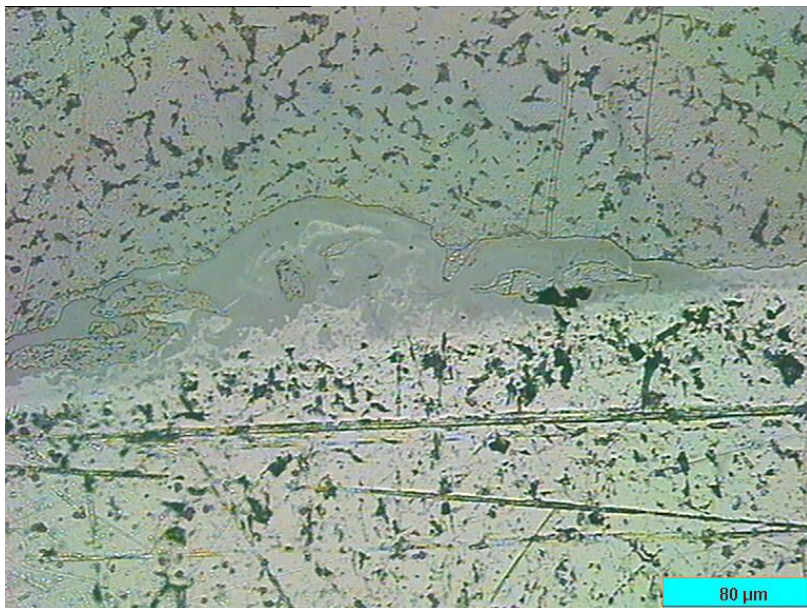
11. ábra: a.) A hosszirányú metszet egy 100x-os nagyítása; b.) Az a.) ábra 200x-os nagyítású panorámafelvétele

A 11. ábrán jól kivehető néhány jellegzetes, robbantásos plattírozásra jellemző hullámalak és a kötés környezetében létrejött ismeretlen összetételű, vegyes átmeneti réteg.



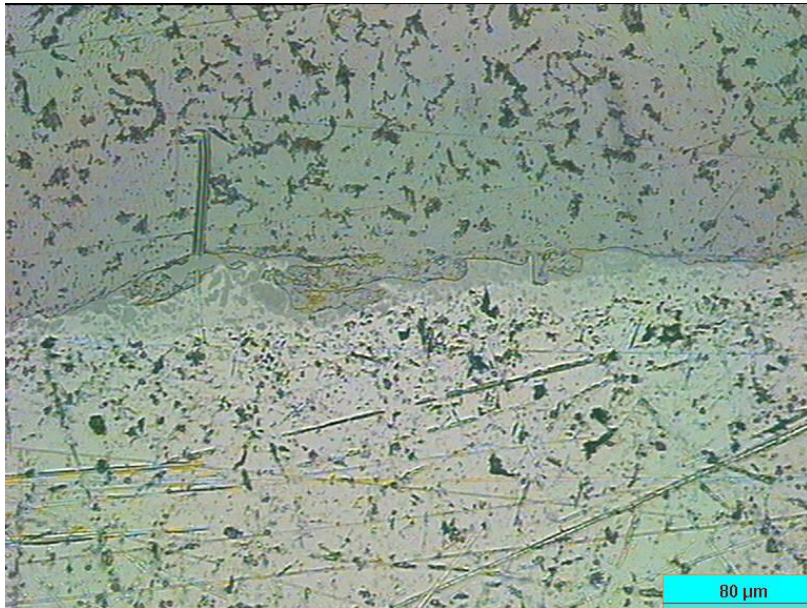
12. ábra: A hosszirányú metszet egy 100x-os nagyítása

A 12. ábrán egyszerre figyelhető meg a jellegzetes hullámalak és körülötte több kisebb, jellegtelen kötéalak.



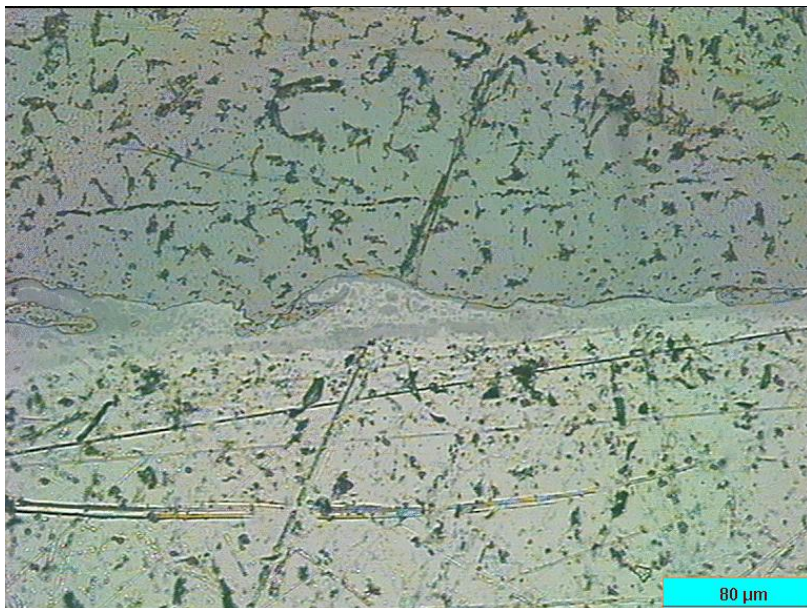
13. ábra: A keresztirányú metszet egy 200x-os nagyítása

A 13. ábrán az átmeneti réteg egy nagyméretű kitüremkedése figyelhető meg.



14. ábra: A keresztirányú metszet egy 200x-os nagyítása

A 14. ábrán a két lemez közti kötés alakja nem egyezik egyik irodalomban talált jellegzetes kötésalakkal sem.



15. ábra: A keresztirányú metszet egy 200x-os nagyítása

A 15. ábrán egy jellegzetes hullámalakba rendeződve látható a két lemez közti átmeneti réteg.

3.3. A vizsgálatok alapján levont következtetések

Az irodalomban ismertetett kontaktkorróziós jelenség óriási károkat okozhat a műszaki gyakorlatban, ezért ennek kiküszöbölése igen fontos. A kontaktkorrózió létrejöttének megakadályozása a szerkezetek tervezésénél alkalmazott anyagok megválasztásával, már a tervezéskor elkerülhető, erre egy speciális, ugyanakkor a gyakorlat szempontjából jól használható alapanyag az acél-alumínium plattírozott lemez. Nem csak korrózióállósági, hanem mechanikai tulajdonságait tekintve is egy jól alkalmazható anyagot állítottunk elő.

Teljesítettük a célkitűzésben megjelölt acél-alumínium kompozit lemez létrehozását. A kísérlet különösen sikeresnek mondható, mivel idáig egyedülálló módon, a lágyabb lemezt alaplemezként, a keményebbet pedig burkolólemezként használva vittük véghez.

A mérési adatok és a képek vizsgálatából levonható megállapítható, hogy a két lemez közti átmeneti réteg keménysége jelentős szórást mutat. Ez részben abból ered, hogy a mikrokeménység-mérés során a réteg igen kis terjedelme miatt nem lehet minden mérés esetén pontosan a réteg közepére irányozni a gyémánt hegyét. Másrészt pedig az átmeneti réteg összetétele a mikroszkópfelvételek szerint is jelentősen változó a metszetek hossz- és keresztirányában egyaránt. Ennek oka nagy valószínűséggel a választott lemezvastagságok kísérleti volta, ill. a bevett gyakorlattól eltérően az alap- és a repülő lemezek felcserélése. Általánosságban elmondható, hogy adott metszet vizsgálata során az átmeneti réteg keménysége esetünkben 1,14...1,6-szerese a közvetlenül mellette található, így a legnagyobb mértékben alakváltozott, vagyis a leginkább felkeményedett tisztán acél rétegnek. Ha összehasonlítási alapul az acéllemez eredeti keménységértékét vesszük, úgy a növekedés 60-120%-os.

Megállapítható továbbá, hogy bár keménységének növekedése mind kereszt, mind hosszirányban növekedést mutat a robbanás az acél helyétől távolodó irányba, az alumínium a keresztirányú csiszolat esetén keménységcsökkenést mutat, amiből arra következtethetünk, hogy oldalirányban a nyomáeloszlás nem volt tökéletes.

3.4. További tervek

Újabb robbantásos plattírozások elvégzése a megismert robbantásos plattírozási technológia irányelvei alapján, pontosabban meghatározott paraméterekkel és egy méretezési algoritmus kidolgozása különböző anyagminőségek és robbanóanyagok esetére. A pontosabb eredmények érdekében a minták felületének eredményesebb maratása, további mikrokeménység-mérések és az alábbi vizsgálatok elvégzése szerepelnek:

- annak megállapítása, hogy milyen szélsőséges hőmérsékleteken válnak szét a lemezek a különböző hőtágulási együtthatók hatására;
- mekkora erőhatások eredményezik a lemezek szétválását a kötés síkjával párhuzamos erők esetén;
- a robbantással plattírozott lemezpárok hajlítóprobája;
- a lemezpárok lefejtési probája;
- a hengerelhetőség vizsgálata;
- a két lemez közti átmeneti réteg összetételének pontos vegyi elemzése;
- elektronmikroszkópos felvételek készítése a metszetekről a kötés környezetében, ill. a kötés után szétválasztott lemezek felületéről.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A robbantással történő plattírozás hosszú évek óta sikeresen használt technológia, mely gondos tervezés és végrehajtás esetén megbízható, megismételhető eredményt ad. Nagy előnye, hogy sok, alapvetően eltérő tulajdonságokkal rendelkező fém összeköthető ilyen módon, akár kifejezetten nagy, több méteres méretben is. Fontos azonban a kialakított kötések vizsgálata és szükség esetén a technológiai paraméterek megváltoztatása, hogy az elvárt eredményt kapjuk. Ezek a vizsgálatok nagyrészt roncsolásos anyagvizsgálatok.

Dolgozatunkban bemutattuk a robbantásos plattírozás alapelveit, a fontosabb technológiai paramétereket, valamint a robbantás elvégzése után az összekötött lemezpár keménységmérését, ill. az ehhez szükséges minták elkészítését, valamint az általunk vizsgált lemezpár esetén létrejött kötésről készített mikroszkopikus felvételeket.

Következtetéseket vontunk le a kötészóna jellege, mintázata és a mechanikai tulajdonságok közt.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szalay András úrnak és az S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft. munkatársainak a robbantásos plattírozás technológiájának megtervezéséért és a robbantás lefolytatásáért.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem részéről dr. Lukács László úrnak, a lőtér és a robbantás feltételeinek biztosításáért és Tamás András úrnak a csiszolatok elkészítésében és a mikroszkopikus felvételek elkészítésében nyújtott segítségéért.

A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

The project was realised through the assistance of the European Union, with to co-financing of the European Social Fund.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Pahl, Beitz: A géptervezés elmélete és gyakorlata; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981, 282. oldal

[2] David Lerman & Tony Capaccio: Navy Finds ‘Aggressive’ Corrosion on New Ship; Bloomberg, 2011. június 7.; <http://www.bloomberg.com/news/2011-06-17/navy-finds-aggressive-corrosion-on-austal-s-combat-ship-1-.html>; Megtekintés időpontja: 2012. november 9.

[3] Mezey Béla: Az LCS2 esete a korrózióval; Haditechnikai Kerekasztal, 2011. június 27.; <http://htka.hu/2011/06/27/az-lcs-2-esete-a-korrozioval/>; Megtekintés időpontja: 2012. november 9.

[3] Szalay András – Puskás József: Nemesfém-takarékos érintkezőanyagok előállítása robbantásos plattírozással; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982, 172-177. oldal

[4] Dr. Szunyogh László szerk.: Hegesztés és rokon technológiák, Kézikönyv; GTE, Budapest, 2007.

[5] Kovács-Coskun Tünde - Völgyi Bálint – Sikari-Nágl István: Robbantásos plattírozású fémlapok szerkezetének vizsgálati lehetőségei; A „Fúrás-robbantástechnika 2012” c. konferencia előadásai, Balatonkenese, 2012, 149-152. oldal

[6] Yuan Zhanga - Sudarsanam Suresh Babub - Curtis Prothec - Michael Blakelyd - John Kwasegroche - Mike LaHae - Glenn S. Daehna: Application of high velocity impact welding at varied different length scales; Journal of Materials Processing Technology 211; 2010, 944-952. oldal

7. MELLÉKLETEK

1. számú melléklet: Az NKE Központ Könyvtárának, dr. Mueller Othmár Robbantástechnikai gyűjteményében található, a kutatásunk során feldolgozott szakkönyvek, folyóiratcikkek és konferencia kiadványok listája:

Szerző	Cím	Kiadás éve	Kiadás helye	Magyar cím
Alting L.	Højteffektformgiving af metaller	1967	Lyngby, Denmark	Fémek robbantásos alakítása
Alting L.	Eksplosionsformgiving af metalplade	1971	Frederiksborg	Robbantásos
Alting L.	Eksplosionssvejsning - en ny metode	1971	Frederiksborg	Robbantásos hegesztés
Alting L.	Eksplosions formgiring i industrien	1972	Lyngby, Denmark	Robbantásos alakítás az iparban
Babul W.	Odkosztalcanie metali w wybuchem	1980	Warszawa	Robbantásos fémalakítás
Baguley D. E.	Explosive forming	1964	Lower Hutt	Robbantásos alakítás
Bartenet Sz. - Fedko Ju. P. - Detonacionnute pokritija v masinesztroenii		1982	Leningrad	Robbantásos felületek a gépgyártásban
Grigorov A. J.	Explosive cladding with gold	1977	USA, Gold Bulletin	Robbantásos aranyplattírozás
Prümmner R. R.	Tváření vybuchem	1964	Praha	Robbantásos alakítás
Blazynski T. Z. - Sewallem M. R.	Air-cushion effect in the explosive forming of metal sheet	1969	London	Légréshatás a robbantásos fémlemezalakításnál
Blazynski T. Z.	Scaling problems in the development of free implosive forming of roots blower impellers	1969	Oxford	Csőprofilok robbantásokkal való alakítása
Blazynski T. Z. - Dara A. R.	The nature and type of bonds in explosively welded compound cylinders	1972	London	Robbantásos hegesztési költségek jellege
Blazynski T. Z.	The use of high-energy rate methods for forming, welding and compaction	1973	Leeds	A nagyenergiájú alakítás, hegesztés, zömítés
Boes P. J. M.	Some aspects of explosive welding	1962	Delft	Robbantásos hegesztés
Boes P. J. M.	Forming with high explosives	1970	Delft	Robbantásos fémalakítás
Bogun G. Sz. - Nikiforov N. N.	Kontrol vtorticsnüh metallovo na vzrtürobezopasznozt	1959	Moszkva	Vashulladékok robbanás mentességének vizsgálata
Chládek L. - Nemecek J. - Vacek J.	Vybuchové svarování korn a pribuzné procesy	1979	Praha	Acélok robbantásos hegesztése és kapcsolódó
Bossy L.	Die Sprengverformung dickwandiger Bleche	1972	Zürich	Vastagfalú lemezek kontakt robbantásos alakítása
Crossland	Review of the present state-of-the-art in explosives welding	1956	London	A robbantásos hegesztés helyzete

-	Csepeli Acélmű balesetelhárítási útmutató	1970	Budapest	Martin- és elektroacél gyártás (Robbantás biztonsági előírásai)
-	Dansk Metallurgisk Selskabs foredrage, 13-14. jan. 1969.	1969	Koppenhagen	A dán kohászati egyesület ülése
-	Fizika uprocsnenija i szvarki vzrűvom	1972	Novosibirszk	A robbantásos erősítés és hegesztés fizikája
-	Fizika uprocsnenija i szvarki vzrűvom	1980	Novosibirszk	A robbantásos hegesztés
Donat H.	Besonderheiten beim Verarbeiten explosiv-plattierter Stähle	1978	Würzburg	Robbanással plattírozott lemezek megmunkálásának sajátosságai
Dovgin I. I. - Ankudinov N. V. - Zagotovka i pererabotka vtoriesnűh metallov. G1. 21. Volosuev V. F. Razdelka metalliceszkogo loma vzrűvnűh szoszobom	1972	Moszkva	Fémhulladékok előkészítése és feldolgozása (21. fej. Hulladékfémek robbantásos aprítása)	
Egly N. S.	Eksplionsions forűviving	1970	Lingby	Robbantásos alakítás
-	Über die Verformung von Metallen beim Beschuss	1965	Zürich	Fémek lövés okozta deformációja
Epstejn G. N.	Sztroenie metallov deformirovannűh vzrűvom	1980	Moszkva	Fémkészítés robbantásos formázással
-	Explosion clad metals	1981	Louisville	Robbantásos plattírozás
-	The explosion cladding process and the evaluation of a typical explosion clad plate produced by EFI	1978	Louisville	A robbantásos plattírozás és Plattírozott lemezek számítása
-	Explosionsschweissen und - umformung	1983	Halle	Robbantásos hegesztés és alakítás
-	Explosive metal working (Japan nyelven)	1968	Tokio	Robbantásos
-	Explosive techniques in engineering, a bibliography	1968	Coventry	Robbantástechnika a fémiparban, Bibliográfia
-	Explosive welding	1968	London	Robbantásos hegesztés
-	Explosive welding of aluminium and copper earthing strip	1973	-	Alumínium és rézföldelők robbantásos hegesztése
-	Explosive welding	1976	Abington	Robbantásos hegesztés

Ezra A. A.	Principles and practice of explosive metalworking	1973	London	A robbantásos fémalakítás elvei és gyakorlata
-	Explosivplattieren	1975	Berlin	Robbantásos plattírozás
Fotouhi N.	Untersuchung zum erzielbaren Grenzziehverhältnis beim Hochleistungstiefziehen...	1976	Berlin	Határhúzóvizsgálat vizsgálata töltethatáron
Frank F. - Robinson R. I. - Whita B. E.	Explosive technology a new tool in offshore operations	1966	-	Vízalatti férobbantások
Gelman	Plakirovanie sztalni vzrtivom. Sztruktura i szvojsztva bimetala	1978	Moszkva	Fémfelület edzése robbantással. Két fém struktúrája és tulajdonságai
Gentzsch G.	Hochleistungsformung. Umformung und Bearbeitung mit Explosivstoffen, Unterwasserfunken, komprimierten Gasen und...	1962	Düsseldorf	Nagyteljesítményű fémalakítások
Gentzsch G. - Blumendorf P.	Schweißen und Plattieren mit Explosivstoffen- Sprengschweißen	1979	Düsseldorf	Robbantásos hegesztés és plattírozás
Gowan C. R. - Bergman O. R. - Holtzman A. H.	Mechanism of bond zone wave formation in explosion-clad metals	1971	New York	A hegesztési hullámzóna a robbantással plattírozott fémekben
-	A GTI 3. tudományos ülészakaja. A képlekeny alakítás szekció előadásai	1967	Budapest	-
Guerero Alvarez	Formado de piezas metálicas mediante el uso de explosivos	1966	Mexico	Robbantásos fémalakítás
-	Methods for fabricating and plugging of tube to...	1975	-	Robbantásos kazáncső-kazánfal hegesztés
-	Herstellung von Blechachstragkörpern getriebener Achsen für Kraftfahrzeuge unter Anwendung der Explosivumformung	1977	Ludwigsfelde	Gépkocsi hátsóhidak robbantásos alakítása
-	High-energy rate metalworking by using of explosive materials	1975	Warszawa	Nagy energiájú fém megmunkálás robbanóanyagokkal
Beltran A. A.	High-impact metal forming 1957-1960. An annotated bibliography	1961	Washington	Robbantásos fémalakítás bibliográfiája 1957-1960.

Hofer P.	Aluminium- Sprengverbindungen im Freileitungs- und Anlagenbau	1974	Schaffhausen	Alumínium robbantásos vezetékkekötések
Holtzman A. H. - Cowan G. R.	Bonding of metal with explosives	1965	New York	Fémek robbantásos kötése
Kaga S. - Fujii H.	On the behaviour of flyer plate in explosive welding. Measurementn of flyer plate velocity	1978	Osaka	A robbantásos hegesztés fedőlemeze, alakítási sebessége, mérése
Keller	Beitrage zum Explosivplattieren	1968	Stuttgart	Robbantásos plattirozás
Pugh H. L. D. - Lange K.	Neuere Entwicklungen in der	1963	Dortmund	A fémalakítás újabb
-	Die Fließvorgänge in der Kontaktzone beim Sprengplattieren...	1970	Clausthal	A kontaktfelületi folyásfolyamatok fémek robbantásos hegesztésénél
Henry E.	The first international conference of the center for high energy rate forming	1967	Denver	A nagyenergiájú alakítás központjának első nemzetközi konferenciája
-	The second international conference of the center for high energy forming	1969	Denver	A nagyenergiájú alakítás központjának második nemzetközi konferenciája
-	The third international conference of the center for high energy forming	1971	Denver	A nagyenergiájú alakítás központjának harmadik nemzetközi konferenciája
-	Kurzfassungen der Vortrage für die 6. Internationale Konferenz....	1977	Essen	-
-	Kolloquium über die industrielle Anwendung des Explosivplattierens	1971	Zwickau	Robbantásos plattirozási kollokvium összefoglaló
Kováts Z.	Páncélosok és páncéltörők	1973	Budapest	Haditechnika fiataloknak, kumulatív töltetek
Kudinov V. M. - Koroteev A.	Szvarka, vzrívom v metallurgii	1978	Moszkva	Robbantásos hegesztés
Magome M. - Ogawa K. - Hotta T. - Kaga S.	Some experiments on the application of explosive welding	1974	Tokio	A robbantásos hegesztés alkalmazási kísérletei
Murphy E.	Comparison of methods for detecting and analyzing fumes from explosives	1961	Washington	A robbanóanyagáznak elemzésének és észlelésének módszerei

Nowak H. - Smolenski D.	Ladunki kumulacyjne w wojsku, górnictwie i przemysle	1974	Warszawa	Kumulatív töltetek a háborúban, a bányászásban,
Orava R. - Otto H. E.	The effect of high energy rate forming on the terminal characteristics of metals	1969	Denver	Nagy energiájú a fémek végső jellemzőire
Pihtovnikov R. V. - Zavjalova V. I.	Stampirovka listovogo metalla vztivom	1964	Moszkva	Fémlemez sajtólása robbantással
Pocalyko A. - Williams C. P.	Clad plate products by explosion bonding	1964	USA	Robbantásos plattírozás
Pocalyko A.	Explosion clad plate for corrosion service	1965	USA	Korróziógátó lemez robbantásos készítése
Pocalyko A.	Metallic coatings - Explosively clad	1981	Wilmington	Robbantásos plattírozás
Prümmer R.	Die Verdichtung von Keramik - und Metallpulvern, sowie deren Mischungen durch Explosivdruck	1973	NSZK, Deutschland	Kerámia és fém porok, illetve keverékek robbantásos tömörítése
Prümmer R.	Hochschmelzende Metallpulver durch Explosionsdruck bearbeiten	1974	Würzburg	Magas olvadáspontú fémporok robbantásos
Prümmer R.	Explosives Plattieren von Blei	1977	-	Ólom robbantásos
Prümmer R. - Ziegler G.	Structure and annealing behavior of explosively compacted alumina powders	1977	USA	Alumínium porok robbantásos tömörítése
Prümmer R.	Explosivschweißen im chemischen Apparatebau	1977	NSZK, Deutschland	Robbantásos hegesztés a vegyi gépgyártásban
Richter U.	Sprengplattierte Verbundwerkstoffe und ihre Anwendungsmöglichkeit im Schiffsbau	1970	Troisdorf	Fémlemezek hajóépítésben való robbantásos alakítása
Rinehart J. S. - Pearson J.	Explosive working of metals	1963	London-Oxford	Fémek robbantásos megmunkálása
Ruppín D.	Untersuchungen zum Ausstauen von Verdichtungen an langen Profilen mit Hilfe von Sprenstoffen	1966	Düsseldorf	Vizsgálatok hosszú profilok illesztésére robbanóanyagok révén
Ruppín D.	Sprendschweißen von Metallen	1966	Düsseldorf	Fémek robbantásos
Ruppín D.	Schweißen mit kinetischer Energie	1974	Düsseldorf	Hegesztés kinetikus
Ruppín D.	Sprengschweißen von Metallen. Untersuchung istrationer Vergänge bei der Deckblechbewegung	1980	Düsseldorf	Fémek robbantásos hegesztése. A fedőlemezmozgások nem

Smrcka J. - Václavěk M.	Explozivní tváření plechi a trub	1964	Praha	Fémlemezek és csövek robbantásos alakítása
Sorets B.	Versuche an Betonstahl mit Schlagbeanspruchung durch Explosion	1961	Wien	Betonacél ütészállóság robbantási kísérletei
-	Sprengschweiss - und Spreng-Kompressionsverbindungen	1972	Schaffhausen	Robbantásos hegesztési és préselési kötések
-	Symposium "Vybuchové plátoványi, Máriánské Lázně, 1971. 1970. okt. 5-9."	1971	Pardubice-Semtin	Robbantásos plattírozási szimpózium
-	2. symposium "Explosive working of metals" Vol. 1. Marionské Lázně, 1973.	1974	Pardubice-Semtin	2. robbantási fémalakítási szimpózium
-	2. symposium "Explosive working of metals" Vol. 2. Marionské Lázně, 1973.	1974	Pardubice-Semtin	2. robbantási fémalakítási szimpózium
-	4. symposium "Explosive working of metals"	1979	Pardubice	4. szimpózium: Robbantásos
-	5. symposium "Explosive working of metals"	1982	Pardubice	Fémek robbantásos megmunkálása. Az 5. szimpózium előadásai
Szakurai T.	Baku-hacu kako	1969	Tokio	Robbantásos fémalakítás
Szalay A.	Electrodynamic and explosiontype technologies applicable unainly for the internal forging of metal pipes	1981	Göteborg	Fémcsövek belső alakítására alkalmas elektrodinamikus és
Sztepanov V. G. - Szipilin P. M.	Gidrovzrúvnaja stampirovka elementov szudovüh konstrukcij	1960	Leningrad	Hajószerkezetek robbantásos alakítása
-	Technos 73. GTI 5. tudományos ülészsaka (képlékenyalakítás)	1975	Budapest	-
Thoms V.	Schweissen mit kinetischer Energie. Untersuchungen zum ?	1980	Düsseldorf	Hegesztés kinetikus energiával. Folyékony hajtóanyagok gyújtásával való kísérleti plattírozás
-	Tloczenie metali metoda wybuchowa	1965	Warszawa	Robbantásos fémalakítás
Verbraak C. A.	Explosive forming can cause problems	1963	New York	A robbantásos fémalakítás problémái

Verbraak C. A.	Materialverhalten bei Hochgeschwindigkeitsumformung	1964	Stuttgart	Fémlemezrobbantásnál a lemez viselkedése
Verbraak C. A.	Effects of high energy rateforming on properties of refractory metals	1963	Delft	A robbantásos fémalakítás hatása az anyag
Verbraak C. A.	How can high-rate forming be applied without deteriorating metal properties?	1970	Delft	Fémlemezalakító robbantás anyagtulajdonság módosulás nélkül
Walling J. H.	Plattieren mit kinetischer Energie	1974	Berlin	Robbantásos plattírozás. A határsebességek és a hegesztési zóna
-	Arbeit schutz in der Schwarzmetallurgie; Stahlgewinnung	1969	Berlin	Munkavédelem a vaskohászokban; Ócskavastelep; Acélgártás
Wily van F. E.	Explosief vervormen van metalen	1967	Delft	Robbantásos fémalakítás
Williams J. D. - Crossland B.	Use of explosives in forming, welding and compaction	1968	Belfast	Robbantásos fémalakítás, hegesztés, zömítés
-	Wybuchowego utwardzenie staliv i stali austenitycznych wysokomanganowych	1969	Warszawa	Nagyszilárdságú acélok szilárdítása robbantással
Mikolaj Korzum	Kariera Wybuchu	1980	Warszawa	-
-	Zbornik prednášok Conference Proceedings	2002	Bratislava	-
Gottwaldov	6. mezinárodní symposium	1985	-	-
-	Informationstag für Sprengtechnik	1987	Linz	-
-	Zbornik prednášok zo 4. medzinárodného sympózia	1978	Bratislava	Stroje a technológia pre tvámenie vysokými
-	Az ipari robbantástechnika helyzete és fejlesztése	1980	Budapest	-
-	Metallumformung und verschweissung mit Explosivstoffen	1994	Graz	-
Szalay A. - Puskás J.	A villamosipari kutató intézet közleményei	1984	Budapest	Ni-tartalmú Ag érintkezőanyagok előállítása robbantásos
-	Tłoczenie den metoda wybuchowa	1969	Warszawa	-